



SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA

XX SEGeT

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL:
Impactos e Desafios

Realização:



UniDomBosco
Centro Universitário
Dom Bosco do Rio de Janeiro

SELEÇÃO DE IMPRESSORA 3D PROFISSIONAL PARA USO EM ORGANIZAÇÕES PRODUTIVAS; UMA ABORDAGEM MULTICRITERIAL DOS MÉTODOS CRITIC E MOORA

Mateus José de Siqueira Silva
mateussiqueirasilva4@gmail.com
UFCG

João Cavalcanti Neto
joaonetojundia1020@gmail.com
UFCG

Daniel Augusto de Moura Pereira
danielmoura@ufcg.edu.br
UFCG

Guilherme Nascimento Araújo
guilherme1803gui@gmail.com
UFCG

Marcos dos Santos
marcosdossantos_doutorado_uff@yahoo.com.br
UFF

Resumo: O presente trabalho tem por objetivo a seleção de uma impressora 3D profissional para montagem de um setor de manufatura aditiva em organizações produtivas. Para tal, foram utilizados os métodos CRITIC (Critical Ratio-based Investigation for the Choice of Transposable Alternatives) e MOORA (Multi-Objective Optimization on the Basis of Ratio Analysis). No estudo, foram considerados diversos critérios para a seleção da melhor impressora 3D profissional, incluindo volume de impressão, velocidade máxima, temperatura máxima do bico e preço em dólar, já as alternativas foram as impressoras, CR-M4, Sermoon D3, Core A3V3 e Pro3. O método CRITIC foi aplicado para determinar a importância relativa dos critérios, e avaliar o desempenho de cada impressora 3D em relação aos critérios preestabelecidos. Já o método MOORA, foi utilizado para realizar a análise multicritério e obter a classificação das impressoras 3D com base nos critérios considerados. Como resultado foi obtido o ranqueamento das máquinas, ficando em primeiro lugar a impressora CR-M4 da Creality, seguida por a impressora CORE A3 V3 da empresa brasileira GTMax3D, em terceiro a Pro3 da Raise 3D e em último colocado a impressora Sermoon D3 também da Creality.

Palavras Chave: CRITIC - MOORA - Manufatura Aditiva - Impressoras 3D - Indústria 4.0

1. INTRODUÇÃO

A indústria 4.0 dentro deste contexto, segundo Sachon (2017), se destaca por trazer o conhecimento da evolução dos processos produtivos utilizados até então pelas indústrias, elevando a capacidade de comunicação das etapas de fabricação de um produto, na busca de redução de desperdícios de tempo e matéria prima. A manufatura aditiva pode ser amplamente utilizada em processos industriais para análise de futuros projetos, possibilitando a visualização de possíveis erros, troca rápida de ferramentas dentre outras aplicações.

A tecnologia de impressão 3D consiste em dar forma a uma modelagem tridimensional através de modelagem por deposição fundida (FDM), utilizando de diferentes materiais para tal. A manufatura aditiva apresenta distintas vantagens sobre técnicas convencionais de fabricação, como a liberdade geométrica e, em grande parte, a omissão de ferramentas. Assim, projetos futurísticos e estruturas não padronizadas com topologia otimizada podem ser fabricados sem causar custos extras significativos (HITZLER et al., 2018).

Quando agregada a produção de produtos e inovações, a manufatura aditiva pode ser uma forte ferramenta aliada, resultando em menores desperdícios já que existem os protótipos para serem testados e avaliados antes de entrarem na cadeia de produção. Neste sentido, o presente trabalho tem por objetivo a seleção de uma impressora 3D profissional para montagem de um setor de manufatura aditiva em organizações produtivas, através dos métodos Multicritérios de Apoio a Tomada de Decisão (AMD) CRITIC e MOORA.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. MÉTODO MULTICRITÉRIO DE APOIO A TOMADA DE DECISÃO

Métodos Multicritérios de Apoio a Tomada de Decisão (AMD) são caracterizados por um processo de análise e tomada de decisão avaliando alternativas a partir de múltiplos critérios, identificando as preferências do decisor e viabilizando a utilização dessas informações para a estruturação de um modelo de preferências (CINELLI 2017).

