

SELEÇÃO DE MATERIAIS PARA PRODUTOS INOVADORES

Guilherme Agues Emerick*, Bruno de Oliveira Schneider, Jordan Deambrosio Cussuol

Instituto Federal do Espírito Santo, Departamento de Engenharia Mecânica, Rod. BR 101 Norte, km 58, Litorâneo, São Mateus, Brasil. Correo electrónico: guilherme_aguese@hotmail.com

Recibido Agosto de 2018; Aceptado Noviembre de 2018

RESUMO

A busca pela inovação tem levado as empresas a buscarem o desenvolvimento de novos produtos e/ou processos ou o aperfeiçoamento dos já existentes no mercado. Em vista disso, a seleção de materiais possui um papel fundamental no projeto de produtos inovadores visando sempre a maior aplicabilidade. Assim, utilizando a metodologia de seleção pelos Índices de Mérito nos mapas de *Ashby* e pelo *Método Desdobramento da Função Qualidade (QFD)*, um estudo de seleção de materiais é realizado em produtos inovadores desenvolvidos pelo *Grupo de Pesquisa de Inovação em Mecânica e Mobilidade Urbana* para uma roldana com mecanismo com variação de carga e uma válvula multivias. Os resultados da aplicação dos métodos mostram que os materiais que apresentam as melhores propriedades para atender os requisitos dos produtos inovadores estudados foram os polímeros polietileno, seguido pelo polipropileno para a roldana, enquanto para a válvula destacou-se o policloreto de vinila (PVC). Para a válvula, verificou-se que o material atualmente empregado na aplicação escolhida constitui uma boa escolha baseado no método utilizado.

Palavras-chaves: Inovação, Seleção de Materiais, Índice de Mérito, *Ashby*, QFD

ABSTRACT

The search for innovation has led companies to seek the development of new products and/or processes or improvements that exist in the market. In view of this, a selection of materials plays a fundamental role in the design of innovative products always aiming for greater applicability. Using a Merit Index selection methodology in the *Ashby* maps and by the *Quality Deployment Method (QFD)*, a material selection study is carried out on innovative products by the *Research Group on Innovation in Mechanics and Urban Mobility* for a pulley with load variation mechanism and a multi-valve valve. The results of the application of the schemes are those that present the best prospects for obtaining the innovation programs in which Polyethylene was added, followed by Polypropylene for regeneration, while for the indication of Polyvinyl chloride (PVC). For a valve, it was found that the material was employed in a specific application as a good choice based on the method used.

Keywords: Innovation, Material Selection, Merit Index, *Ashby*, QFD.

INTRODUÇÃO

A indústria está sempre buscando inovação, seja através de novos processos e produtos ou na melhoria dos que já estão sendo utilizados. *Rozenfeld et al.* [1] concluem que a inovação competitiva bem sucedida vai além de ter boas ideias. Ela exige uma boa estruturação de projeto com qual a empresa pode criar novos produtos mais competitivos, em menores espaços de tempo, visando a manutenção ou ampliação de sua participação no mercado. *Clark e Wheelwright* [2] afirmam que a inovação é caracterizada pela mudança tecnológica em produtos ou em processos. Cada projeto envolve muitas decisões e por esse motivo, é necessária a organização do processo decisório de um projeto.

Nesse contexto de inovação, a seleção de materiais tem papel significativo, pois objetiva otimizar produtos e processos por meio de análise minuciosa, aliando as funções, restrições e propriedades dos materiais para cada caso (Ashby, [3]). Segundo Farag [4], o desenvolvimento de um produto envolve diversas atividades e a seleção de materiais e processos deve estar presente desde a concepção da ideia até a venda do produto ao cliente. Além disso, deve ser estudada constantemente, pois o produto precisa acompanhar as necessidades do mercado que mudam com o tempo.

De acordo com Dias e Gontijo [5], o processo se inicia com o planejamento do projeto (considerado ainda um pré-desenvolvimento), passa pelas fases informacional, conceitual e de detalhamento, sendo concluído com a preparação para a produção e lançamento do produto. A definição precisa da necessidade, que é essencial para formular uma descrição clara de requisitos do projeto. Entre as necessidades dos clientes e a especificação final do produto há muitos passos. O ponto de início é uma necessidade de mercado, passando por uma clara especificação de um produto que preenche a necessidade ou incorpora a ideia para culminar no lançamento do produto [6].

A primeira etapa para seleção de materiais é especificar os requisitos de desempenho do componente, relacionando características dos materiais e requisitos de processamento. Como consequência, descartam-se alguns materiais, enquanto outros são escolhidos como possíveis candidatos. Segundo Dehghan-Manshadi et al. [7], as propriedades relevantes dos materiais são identificadas e classificadas em ordem de importância. Ferrante [8] apresenta em seu estudo os principais requisitos de seleção e as diferentes situações nas quais se exerce a seleção de materiais.

