

ORDENAÇÃO DE FILAMENTOS PARA IMPRESSÃO 3D DE PEÇAS DE ACABAMENTO INTERNO DE HELICÓPTEROS DA FORÇA AÉREA BRASILEIRA POR MEIO DO MÉTODO SWARA-MOORA-3NAG

Fernanda Márcia da Silveira Esteves (UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE)
Email: fernandamse@id.uff.br

Carlos Francisco Simões Gomes (UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE)
Email: cfsg1@bol.com.br

Anderson G. Portella (UNIVERSIDADE VEIGA DE ALMEIDA)
Email: andersonportella@yahoo.com.br

Enderson Luiz Pereira Junior (UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE)
Email: endersonlpj@id.uff.br

Marcos dos Santos (INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA)
Email: marcosdossantos@ime.eb.br

Resumo

A manufatura aditiva, também conhecida como impressão 3D, tem se tornado cada vez mais importante e presente em diversas áreas e organizações. Este estudo tem como objetivo analisar à luz do método de apoio à tomada de decisão multicritério SWARA-MOORA-3NAG para a seleção do melhor filamento a ser utilizado em impressora 3D para confecção de peças de acabamento interno de helicópteros da Força Aérea Brasileira. Foram realizadas entrevistas com um especialista em manutenção de aeronaves de asas rotativas dessa instituição, que culminaram na elaboração de uma Figura Rica e a utilização da CATWOE *Analysis*, que foram fundamentais para a estruturação do problema. O filamento selecionado foi o Nylon, material que é bastante resistente à impactos, fadiga e abrasão, parcialmente flexível e com o custo não muito elevado. Com a utilização dessa tecnologia em detrimento de métodos convencionais, espera-se obter celeridade nas manutenções, redução de custos e desperdício de material, além de melhor acabamento das peças.

Palavras-Chaves: Manufatura aditiva; Impressão 3D; SWARA-MOORA-3NAG; Manutenção de helicópteros.

1. Introdução

Diante da crescente evolução tecnológica e inovação, surgiram as Revoluções Industriais que culminaram na 4ª Revolução, conhecida como Indústria 4.0. Na busca por técnicas de processamento que acompanhassem a evolução das tecnologias, a manufatura aditiva, um dos pilares da Indústria 4.0, foi inventada pelo estadunidense Chuck Hull em 1983, que desenvolveu a estereolitografia, antecessora à impressora 3D como é conhecida atualmente (SACOMANO *et al.*, 2018).

A manufatura aditiva, também conhecida como impressão 3D, é uma forma de processamento, na qual um objeto tridimensional é criado e a produção é feita em etapas, adicionando material camada por camada para formar a peça final e possibilita a prototipagem rápida de qualquer peça de formatos complexos, o que não é possível por outros processos de fabricação tradicionais (CAPUCHO *et al.*, 2021).

Essa tecnologia está se tornando cada vez mais popular devido ao seu impacto ambiental reduzido e menor demanda de energia do que a fabricação convencional (LONG *et al.*, 2019). Visto que essa tecnologia introduz eficiências no processo de construção, como economia de tempo e material, facilidade de customização e personalização, entre outros, esta abordagem de fabricação é considerada um método de ponta para enfrentar os desafios da sustentabilidade (CRAVEIRO *et al.*, 2019).

Os principais benefícios de incluir a manufatura aditiva nos processos de fabricação são a capacidade de criar formas complexas, a grande variedade de polímeros utilizados e a eficiência do material em oposição à usinagem (ALI *et al.*, 2022).

Os avanços nos estudos sobre os materiais que podem ser empregados e a expansão dessas possibilidades na utilização da tecnologia de impressão 3D, torna viável um custo reduzido comparado aos anos iniciais dessa tecnologia. Hoje há uma grande diversificação desses materiais, desde ABS até Fibras de Carbono, por exemplo (LIMA *et al.*, 2021).

O trabalho em questão trata da seleção de material de impressora 3D para ser utilizado na reposição de peças de acabamento interno de aeronaves, mais especificamente, helicópteros da Força Aérea Brasileira (FAB).

Atualmente, essa tecnologia não é utilizada e sempre que há necessidade de manutenção, novas peças precisam ser adquiridas com fornecedores de fora, o que é custoso e, por vezes, demorado. Inclusive, algumas peças são bem específicas e de geometria complexa. A utilização da impressão 3D traria efetividade para manutenção.

Para entender e justificar a aquisição de impressora 3D, foram utilizados dois métodos de estruturação de problemas: a Figura Rica e a CATWOE *Analysis*. No entanto, antes da escolha de qual modelo de deveria ser adquirido, é fundamental que seja verificado o melhor filamento para as peças, visto que cada opção de máquina permite a empregabilidade de certos materiais em detrimento de outros.