Segundo Moreira (2020), as técnicas que possibilitam a estruturação e análise de problemas complexos de avaliação, tendo a inclusão de critérios quantitativos e/ou qualitativos, podem ser consideradas como métodos multicritérios.

2.2. MÉTODO CRITIC

O método CRITIC foi proposto por D. Diakoulaki em 1995; este método visa determinar a importância relativa dos pesos objetivos em múltiplos problemas de decisão multicritério. Os pesos derivados incluem intensidade de contraste e conflito, incluídos na estrutura do problema de decisão. O método desenvolvido é baseado no exame analítico da matriz de avaliação para extrair todas as informações que ela contém nos critérios de avaliação. Esta avaliação gera pesos analíticos melhores gerados pelo método (WANG; ZHAO, 2016).

Segundo Pan et al. (2021), o método CRITIC determina os pesos baseado em dois conceitos fundamentais: O primeiro é o tamanho do desvio padrão da amostra que indica o tamanho da discrepância entre os valores de cada esquema dentro do mesmo critério - quanto maior o desvio padrão, maior será a lacuna entre os valores de cada. O segundo é o caráter conflitante dos critérios de avaliação, com base na correlação entre índices; por exemplo, uma forte correlação positiva indica que o caráter conflitante entre dois índices é baixo.

O fluxograma da metodologia CRITIC é apresentado na Figura 1, nele é observável que o método é dividido em quatro etapas e uma quinta que consiste no ranqueamento dos critérios propostos.

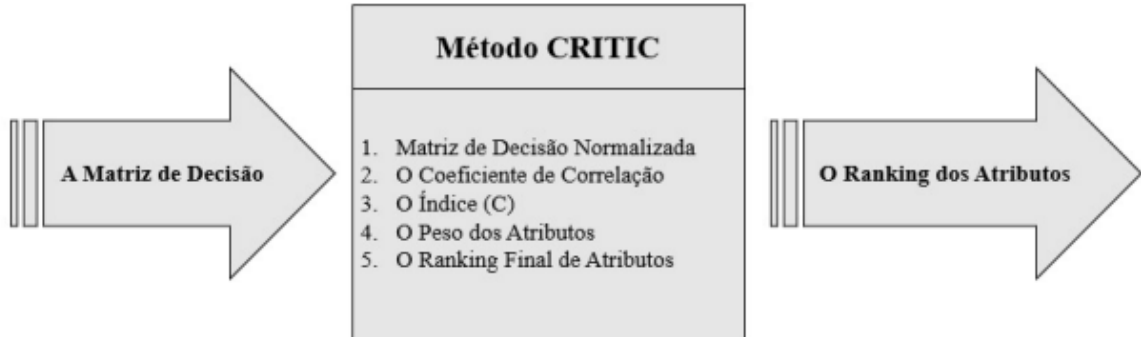


Figura 1: Sumário do Método CRITIC
Fonte: CRITIC ALINEZHAD; KHALILI (2019)

A partir da Matriz de Decisão apresentada por o tomador de decisão partimos para os cálculos matemáticos do método, apresentados a seguir:

Passo 1: A matriz de decisão normalizada. Com objetivo de normalizar os atributos positivos e negativos da matriz de decisão, são usadas as equações 1 e 2 respectivamente:

$$X_{ij} = \frac{r_{ij} - r_i^-}{r_i^+ - r_i^-}; i = 1, \dots, m, j = 1, \dots, n \quad (1)$$

$$X_{ij} = \frac{r_{ij} - r_i^+}{r_i^- - r_i^+}; i = 1, \dots, m, j = 1, \dots, n \quad (2)$$

O passo 2 é referente ao coeficiente de correlação apresentado na equação 3:

$$p_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_j) \cdot (x_{ik} - \bar{x}_k)}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_j)^2 \cdot \sum_{i=1}^m (x_{ik} - \bar{x}_k)^2}} \quad (3)$$

Onde \bar{x}_j e \bar{x}_k retratam a média dos atributos jth e kth. \bar{x}_j é calculado através da equação 4:

$$\bar{x}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_{ij}; i = 1, \dots, m \quad (4)$$

Cálculo do índice C na equação 5.