Neste trabalho, o estudo de seleção dos materiais será aplicado em uma roldana com mecanismo de variação de carga para aparelhos de musculação e em uma válvula direcional de múltiplas vias para sistemas de irrigação. Ambos os produtos são ideias inovadoras do Grupo de Pesquisa de Inovação em *Mecânica e Mobilidade Urbana*, que possuem pedidos de patente registrados no Instituto Nacional de Pesquisa e Inovação (INPI).

METODOLOGIA

Roldana. A roldana foi concebida com o propósito de prevenir as lesões nas articulações e facilitar a execução correta do movimento em aparelhos de musculação e fisioterapia. O mecanismo de variação de carga consiste em uma roldana que diminui seu raio ao longo do perímetro, o que reduz o torque necessário para fazê-la girar, e consequentemente para levantar o peso. A redução ocorre conforme a variação do ângulo de aplicação da força por parte do usuário.

Para que seja possível sua produção e adaptação nos aparelhos de musculação existentes ou

em novos aparelhos, o custo é um dos principais parâmetros a ser otimizado. Aliado ao custo, o material deve apresentar resistência mecânica para suportar os esforços resultantes da execução do exercício pelo praticante de musculação, uma vez que a roldana estará sempre em contato com o cabo de aço e o peso a ser movimentado.

A roldana com mecanismo de variação de carga é mostrada na Fig. 1.



Figura 1. Roldana.

Para a seleção de materiais para a roldana, os principais critérios de projeto a serem avaliados são a resistência à compressão e ao cisalhamento, o custo e massa do produto.

Método de Ashby. Para a seleção de um material para a roldana, é utilizado o método de mapas de Ashby, o qual consiste no agrupamento das famílias de materiais em gráficos compondo uma combinação de propriedades que são correlacionadas pelo *Índice de Mérito* (IM) [3]. A seleção de materiais por essa metodologia se baseia na otimização do IM.

Esse método possui vários estágios. Inicialmente, têm-se o estabelecimento da função do componente, seguido do estabelecimento do objetivo principal e por fim a identificação da restrição [8]. O estabelecimento da função do componente consiste na determinação da finalidade do objeto estudado. No caso da roldana, essa deve suportar os esforços de compressão e cisalhamento. Uma vez estabelecida a função do componente, analisa-se o objetivo principal, ou seja, o requisito para a seleção. A roldana deve ser de material com baixa densidade e com o custo reduzido, além de possuir boas propriedades mecânicas.

A última etapa consiste na identificação do *Índice de Mérito*, levando em consideração o objetivo principal. Com isso, pelo mapa de propriedades gerado, é possível selecionar os materiais que mais se adequam à aplicação requerida.

Durante essa seleção de materiais para a roldana, utilizou-se o *software* CES EduPack 2013 para análise dos mapas de *Ashby*.

Cálculo dos Índices de Mérito. Conhecendo-se os principais esforços que a roldana está sendo solicitada (compressão e cisalhamento), busca-se uma relação entre a resistência mecânica e a densidade do material para a determinação dos *Índices de Mérito*.

A tensão de compressão é dada pela Eq. 1.

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$

$$\sigma = \frac{F}{l.e} \quad (2)$$

Onde e é a espessura da parte da roldana com raio variável e l é o comprimento do ponto de fixação do cabo na parte da roldana com raio variável.

Isolando a espessura, têm-se:

$$e = \frac{F}{\sigma.l} \quad (3)$$

A equação da massa é dada por:

$$m = \rho.A.e \quad (4)$$

Substituindo a equação da espessura (Eq. 3) na equação da massa (Eq. 4), têm-se uma expressão geral para massa que relaciona a propriedade compressiva do material:

$$m = \frac{\rho.A.F}{\sigma.l} \quad (5)$$

$$m = [F] \left[\frac{A}{l} \right] \left[\frac{\rho}{\sigma} \right] \quad (6)$$

Em que o primeiro termo entre colchetes da Eq. 6 representa a restrição funcional, o segundo termo as restrições geométricas e o terceiro as propriedades do material. Como o objetivo da análise é minimizar a massa, obtém-se o *Índice de Mérito* (IM) para compressão, apresentado na Eq. 7.

$$IM = \frac{\sigma}{\rho} \quad (7)$$

Partindo do mesmo princípio e metodologia, determina-se o segundo Índice de Mérito, que relaciona o cisalhamento com a densidade:

$$IM = \frac{G^{2/3}}{\rho} \quad (8)$$

Os valores mínimos de resistência à compressão e cisalhamento utilizados foram calculados considerando que a roldana está na iminência do movimento para elevar uma carga de aproximadamente 500 N.