Porém, diante das diversas opções de filamentos disponíveis para serem utilizados na impressão 3D, como escolher o melhor? A finalidade da impressão direcionou a utilização de algum método de apoio à tomada de decisão multicritério, e a escolha recaiu sobre o método SWARA-MOORA-3NAG.

Além dessa seção de introdução, o artigo conta com a descrição do problema na seção 2, a revisão de literatura na terceira, metodologia na quarta, a proposta de solução na seção de número 5, discussão dos resultados na 6 e, por fim, as considerações finais na sétima seção.

2. Descrição do problema

Os helicópteros da FAB passam regularmente por manutenções, a fim de garantir a confiabilidade das aeronaves e, conseqüentemente, a aeronavegabilidade segura. Contudo, além de peças complexas, as quais devem ser homologadas e que precisam passar por diversos testes, existem aquelas que mais simples e que não precisam, serem originárias de fornecedor específico, porém são tão importantes quanto as outras.

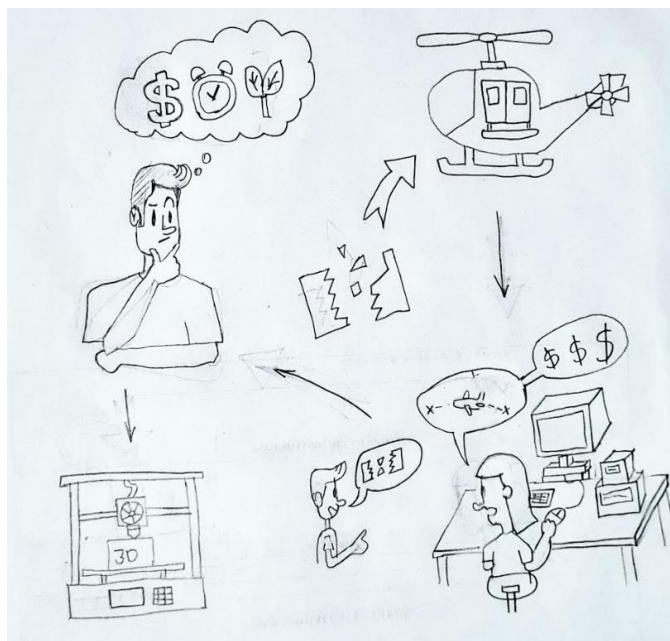
Em geral, peças de acabamento interno, como saída de ar-condicionado, suportes de luminária, moldura da janela, porta mapa, suporte do extintor, entre outros, são desse segundo tipo.

Portanto, ao entrevistar um especialista em manutenção de aeronaves da FAB, foi possível entender a necessidade da organização de agilizar o processo de aquisição, reparo ou substituição das peças, diminuir o custo e perda de material, além de obter melhor acabamento. Para tal, por meio de duas ferramentas de estruturação de problemas, a Figura Rica e a CATWOE *Analysis*, conclui-se que uma das soluções possíveis seria a aquisição de uma impressora 3D.

2.1 Figura Rica

A *Rich Picture* ou, em português, Figura Rica, facilita o entendimento e visualização do problema tanto por parte da própria pessoa que a desenha quanto a quem precisa verificar e compreender o tema. Nesse trabalho, foi feita uma Figura Rica, que pode ser visualizada na Figura 1.

Figura 1 – Figura Rica



Fonte: Autores (2022)

Descrição da Figura Rica: Durante a manutenção de um helicóptero, uma peça de acabamento se quebra. Com isso, o técnico de manutenção se encaminha ao almoxarifado para solicitar nova peça. Contudo, ele é informado que a peça virá de fora do país e levará semanas para chegar, além do alto custo de aquisição.

Diante desse problema, o técnico reflete sobre novas possibilidades de conserto dessa peça de acabamento, considerando que a seção de estrutura dispõe de recursos limitados e, por isso, o reparo, por vezes, é grosseiro. Ele visa menor custo, menor tempo de aquisição e economia de recursos (sustentabilidade). Portanto, ele vê na manufatura aditiva, por meio da impressão 3D, uma solução viável para obter peças de alta qualidade, atendendo as necessidades da manutenção.

2.1 CATWOE Analysis

Outra ferramenta utilizada para a estruturação do problema foi a CATWOE Analysis, conforme demonstrado na Tabela 1. As perguntas foram respondidas pelo especialista em manutenção de aeronaves da FAB que foi entrevistado, com base na possível implementação da impressora 3D na instituição com o objetivo de fabricar peças de acabamento de helicópteros.