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}; i = 1, \dots, m \quad (5)$$

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}; i = 1, \dots, m \quad (5)$$

Após isso o índice C é calculado utilizando a seguinte equação 6.

$$C_j = \sigma \cdot \sum_{k=1}^n (1 - p_{jk}); j = 1, \dots, n \quad (6)$$

Já para calcular os pesos dos atributos utiliza-se a equação 7.

$$W_j = \frac{C_j}{\sum_{j=1}^n C_j}; j = 1, \dots, n \quad (7)$$

Os pesos atribuídos são organizados e aplicados no método Moora para ranqueamento das alternativas.

2.3. MÉTODO MOORA

O método multicritério MOORA (*Multi-Objective Optimization on the basis of Ratio Analysis*) segundo Brauers e Zavadskas (2006), objetiva avaliar as alternativas em sua totalidade, elevando ao quadro todos os dados, estes são divididos pela soma dos dados ao quadrado como denominadores, e por fim, os dados são situados entre zero e um para a elaboração do ranking.

Segundo Brauers e Zavadskas (2006) o método inicia com uma matriz de respostas representados por (X_{ij}) , onde, X_{ij} representa a resposta j para a alternativa do objetivo i , $i = 1, 2, \dots, n$ são os objetivos e $j = 1, 2, \dots, m$ são as alternativas para o modelo. Ainda segundo os autores o método é definido matematicamente como mostram as equações 8 e 9:

$$N^{x_{ij}} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^m X^2_{ij}}} \quad (8)$$

Onde: X_{ij} = Resposta para Alternativa j do objeto i ; n = Alternativa; m = Objetos; NX_{ij} = Um número que representa a resposta normalizada da alternativa j ao objeto i .

As respostas são somadas em caso do objetivo ser a maximização e subtraídas nos casos de minimização, seguindo a seguinte fórmula:

$$NY_j = \sum_{i=1}^{i=g} N^{x_{ij}} - \sum_{i=g+1}^{i=n} N^{x_{ij}} \quad (9)$$

Onde: i = Para os objetivos de maximização; $i - g + 1$ = Para os objetivos de Minimização; NY_j = A avaliação normalizada.

Nessa formulação as alternativas estão em um intervalo entre zero e um, pois no final um ranking NY_j apresenta a performance das alternativas.

2.4. MANUFATURA ADITIVA

A manufatura aditiva envolve diversos processos e técnicas, como por exemplo: Estereolitografia, Modelagem por depósito de material fundido, e sinterização a laser Mellor et al. (2014). Envolvendo a utilização de diversos tipos de materiais base, como polímeros plásticos (PLA), metais (Titânio ou Aço), cerâmicas, compósitos (concreto), entre outros Schniederjans (2017). E aplicações visando à produção direta de componentes (sensores) eletrônicos Hamzah et al. (2018).

A impressão 3D é amplamente utilizada com fins de prototipagem por parte da indústria e design de produto, tal fato se dá por a facilidade que a impressão 3D entrega para análise de possíveis falhas no projeto. SCHNIEDERJANS (2017).

2.5. APLICAÇÃO AMD NA MANUFATURA ADITIVA

Drumond. et. al. (2020) aplicaram o método AMD ELECTRE-MOr também para a seleção de impressoras 3D, a escolha por esse método se deu por o fato de distribuir alternativas em classes, o que permite ao tomador de decisão a seleção de uma ou mais opções que estejam alocadas nas classes mais altas e após a aplicação obtendo como resultados na sua aplicação a impressora Faber 10 como melhor ranqueada.

Corrêa. et. al. (2018) apresentou em seu trabalho a aplicação do modelo multicritério de poio a tomada de decisão COPRAS para a seleção de filamentos para a produção de maquetes em impressoras 3D, obtendo como resultado, PLA, por ser o material de filamentos que melhor reuniu as características que atendem a produção de maquetes.

3. METODOLOGIA

Baseado em um modelo de apoio a tomada de decisão AMD, o presente trabalho foi construído como uma pesquisa quantitativa de caráter exploratório dividida em quatro etapas apresentadas na Figura 2.