Em vista disso, a região crítica para análise da carga de compressão é a região de fixação do cabo na roldana, em que a força de 500 N é aplicada na parte superior do suporte do cabo, que apresenta baixa área de contato de compressão. Nessa situação crítica, a espessura da parte da roldana com raio variável é de 0,01 m e o comprimento do ponto de fixação do cabo na parte da roldana com raio variável é 0,02 m. Assim, aplicando esses valores na Eq. 2, obtêm-se que tensão de compressão mínima é de 2,50 MPa.

Em relação ao cisalhamento, a região avaliada foi a área transversal do suporte de fixação do cabo na roldana, por ser a região de aplicação direta da carga do equipamento e por apresentar baixa área de contato. Para determinar a tensão de cisalhamento utiliza-se a Eq. 9.

$$\tau = \frac{F}{l \cdot h} \quad (9)$$

Onde h é a altura do suporte do cabo na roldana com raio variável e l é o comprimento do ponto de fixação do cabo na parte da roldana com raio variável. Neste caso, a altura é de 0,03 m e o comprimento é 0,02 m. Utilizando a Eq. 9, encontra-se que a tensão de cisalhamento foi de 0,833 MPa.

O valor do módulo de cisalhamento depende diretamente do ângulo de torção da roldana e, como o objetivo é minimizar essa torção, procura-se eliminar as classes que apresentam pior desempenho. O valor obtido para a resistência ao cisalhamento foi considerado indiretamente no mapa de *Ashby*, como parâmetro para estimar o módulo de cisalhamento mínimo.

Válvula multivias. Segundo *Rozenfeld* [1], os projetos podem ser classificados por diversos critérios, sendo baseada pelo grau de mudança que o design traz em relação a opções anteriores. Dessa forma, a válvula multivias insere-se na categoria de projeto incremental, uma vez que deriva de um produto existente, agregando algumas modificações.

Segundo *Boroto e Lemke* [9], essa válvula foi desenvolvida com a função de automatizar o sistema de irrigação de culturas em propriedades rurais com uma tecnologia funcional e de baixo custo, que permite a mudança de setor por meio de um motor de passo com funções temporizadas, visando economia e produtividade.

Muitos produtores utilizam o sistema de fertirrigação, o qual consiste em aplicar os fertilizantes diluídos na água do sistema de irrigação. Os fertilizantes utilizados no processo possuem uma grande quantidade de sais minerais que podem prejudicar a vida útil da tubulação quando aplicados incorretamente. Como a válvula está em contato direto com o fluido do processo, o material do seu interior deve ser escolhido para ser compatível com as características de corrosão e abrasão do fluido. *Boroto e Lemke* [9] afirmam que o custo é um dos principais aspectos na seleção do material da válvula, visto que o objetivo da válvula é incorporação em sistemas de irrigação já montados.

A determinação do material mais adequado para determinada aplicação na irrigação está relacionada ao atendimento das demandas hidráulicas do sistema (vazão e a pressão de trabalho), qualidade da água transportada (corrosão e abrasão), grau de segurança requerido, de sobrecargas externas (quando existirem), e também de uma avaliação econômica do projeto na busca da melhor opção [10].

A seleção de materiais para as válvulas é baseada em sua resistência (limites de pressão e temperatura) à corrosão e erosão de um determinado fluido de processo. Para a seleção de materiais pode-se levar em consideração que o bronze e o latão são muito econômicos e satisfatoriamente resistentes à corrosão. O ferro fundido também é barato e pode ser aplicado quando se utiliza alguns fluidos corrosivos. O aço carbono é selecionado quando resistência mecânica é necessária. O aço inoxidável também possui excelente resistência mecânica e resistência à corrosão.

A Figura 2 ilustra a válvula em análise.



Figura 2. Válvula Multivias.

Devido às suas características de aplicação, os critérios de projetos analisados que influenciam diretamente no desempenho da válvula são resistência à corrosão, custo do produto, massa e resistência ao desgaste erosivo.

Método Desdobramento da Função Qualidade – QFD. A dificuldade de identificar e quantificar a corrosão no material aliada à dificuldade de quantificar a ação dos agentes erosivos, dificultam a seleção do material otimizado a partir do Índice de Mérito, como feito para a roldana. Logo, parte-se para a utilização de outro método de seleção do material para a válvula.

O Método Desdobramento da *Função Qualidade* (QFD) foi utilizado para a seleção do material otimizado da válvula. Esse método é baseado em uma matriz de avaliação que busca associar os requisitos técnicos de peças em propriedades dos materiais. Conhecendo-se os requisitos da aplicação, esses devem ser classificados numa escala de 0 a 5, denominada de Peso do Requisito, que são atribuídos de acordo com a relevância do requisito para o projeto, sendo o peso 5 para o mais importante, enquanto o peso 0 para um requisito que não tem influência no projeto [11].