Tabela 1 – CATWOE Analysis

CATWOE	Perguntas	Resultados
Customer (Clientes)	Quem são as vítimas ou beneficiários do sistema?	A FAB em geral e, principalmente, a equipe de manutenção de helicópteros.
Actors (Atores)	Quem irá executar as atividades?	Membros da equipe de manutenção capacitados a operar a impressora 3D.
Transformation (Transformação)	Quais transformações as atividades irão provocar?	Menor perda de material, menor tempo de aquisição das peças, menor custo de aquisição das peças, melhor acabamento das peças.
Worldview (Visão de Mundo)	Que ponto de vista dá sentido à definição?	Acredita-se que com a impressora 3D a execução dos serviços de manutenção será otimizada.
Owner (Proprietário)	Quem pode parar a atividade?	Parque de Manutenção (gerenciadores dos projetos de manutenção - linha de aeronaves).
Environment (Ambiente)	Quais as restrições externas?	Falta de capacitação técnica, resistência à mudança, questões contratuais com o fabricante da impressora 3D.

Fonte: Autores (2022)

No caso estudado, após a compreensão do problema e da transformação desejada, que seria a implementação da impressora 3D na rotina de manutenção de helicópteros da FAB, é necessário antes de decidir qual modelo escolher para a compra, verificar quais tipos de filamento poderiam ser utilizados, de forma a atender os requisitos técnicos necessários do tipo de peça que será fabricada.

Existem diversos tipos de materiais utilizados na impressão 3D disponíveis no mercado, e ao verificar as características de cada filamento, existe um *trade-off*. Então para tomada de decisão, foi utilizado o método de apoio à decisão multicritério SWARA-MOORA-3NAG.

3. Revisão da Literatura

3.1 Manufatura Aditiva

A manufatura aditiva é definida pela norma ISO/ASTM 52900:2021 como:

“processo de união de materiais para fabricação de objetos a partir de dados de modelos computacionais 3D, geralmente utilizando a sobreposição de camadas, em contrapartida a metodologias de fabricação subtrativas, como a usinagem tradicional”. Outros termos são utilizados para se referir a esse processo, como “fabricação aditiva” ou “prototipagem rápida”, porém a nomenclatura mais utilizada é “impressão 3D”. (Lima *et al.*, p.1, 2022)

Segundo Zhu *et al.* (2021), a impressão 3D é uma tecnologia versátil, que está emergindo como uma tecnologia poderosa que pode produzir vários produtos com características únicas e ter ferramentas de fabricação mais vantajosas do que a fabricação tradicional.

Conforme WU *et al.* (2022), a manufatura aditiva é um processo de fabricação no qual as matérias-primas (pós, filamentos ou fitas finas) são acumuladas camada por camada para formar peças de acordo com modelos de dados 3D, de forma a assegurar a qualidade do processo.

3.2 SWARA-MOORA-3NAG

Na década de 70, surgiram os primeiros métodos multicritério que buscam recomendar ações ao tomador de decisão, apoiando-o, sem eleger, no entanto, uma única verdade sobre a alternativa escolhida.

A subjetividade apresenta-se nesses métodos através dos pesos dos critérios a serem avaliados atribuídos pelo decisor, em razão de suas preferências, determinando maior ou menor importância para cada um dos atributos a serem analisados, os quais foram previamente selecionados também por ele (GOMES *et al.*, 2003).

Conforme Gomes *et al.* (2003), dado um problema de decisão, uma das seguintes problemáticas, que não são independentes entre si, pode ser abordada: no Problema tipo α recomenda-se uma alternativa a ser escolhida; no Problema tipo β realiza-se uma classificação das alternativas, podendo ou não ser ordenadas, aceitando as que parecem “boas” e descartando as que parecem “ruins”; no Problema tipo γ gera-se uma ordenação das alternativas; e no Problema tipo δ , descreve-se as alternativas de forma a esclarecer a decisão.

O método SWARA-MOORA-3NAG, desenvolvido por Hermogenes *et al.* (2022), é do tipo γ , visto que as alternativas são ordenadas ao final de todo o processo.

Segundo Hermogenes *et al.* (2022), com o método SWARA calcula-se os pesos dos critérios, e o método MOORA, por sua vez, calcula a ordenação das alternativas, apresentando duas ordenações ao final. Porém, o método SWARA-MOORA-3NAG utiliza duas ordenações para gerar uma, chamada de absoluta. Ou seja, acrescentando-se mais dois processos de normalização além do que já existe, ao final de cada normalização haverá duas ordenações: a nativa do MOORA e a *Tchebycheff Min-Max*, e em cada processo será possível obter uma ordenação absoluta.

Ao aplicar o método completo, após as três normalizações é possível observar três ordenações absolutas, que são trabalhadas matematicamente para que ao final exista apenas uma única ordenação denominada Absoluta Global. Portanto, o método compensatório SWARA-MOORA-3NAG mitiga a possibilidade de dúvidas na hora da tomada de decisão e possui maior robustez (HERMOGENES *et al.*, 2022).

A *Stepwise Weight Assessment Ratio Analysis* (SWARA) é uma ferramenta de tomada de decisão multicritério usada para calcular os pesos dos critérios ou atributos do problema sob consideração. criada por Keršulienė *et al.* (2010). O método parte da ordenação dos critérios conforme preferência do decisor, ou seja, em um grupo de múltiplos critérios, o tomador de decisão decide, inicialmente, quais são os mais relevantes conforme a sua percepção.