Segundo *Brascher, Scalice e Becker* [12], o *Método Desdobramento da Função Qualidade* demonstra uma boa concordância de resultados em comparação com outros métodos disponíveis na literatura, sendo bastante vantajoso a sua utilização para a seleção de materiais, por ser de fácil aplicação e utilização.

Pré-seleção de materiais para válvula. Para a análise dos possíveis materiais a serem empregados na válvula multivias, realizou-se uma pré-seleção de materiais. Com a mesma metodologia de análise realizada para a roldana (seleção de materiais por meio de mapas de *Ashby*), descartou-se a classe das cerâmicas e vidros por serem materiais frágeis, possuindo pouca ou nenhuma ductilidade [3]. Utilizou-se o *software CES EduPack 2013* para a análise dos mapas.

Uma vez que a válvula é aplicada na fertirrigação, o fluido de trabalho (água) está constantemente contaminado com partículas sólidas do processo, gerando desgaste no material. Dessa forma, espera-se que o material tenha uma boa resistência à abrasão, ou seja, tenha uma dureza considerável. Isto posto, com auxílio do Mapa de *Ashby* para dureza, excluem-se as espumas da análise, uma vez que possuem durezas muito baixas, além de possuírem elevadas porosidades, o que é prejudicial para a válvula, devido ao aumento da perda de carga e dificuldade de vedação.

A classe dos elastômeros também foi descartada da análise, por possuir baixos módulos de elasticidade, que, segundo *Ashby* [3], chegam a ser 100000 vezes menor que dos aços. Dessa maneira, a análise se restringe às classes dos metais e suas ligas, polímeros e compósitos.

De acordo com *Testezlaf e Matsura* [10], empregam-se em sistemas de fertirrigação, tubos e

acessórios fabricados em PVC, polietileno, alumínio e Ferro Fundido. Silva [13] destaca ainda materiais como aço carbono e bronze, cobre e latão.

Uma vez que a análise se restringe a sistemas de irrigação de pequeno porte, as cargas atuantes sobre as conexões são menores, não havendo necessidade de materiais com alta resistência mecânica. Por tanto, os metais e suas ligas são soluções pouco econômicas devido ao seu alto custo de aquisição [10],

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Materiais selecionados para a roldana. Inicialmente, analisaram-se as propriedades de resistência à compressão e densidade, visto que são dois dos parâmetros que apresentam maior relevância do projeto. Posteriormente, relacionou-se a densidade com a propriedade de cisalhamento. As Figuras 3 e 4 se referem aos *Índices de Mérito* encontrados no item 2.1.2.

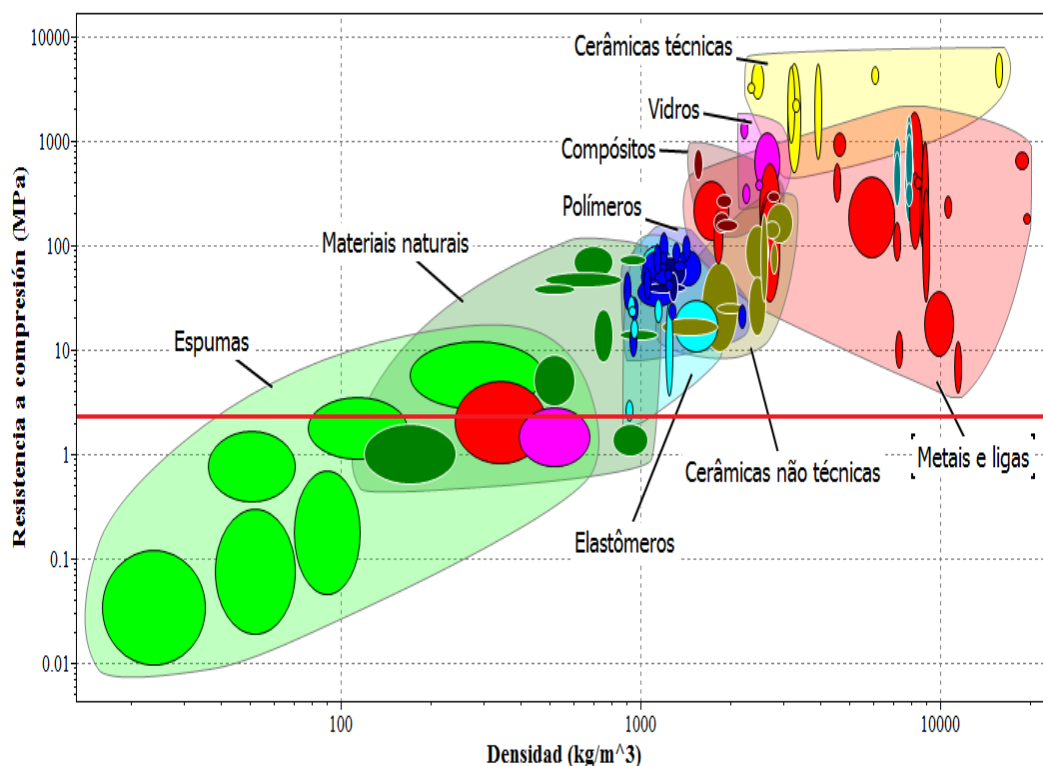


Figura 3. Mapa de propriedades que relaciona a tensão de compressão (MPa) com a densidade (kg/m³).

Para a primeira análise, utilizou-se o gráfico para eliminar os materiais que não atendem ao requisito de resistência à compressão. Já para o segundo caso, utilizou-se o *Índice de Mérito* (Eq. 8), com uma reta com inclinação de 3/2 para comparação dos materiais. Conforme a aplicação a que se destina, o material deve apresentar uma resistência mínima de compressão de 1,5 MPa. Dessa forma, como uma análise inicial, podem-se excluir as espumas e os materiais naturais. Os elastômeros, apesar de atenderem o requisito de compressão, são pouco resistentes ao cisalhamento,

sendo, portanto, excluídos da análise.

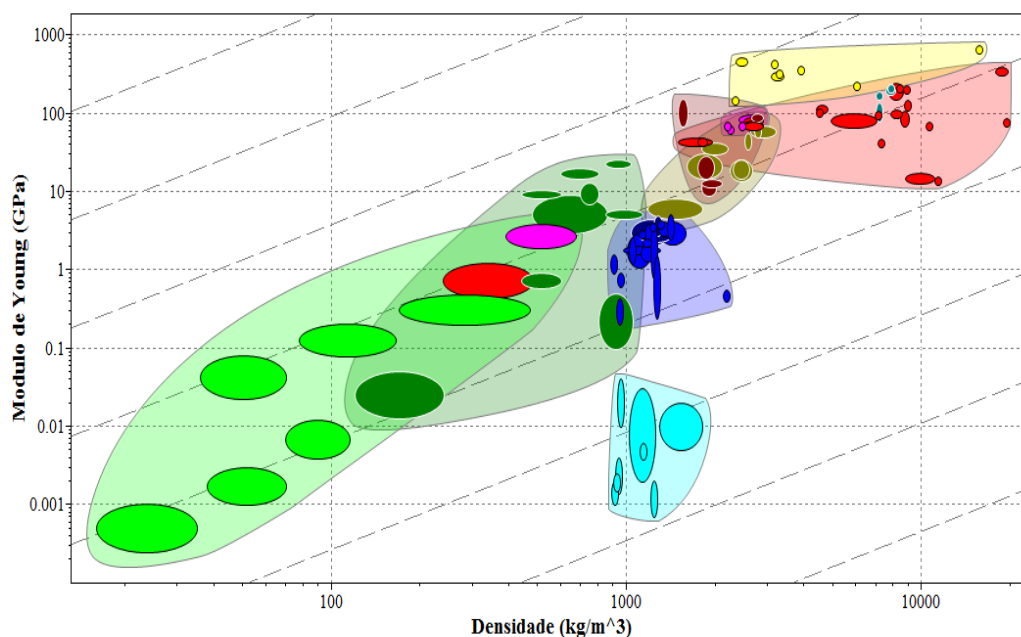


Figura 4. Mapa de propriedades que relaciona o módulo de cisalhamento (GPa) com a densidade (kg/m^3).

Da análise anterior, verifica-se que as classes de materiais selecionados são os polímeros, cerâmicas, metais e suas ligas, vidros, compósitos e cerâmicas não técnicas. Segundo *Ashby* [3], as cerâmicas têm módulos de elasticidade altos, porém, diferentemente dos metais, elas são frágeis. Por possuírem pouca ou nenhuma ductilidade, têm baixa tolerância à concentrações de tensões ou a altas tensões de contato, apresentando uma alta dispersão para a resistência. Ainda segundo *Ashby* [3], assim como as cerâmicas, os vidros são duros, frágeis e vulneráveis à concentração de tensão. Assim, a seleção de materiais se restringe às classes dos polímeros, metais e suas ligas e compósitos.