Em seguida, é necessário realizar uma comparação entre os critérios, de forma que o decisor informe o quanto o critério que está em segundo lugar no *ranking* de prioridades é pior que o primeiro colocado, bem como, o quanto o terceiro é pior que o segundo e, assim, sucessivamente (KERŠULIENE *et al.*, 2010). Os valores informados nessa comparação são denominados como S_j . Vale ressaltar que o primeiro critério recebe o valor S_j igual a zero, pois não existe nenhum critério mais importante.

Na próxima etapa calcula-se o coeficiente K_j a partir do valor S_j (Equação 1). Para exemplificar: o critério mais importante é o C1 e o segundo mais importante é o C2, desta forma: S_j do C1 = 0 e S_j do C2 = 0,25, indicando que C2 é 25% pior que C1. O K_j de C1 será 1 e o K_j de C2 será 1,25. O K_j é considerado como o valor que indica a importância do critério.

$$K_j = S_j + 1 \quad (1)$$

Para recalcular os pesos dos critérios, agora conhecendo K_j , utiliza-se a Equação 2. Para o primeiro critério o numerador será igual a 1, pois o K_j também é 1, e para os demais critérios é necessário dividir o resultado W_j do critério anterior pelo K_j do critério que está sendo analisado.

$$W_j = \frac{(x_j - 1)}{K_j} \quad (2)$$

Por fim, na etapa SWARA, calcula-se o peso final, na qual é aplicada a razão do critério analisado pelo somatório do peso recalculado, conforme Equação 3.

$$q_j = \frac{W_j}{\sum W_j} \quad (3)$$

O método MOORA foi introduzido por Brauers e Zavadskas (2006), e proporciona a seleção da melhor alternativa através da criação de uma matriz de decisão de diferentes alternativas de acordo com vários critérios, baseado em um conjunto de diferentes suposições. Ele tem início por meio de uma matriz de decisão, na qual x_{ij} é a resposta da alternativa j ao objetivo i , sendo $i = 1, 2, \dots, n$ e $j = 1, 2, \dots, m$.

Após a matriz de decisão ser preenchida, é preciso normalizá-la por meio da Equação 4, para recalcular seus elementos.

$$N^{x_{ij}} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^m x_{ij}^2}} \quad (4)$$

$N^{x_{ij}}$ é o número adimensional da resposta normalizada da alternativa j ao objetivo i , com intervalo entre zero e um, e quanto mais próximo de zero, melhor a alternativa. Para a otimização do modelo, as respostas são adicionadas em caso de maximização e subtraídas em caso de minimização, conforme a Equação 5.

Dessa forma, é verificado em cada alternativa a soma dos seus critérios de lucro, a soma dos seus critérios de custo e ao final é realizado a subtração do total de desses critérios para cada alternativa. Após isso, cada alternativa terá um valor e será possível ordenar as opções, sendo as que possuem valores mais próximos de zero, as melhores.

$$N^{y_j} = \sum_{i=1}^{i=g} N^{x_{ij}} - \sum_{i=g+1}^{i=n} N^{x_{ij}} \quad (5)$$

Onde, $i = 1, 2, \dots, g$, correspondem aos objetivos de maximização, $i = g + 1, g + 2, \dots, n$, para os objetivos de minimização e N^{y_j} corresponde à avaliação normalizada da alternativa j com respeito a todos os objetivos.

No método MOORA também pode ser utilizada a teoria do ponto de referência para opcionalmente gerar uma ordenação baseada nos valores mínimos. Para tal, verifica-se o valor máximo do critério normalizado se for de maximização, e se for de minimização verifica-se o valor mínimo, denominados de r_i . Esse processo pode ser compreendido por meio da Equação 6, que mede a distância entre as alternativas e o ponto de referência, pela métrica *Tchebycheff Min-Max*, sendo $r_i = i$ -ésima coordenada do ponto de referência objetivo máximo (BRAUNERS; ZAVADSKAS, 2006).

$$\min(j) \{ \max(i) | r_i - N^x_{ij} | \} \quad (6)$$

Após os resultados das ordenações do método MOORA e da métrica *Tchebycheff Min-Max*, é necessário realizar a subtração baseada nas distâncias das alternativas. Nessa etapa, verifica-se a ordenação absoluta baseada na primeira normalização (nativa), conforme Equação 7.

$$OA_{N1} = A_{ijm} - A_{ijmin-max} \quad (7)$$

Onde:

OA_{N1} = Valor cardinal de cada alternativa na ordenação absoluta na primeira normalização;

A_{ijm} = Valor cardinal da alternativa observada no método MOORA;

$A_{ijmin-max}$ = Valor cardinal da alternativa observada pela métrica *Tchebycheff Min-Max*.