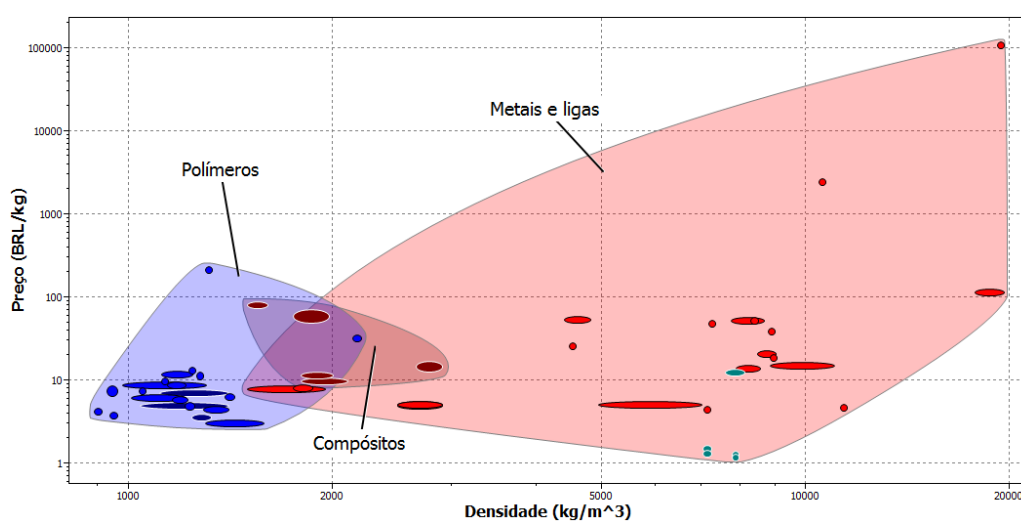


Figura 5. Mapa de propriedades que relaciona o preço (BRL/kg) com a densidade (kg/m^3) - Roldana.

Uma vez que os materiais pré-selecionados atendem às restrições funcionais (resistência mínima à compressão e ao cisalhamento), realiza-se a triagem final analisando o custo e densidade, propriedades que devem ser minimizadas. A Figura 5 representa essa comparação.

Por análise da Fig. 5, verifica-se que a classe dos polímeros é a que representa as melhores escolhas quanto ao custo e densidade. Uma vez que existem diversas roldanas no mercado fabricadas em Nylon, utiliza-se desse material como base de análise e realiza-se uma comparação final, pelos dados da Tabela 1, de possíveis materiais para a seleção de material para a roldana.

Tabela 1. Comparação entre os materiais selecionados para a roldana

| | Nylon | Polietileno | Polipropileno | ABS |
|--------------------------------|--------------|---------------|---------------|---------------|
| Densidade [kg/m ³] | 1120 – 1140 | 939 - 960 | 890 - 910 | 1010 – 1210 |
| Preço [BRL/kg] | 9,28 – 10,20 | 3,60 – 3,96 | 3,92 – 4,52 | 5,80 - 6,40 |
| Resistência à Compressão [MPa] | 55 - 104 | 19,70 – 31,90 | 25,10 – 55,20 | 31,00 – 86,20 |
| Módulo de Cisalhamento [GPa] | 0,97 – 1,19 | 0,22 – 0,31 | 0,32 – 0,55 | 0,32 – 1,03 |

Uma vez que todos os materiais pré-selecionados na primeira etapa atendem aos requisitos funcionais do projeto e tendo em vista que o custo é o principal fator de escolha, verifica-se que o material mais adequado para a substituição do nylon é o Polietileno, seguido pelo Polipropileno. Considerando um mesmo volume de componente, um material fabricado em Polietileno proporciona a redução de massa de aproximadamente 16% e de custo de 61%, enquanto o Polipropileno proporciona uma redução de massa de aproximadamente 20% e de custo de 57%.

Segundo Takagaki [14], o ABS tem ganhado grande espaço na engenharia, principalmente na fabricação de objetos por meio da manufatura aditiva (MA). Dessa forma, o ABS, apesar de não ser a alternativa mais econômica para a análise em questão, se apresenta como um material passível de ser empregado, apresentando uma redução de aproximadamente 2% de massa e de custo de 37%.

Materiais selecionados para a válvula multivias. Após a triagem inicial dos materiais discriminada no item 2.2.2, realizou-se em seguida uma análise por meio de um mapa de Ashby para relacionar as propriedades de densidade e custo, as quais devem ser minimizadas. A Figura 6 ilustra essa relação das propriedades.

Verifica-se, por análise do mapa, que a classe de materiais que possuem as melhores combinações de densidade e custo são os polímeros. Dessa forma, o Método Desdobramento da Função Qualidade (QFD) foi aplicado à essa classe.