Em seguida, é preciso rodar o método mais uma vez, tendo a mesma matriz de decisão como base, porém, na etapa de normalização, a equação utilizada passa a ser a razão do elemento pelo somatório dos elementos, conforme Equação 8.

$$\frac{a_{ij}}{\sum a_{ij}} \quad (8)$$

Com essa nova normalização, novas ordenações absolutas serão verificadas, como demonstrado na Equação 9.

$$OA_{N2} = A_{ijm} - A_{ijmin-max} \quad (9)$$

Onde, OA_{N2} = Valor cardinal de cada alternativa na ordenação absoluta na segunda normalização.

Na terceira e última vez em que o método é rodado, a equação utilizada para normalizar é a razão do elemento pelo máximo valor observado no critério analisado, conforme indica a Equação 10.

$$\frac{a_{ij}}{\max_{aij}} \quad (10)$$

Com isso, é possível obter novas ordenações absolutas (Equação 11).

$$OA_{N3} = A_{ijm} - A_{ijmin-max} \quad (11)$$

Onde, OA_{N3} = Valor cardinal de cada alternativa na ordenação absoluta na terceira normalização.

Por fim, com os resultados das três normalizações em mãos, realiza-se o somatório dos valores observados para cada alternativa, como demonstrado na Equação 12.

$$OAG = \sum_{j=1}^{j=m} OA_{Nn} \quad (12)$$

Onde, OAG representa o valor da ordenação absoluta global de cada alternativa, $j=1$ e $j=m$ indicam, respectivamente, que o somatório começa na primeira alternativa e o limite do somatório (quantidade de alternativas analisadas), e o OA_{Nn} é a ordenação absoluta observada nos passos anteriores, ou seja $OA_{N1} + OA_{N2} + OA_{N3}$ para cada alternativa.

As novas normalizações tornam o resultado mais robusto, para obter-se uma ordenação final mais acautelada e concisa para o tomador de decisão. Diferente dos métodos que apresentam apenas um modelo de normalização, a utilização de outros modelos corrobora para uma análise interna do processo, no qual o tomador de decisão poderá verificar a ordenação em cada modelo e utilizar a ordenação absoluta global, que realiza uma agregação dos resultados e considera todos os processos e resultados anteriores para a tomada de decisão (HERMOGENES *et al.*, 2022).

4. Metodologia

A pesquisa bibliográfica desse trabalho foi conduzida, principalmente, a partir de artigos que fazem parte da base Scopus. Ademais, foram consultados artigos de congressos nacionais, como SBPO, SIMEP, SPOLM. Dessa forma, foi possível compreender os tópicos abordados, com enfoque na Figura Rica, CATWOE *Analysis* e o método SWARA-MOORA-3NAG.

Para os resultados, foi de suma importância a realização de entrevistas com um especialista em manutenção de aeronaves de asas rotativas da FAB. As entrevistas foram presenciais e não estruturadas. Inicialmente, buscou-se alguma possível lacuna que poderia ser otimizada no dia a dia dos técnicos de manutenção da organização. A Figura Rica foi utilizada justamente para orientar o próprio especialista, aos autores e aos leitores, sobre o problema verificado e a solução proposta, com uma melhor visualização do tema proposto.

Por meio da CATWOE *Analysis* foi possível verificar, de fato, quem seriam os *stakeholders* envolvidos na implementação da manufatura aditiva, bem como os impactos que a impressão 3D pode causar na instituição.

Verificou-se junto ao especialista, que seria de suma importância a escolha do filamento a ser utilizado na impressora 3D, cuja finalidade seria construir as peças de acabamento interno dos

helicópteros, por serem peças que não precisam de homologação ou serem adquiridas com fornecedores específicos, visto que não interferem na aeronavegabilidade dos helicópteros.

Após essas etapas, foram elencadas oito alternativas de filamento e nove critérios foram determinados para serem avaliados em cada opção. Os dados a respeito dos filamentos foram localizados em *sites* da internet. É importante citar que houve validação das alternativas e critérios por parte do especialista, que confirmou que todas as opções atenderiam tecnicamente devido às propriedades dos materiais.

Em seguida, para a obtenção do ranqueamento dos filamentos, utilizou-se o método SWARA-MOORA-3NAG, por ser quantitativo, compensatório e cardinal. Adicionalmente, é mais robusto, visto que utiliza três normalizações, mitigando as dúvidas na tomada de decisão. Os cálculos do método foram realizados por meio do *software* disponível no *site*: <https://sm-3nag.streamlit.app>, ferramenta online, gratuita e de simples utilização.

Os resultados obtidos foram analisados e discutidos, visando estabelecer qual filamento é mais adequado para impressão 3D.

5. Proposta de Solução

No problema em questão, tem-se a matriz de decisão que pode ser visualizada na Tabela 2.

Tabela 2 – Matriz de Decisão

Item	PLA	ABS	PETG	PC	Nylon	PC-ABS	PET CF15	Tritan	
Resistência à Flexão (Mpa)	115	67	73	97	100	68	108	62	Lucro
Resistência à Tração (Mpa)	37	28,27	13,4	66	85,5	40,68	63,2	53	Lucro
Módulo de Elasticidade (Mpa)	3830	2300	2100	2300	3600	1900	6178	1550	Lucro
Temperatura de Fusão (°C)	185	220	240	225	268,8	227	245	280	Custo
Temperatura HDT (°C)	56,2	94,2	72,4	127	100	96	80	89,1	Lucro
Preço/KG (R\$)	125	90	145	340	230	340	600	270	Custo
Temperatura Vítreia (°C)	58	100	85	145	50	94	79	98	Lucro
Alongamento (%)	5,45	7,5	7,74	6	60	6	3,7	6	Lucro
Densidade (g/cm³)	1,24	1,06	1,27	1,3	1,52	1,19	1,36	1,19	Custo

Fonte: Autores (2022)

Após a inclusão dos dados na matriz, foi utilizado o método SWARA-MOORA-3NAG por meio da ferramenta *web*, que é de simples e rápida utilização.

Ainda na etapa de inserção dos dados no *software*, é solicitado que se realize a comparação entre os critérios, sempre verificando o percentual de quanto um é pior que o outro. Na Figura

2 demonstramos os percentuais de cada comparação, definidos com base na opinião do especialista entrevistado, diante das características que o material definido precisa possuir.

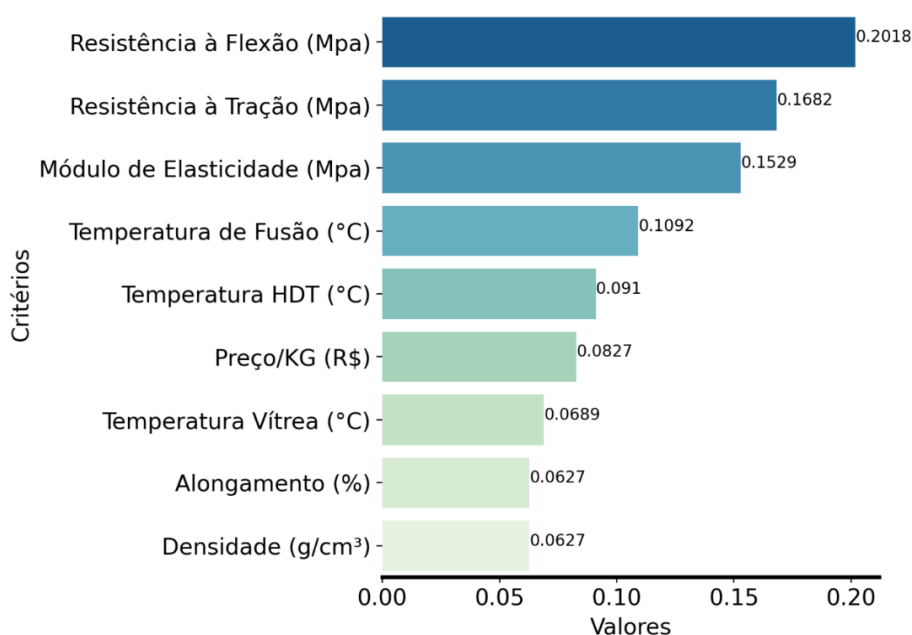
Figura 2 – Comparação entre os critérios



Fonte: Autores (2022)

Com base nos valores determinados nas comparações, foram determinados os pesos dos critérios, conforme Gráfico 1.

Gráfico 1 – Pesos dos critérios



Fonte: Autores (2022)

A seguir, na Tabela 3, estão as três ordenações absolutas das normalizações.