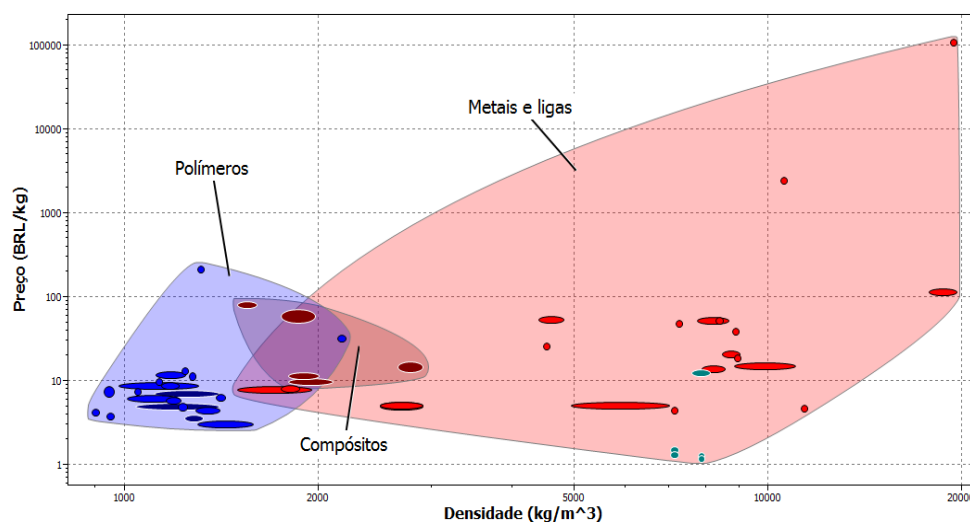


Figura 6. Mapa de propriedades que relaciona o preço (BRL/kg) com a densidade (kg/m³) – Válvula multivias.

Conforme mencionado anteriormente, a seleção do material para a válvula deve levar consideração a corrosão, sendo um fator de grande relevância. O processo responsável pela corrosão é um mecanismo químico e eletroquímico, onde a passagem de corrente elétrica no material gera a troca de íons e elétrons. Como não existe uma propriedade específica para caracterização e quantificação da corrosão, é um processo difícil de ser analisado, uma vez que depende de diversos fatores, como pH, temperatura de operação, ambiente ao qual está inserido, agentes contaminantes, dentre outros [15]. Autores como *Silva* [16] afirmam que a resistividade elétrica pode ser utilizada como parâmetro para avaliação de corrosão, uma vez que está associada ao processo de transporte dos agentes agressivos no interior do material, além de servir como um indicador de grau de umidade presente nos poros do material.

Além da corrosão, o material da válvula deve possuir uma considerável dureza para resistir aos processos abrasivos provocados pela fertirrigação. As propriedades analisadas para caracterizar esse tipo de desgaste nos metais e suas ligas foram a dureza e o módulo de elasticidade. Segundo *Stachowiak e Batchelor* [17], os polímeros exigem uma análise mais complexa das propriedades, do tipo da aplicação e dos mecanismos de desgaste envolvidos, além da dureza e do módulo de elasticidade. Por fim, também se espera que o material possua a menor massa e custo possível, caracterizados pela densidade e preço, respectivamente.

Semelhante ao que foi feito para a seleção de material para a roldana, utilizou-se o *software CES EduPack 2013* para a análise das propriedades requeridas pelos materiais. Para a análise das propriedades dos materiais pelo método QFD, atribuíram-se pesos para cada propriedade, numa escala de 1 a 5, em ordem crescente de relevância para a válvula, considerando sua aplicação para sistemas de fertirrigação. Atribuíram-se fatores, positivos ou negativos, sendo que o negativo

representa minimização do valor da propriedade. A parametrização dos valores das propriedades de cada material foi feita pela proporção entre o valor da propriedade do material e o maior valor para a determinada propriedade dentre os materiais analisados, numa escala de 0 a 10. A Tabela 2 mostra a comparação, pelo método QFD, entre alguns materiais pré-selecionados para a válvula.

Nesse sentido, analisando a tabela de comparação pelo método QFD (Tab. 2), observou-se que o policloreto de vinila (PVC) foi o material que apresentou as melhores propriedades de acordo com os pesos atribuídos para cada uma, sendo classificado na primeira posição. O Alumínio foi analisado, apesar de ter sido selecionada somente a classe dos polímeros, pois foi o material utilizado para fabricação do primeiro protótipo funcional da válvula apresentando bons resultados, sendo classificado na segunda posição, o que demonstra que sua utilização também é viável para o protótipo. Em relação à classe de polímeros, o polietileno (PE) foi classificado na segunda posição e na classificação geral dos materiais na terceira posição, apresentando propriedades interessantes para sua utilização, considerando a ponderação escolhida.

Tabela 2. Comparação entre os materiais selecionados para a válvula pelo método QFD.

| Propriedade desejada | Fator | Peso | Policloreto de vinila (PVC) | Polietileno (PE) | Poliestireno (PS) | Polipropileno (PP) | Acrlonitrila-Butadieno-Estireno (ABS) | Alumínio |
|--|-------|------|-----------------------------|------------------|-------------------|--------------------|---------------------------------------|----------|
| Resistência à compressão (MPa) | 1 | 2 | 3,48 | 1,36 | 2,46 | 2,11 | 3,08 | 10 |
| Tenacidade à fratura (MPa.m ^{0.5}) | 1 | 1 | 1,24 | 0,60 | 1,41 | 1,03 | 0,34 | 10 |
| Resistividade elétrica (μohm.cm) | 1 | 3 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 0 |
| Dureza (HV) | 1 | 2 | 1,25 | 0,67 | 0,83 | 1 | 1,21 | 10 |
| Módulo de Elasticidade Volumétrica (GPa) | 1 | 1 | 0,70 | 0,32 | 0,37 | 0,57 | 0,43 | 10 |
| Preço (BRL/Kg) | -1 | 5 | 4,07 | 5,09 | 10 | 5,68 | 8,21 | 6,78 |
| Densidade (kg/m ³) | -1 | 2 | 5,33 | 3,58 | 3,33 | 4,11 | 3,87 | 10 |
| Pontuação: | | | 10,39 | 2,37 | -18,3 | 1,2 | -45,9 | 6,1 |
| Classificação: | | | 1° | 3° | 5° | 4° | 6° | 2° |