Tabela 3 – Ordenação Absoluta Normalização 1, 2 e 3

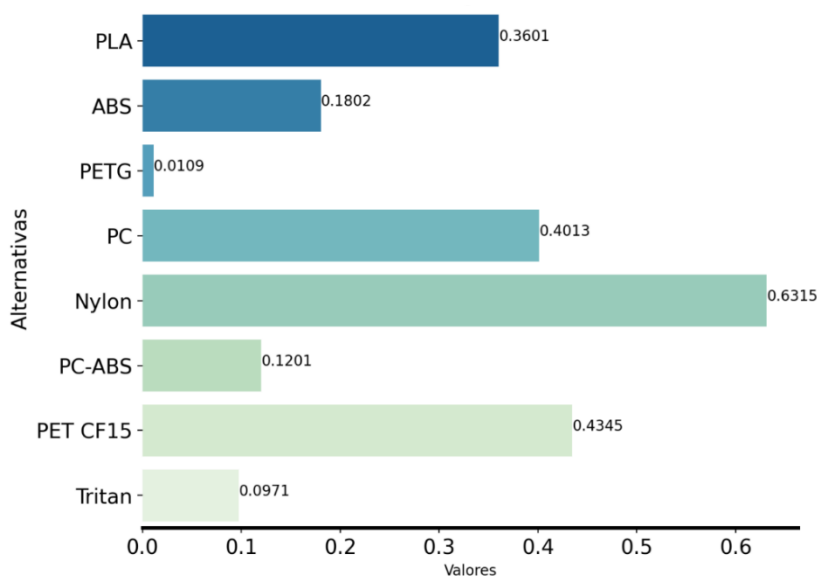
Ordenação Absoluta Normalização 1		Ordenação Absoluta Normalização 2		Ordenação Absoluta Normalização 3	
Nylon	0.2102	Nylon	0.0935	Nylon	0.3278
PET		PET		PET	
CF15	0.1350	CF15	0.0387	CF15	0.2608
PC	0.1238	PC	0.0385	PC	0.2389
PLA	0.1192	PLA	0.0339	PLA	0.2070
ABS	0.0636	ABS	0.0181	ABS	0.0985
PC-ABS	0.0362	Tritan	0.0087	PC-ABS	0.0758
Tritan	0.0304	PC-ABS	0.0082	Tritan	0.0581
PETG	0.0083	PETG	0.0036	PETG	- 0.0010

Fonte: Autores (2022)

Nota-se que nas três normalizações o Nylon figura em primeiro lugar, com certa vantagem sobre os demais. Em contrapartida, o PETG fica em último em todas as ordenações.

No Gráfico 2, disponibilizado na ferramenta *web*, é apresentada a ordenação absoluta global. E na Tabela 4 é demonstrado o resultado de forma ranqueada.

Gráfico 2 – Ordenação Absoluta Global



Fonte: Autores (2022)

Tabela 4 – Ranking das alternativas

Ordenação Absoluta Global	
Nylon	0.6315
PET CF15	0.4345
PC	0.4013
PLA	0.3601
ABS	0.1802
PC-ABS	0.1201
Tritan	0.0971
PETG	0.0109

Fonte: Autores (2022)

O filamento Nylon foi selecionado de acordo com o método SWARA-MOORA-3NAG.

6. Discussão dos resultados

Nota-se que na utilização do SWARA-MOORA-3NAG, nas três normalizações, os cinco primeiros filamentos e o último colocado não mudaram suas posições. Além disso, a pontuação no *ranking* final (ordenação absoluta global) do Nylon ficou bem acima das demais alternativas, confirmando a sua primeira colocação, e o PETG a menos viável.

O Nylon possui entre suas qualidades: alta resistência à tração e à flexão, baixa densidade, temperaturas limite de serviço adequadas à maioria das aplicações e resistência ao desgaste mecânico e químico, baixa absorção de umidade e rigidez elevada, devido à sua estrutura molecular possuir um número maior de carbono, além de preço competitivo, o que o torna uma opção a ser considerada.

Em se tratando de peças de acabamento, ou seja, aquelas destinadas a fechar os acessos aos componentes e ao mesmo tempo conferir um aspecto visual agradável, é desejável que sejam peças leves e com boa resistência, tanto mecânica como a química, devidos a certos produtos que por vezes são manipulados durante a manutenção.

7. Considerações finais

Diante dos resultados obtidos, pôde-se concluir que o filamento Nylon é o mais indicado para utilização em peças de acabamento de helicópteros da FAB.

Suas características técnicas seriam capazes de suprir as necessidades abordadas pelo especialista entrevistado, preenchendo lacunas existentes atualmente. Portanto, os objetivos deste trabalho foram atingidos e obteve-se sucesso no processo de tomada de decisão.

A utilização das ferramentas de estruturação de problemas e do método SWARA-MOORA-3NAG conduziram à assertividade, uma vez que são ferramentas efetivas, principalmente quando utilizadas em conjunto e diante de um cenário com diversos critérios e alternativas conflitantes entre si.

Recomendamos trabalhos futuros sobre o modelo de impressora 3D mais adequado, utilizando Nylon como filamento, bem como impactos da implementação dessa tecnologia.

REFERÊNCIAS

ALI, Md Hazrat; KUOKAWA, Syuhei; SHEHAB, Essam; MUKHTARKHANOV. Development of a Large-scale multi-extrusion FDM printer, and its challenges. **International Journal of Lightweight Materials and Manufacture**, 2022. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2588840422000701>>. Acesso em: 15/01/2023.

BRAUERS, Willem Karel; ZAVADSKAS, Edmundas Kazimieras. The MOORA method and its application to privatization in a transition economy. **Control and cybernetics**, v. 35, n. 2, p. 445-469, 2006. Disponível em: < http://oxygenie.ibspan.waw.pl:3000/contents/export?filename=2006-2-12_brauers_et_al.pdf>. Acesso em: 15/01/2023.

CAPUCHO, Wesley; SILVEIRA, Tiago Magalhães; PEREIRA, Rafael Alves; RIBEIRO, Rosinei Batista. A aplicação da manufatura aditiva na medicina 4.0 para produção de próteses biomecânicas. **SIMPROFI**, São Paulo, 2021. Disponível em: <<http://www.pos.cps.sp.gov.br/files/artigo/file/1113/2764377db346ab91411a931cc5e1e80b.pdf>>. Acesso em: 15/01/2023.

CRAVEIRO, Flávio; DUARTE, José Pinto; BARTOLO, Helena; BARTOLO, Paulo Jorge. Additive manufacturing as an enabling technology for digital construction: A perspective on Construction 4.0. **Sustain. Dev**, v. 4, n. 6, 2019. Disponível em: < https://constructalia-b5-is.aware.be/sites/default/files/Additive%20manufacturing%20as%20an%20enabling%20technology%20for%20digital%20construction_A%20perspective%20on%20Construction%204.0--fdf22b40ced764fd1bea796cf5c78c53.pdf>. Acesso em: 15/01/2023.

GOMES, L. F. A. M.; ARAYA, Gonzalez. MC & Carignano, C. **Tomada de Decisões em Cenários Complexos**. São Paulo: CENGAGE. 2003.

HERMOGENES, Lucas Ramon dos Santos; ALMEIDA, Isaque David Pereira de; GOMES, Carlos Francisco Simões; SANTOS, Marcos dos. Proposta do Método Híbrido SWARA-MOORA-3NAG e desenvolvimento de uma ferramenta computacional em Python. **LIV Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**. Juiz de Fora - MG, 2022. Disponível em: < https://www.researchgate.net/profile/Marcos-Santos-85/publication/363925697_Proposta_do_Metodo_Hibrido_SWARA-MOORA-3NAG_e_desenvolvimento_de_uma_ferramenta_computacional_em_Python/links/634469b0ff870c55ce164de7/Proposta-do-Metodo-Hibrido-SWARA-MOORA-3NAG-e-desenvolvimento-de-uma-ferramenta-computacional-em-Python.pdf>. Acesso em: 15/01/2023.

KERŠULIENE, Violeta; ZAVADSKAS, Edmundas Kazimieras; TURSKIS, Zenonas. Selection of rational dispute resolution method by applying new step-wise weight assessment ratio analysis (SWARA). **Journal of business economics and management**, v. 11, n. 2, p. 243-258, 2010. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.3846/jbem.2010.12>>. Acesso em: 15/01/2023.



LIMA, Luís Fernando de; MARQUES, Vinicius Abrão da Silva; SHIMANO, Marcos Massao. Influência da temperatura ambiente no comportamento mecânico do PLA utilizado em manufatura aditiva. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 27, 2022. Disponível em:

<<https://www.scielo.br/j/rmat/a/X3SvZxzwRpZmRCXRSBS3CM/abstract/?lang=pt>>. Acesso em: 15/01/2023.

LIMA, Brayan de Almeida; SANTOS, Marcos dos; PEREIRA, Daniel Augusto de Moura; OLIVEIRA, Rubens Lopes de. Proposta de fabricação de armação de óculos através da impressão 3D: uma abordagem a partir do método AHP-Gaussiano. **Revista SIMEP**, v. 1, n. 2, 2021. Disponível em:

<<https://revista.simep.com.br/index.php/simep/article/view/19> > Acesso em: 15/01/2023.

LONG, Wu-Jian; TAO, Jie-Lin; LIN, Can; GU, Yu-cun; MEI, Liu; DUAN; Hua-Bo; XING; Feng. Rheology and buildability of sustainable cement-based composites containing micro-crystalline cellulose for 3D-printing. **Journal of Cleaner Production**, v. 239, p. 118054, 2019. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652619329245>> Acesso em: 15/01/2023.

SACOMANO, José Benedito; GONÇALVES, Rodrigo Franco; SILVA; Márcia Terra; BONILLA; Silvia Helena; SÁTYRO; Walter Cardoso. **Indústria 4.0: conceitos e fundamentos**. São Paulo: Blucher, 2018. 169 p.

WU, Wenzheng; LI; Xuechao; LIU, Qingping; FUH, J. Y. H.; ZHENG, Aodu; ZHOU, Yiming; REN; Luquan; LI, Guiwei . Additive manufacturing of bulk metallic glass: Principles, materials and prospects. **Materials Today Advances**, v. 16, 2022. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590049822001151>> Acesso em: 15/01/2023.

ZHU, C.; LI; Caihan; MOHIDEEN, M. M.; HU, Ping; GUPTA, Ramesh; RAMAKRISHNA, Seeram; LIU, Yong. Realization of circular economy of 3D printed plastics: a review. *Polymers*, v. 13, n. 5, pp. 744, Fev. 2021. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2073-4360/13/5/744>> Acesso em: 15/01/2023.