CONCLUSÃO

Com esse trabalho foi possível aplicar metodologias de seleção de materiais para avaliar os melhores materiais para cada objeto de estudo, a partir dos objetivos e restrições. Verificou-se que o polietileno foi o melhor material para aplicação na roldana, proporcionando uma redução de massa de aproximadamente 16 e 61% no custo do material. Para a válvula, a utilização do método QFD,

com os requisitos e pesos adotados, revelou que o policloreto de vinila (PVC) possui as melhores propriedades para ser aplicado na válvula, mostrando-se uma boa alternativa para a substituição do atual material empregado, o alumínio. Essa substituição, além de melhorar a resistência à corrosão do equipamento, reduz o custo em aproximadamente 49%.

Para obter uma seleção de materiais mais completa, é necessário um maior aprofundamento em cada objeto de estudo para que sejam avaliadas outras propriedades e restrições que podem influenciar na escolha, bem como os demais fatores que são inerentes ao desenvolvimento de um produto inovador, desde sua concepção até sua inserção no mercado, tais como: processos de fabricação, disponibilidade de material na região, vida útil do produto, ciclo de manutenção, dentre outros.

REFERÊNCIAS

- [1] Rozenfeld H., Amaral DC, Forcellini FA, Toledo JC De, Silva LDa, Alliprandini DH, Scalice RK, “*Desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo*”. São Paulo: Saraiva, 2006
- [2] Clark KB, Wheelwright SC “*Managing new product and process development: text and cases*”. New York: The Free Press, 1993
- [3] Ashby MF “*Seleção de materiais no projeto mecânico*”. 1 ed. Rio de Janeiro: Editora Elsevier 2012. Baxter M, 1995, “*Projeto de produto*”. São Paulo: Edgard Blücher.
- [4] Farag MM “*Materials and process selection for engineering design*”. 3ª ed. Taylor & Francis Group, 2014
- [5] Dias MRAC, Gontijo LA “*Método Permutas para a seleção de materiais*”. XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Belo Horizonte, 2011
- [6] Collins JA “*Projeto mecânico de elementos de máquinas: uma perspectiva de prevenção da falha*”. Rio de Janeiro, LTC, 2006
- [7] Dehghan-Manshadi B, Mahmudi H, Abedian A, Mahmudi R “A novel method for materials selection in mechanical design: Combination of non-linear normalization and modified digital logic method”, *Materials and Design*, **28**, 8 (2007)
- [8] Ferrante M “*Seleção dos Materiais de Construção Mecânica: Estratégias e Metodologia Básica*”. Departamento de Engenharia dos Materiais. Ufscar. Simpósio Matéria. Rio de Janeiro, 2000
- [9] Boroto RA, Lemke HP “*Válvula direcional de fluxo de múltiplas vias: Estudo e desenvolvimento de projeto*”. Trabalho de Conclusão de Curso. São Mateus. Espírito Santo, 2017
- [10] Testezlaf R, Matsura EE “*Engenharia de Irrigação: tubos e acessórios*”. Faculdade de Engenharia Agrícola. UNICAMP, 2015
- [11] Pinto RS, Fontenelle MAM “*Desdobramento da Função Qualidade - QFD no processo de desenvolvimento de produtos: Uma aplicação prática*”, 2010.
- [12] Brascher GC, Scalice RSK, Becker D “*Metodologia para seleção de materiais baseada no QFD*”. Anais do 8º Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto. Rio Grande do Sul, 2011
- [13] Silva OJL “*Válvulas industriais*”. 2ª ed. Rio de Janeiro, Qualitymark, 2010
- [14] Takagaki LK “*Tecnologia de Impressão 3D*”. Revista Inovação Tecnológica, São Paulo, 2(2), 2840, jul./dez, 2012.
- [15] Wolyne S “*Técnicas eletroquímicas em corrosão*”. São Paulo: EDUSP, 2003, Cap 1– 4
- [16] Silva LA “*Resistividade elétrica do concreto: Influência da cura*”. Trabalho de Conclusão de Curso. Goiânia, 2016
- [17] Stachowiak GW, Batchelor AW “*Engineering Tribology*”. Ed. Elsevier Butterworth-Heinemann, Estados Unidos, 2005