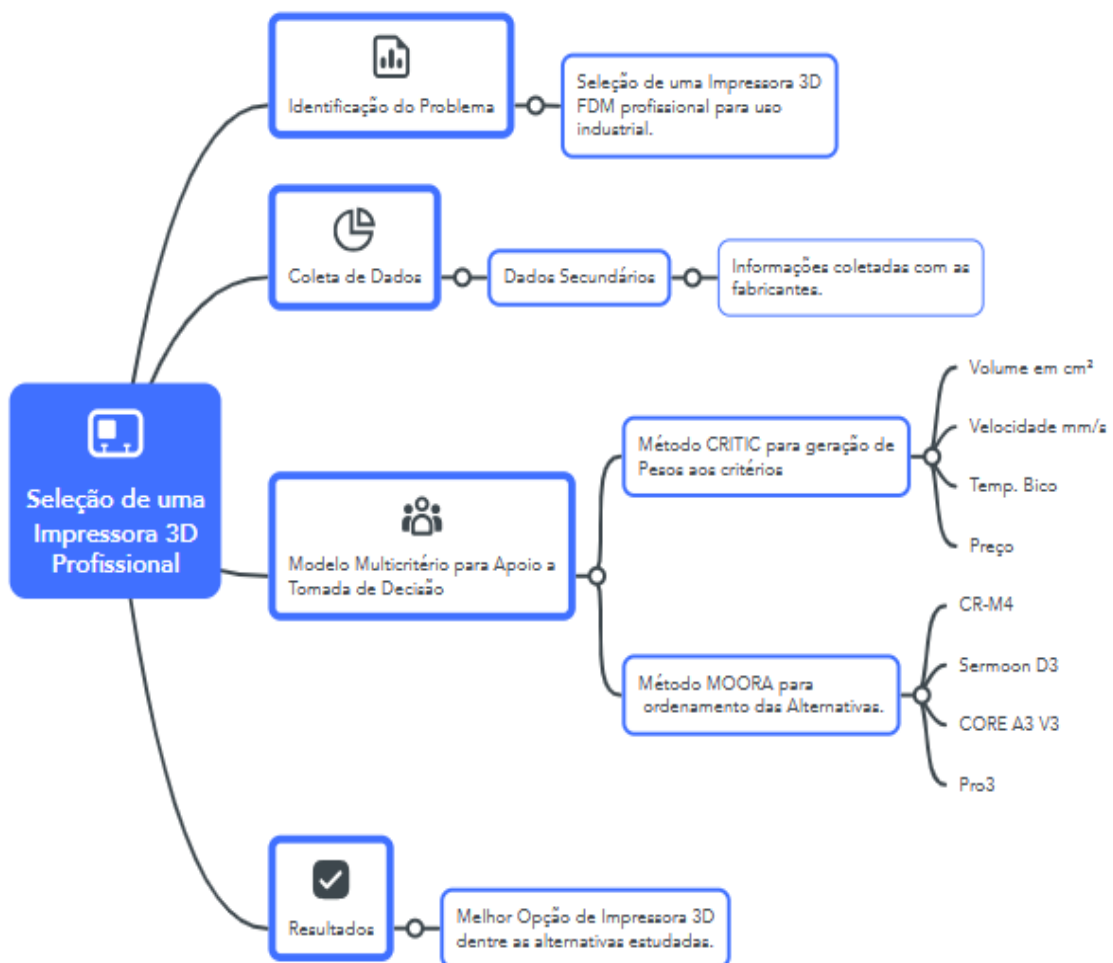


Figura 2: Fluxo Metodológico
Fonte: Autor (2023)

A primeira etapa se refere a identificação do problema, nela foi percebido a necessidade de selecionar a melhor impressora 3D profissional para criação de setores industriais de manufatura aditiva em organizações produtivas

A coleta de dados, referente a segunda etapa do método, foi realizada a partir de uma base de dados secundária, através das informações dos catálogos online dos fabricantes.

Na terceira etapa foram selecionados os dois métodos, já citados neste estudo, para auxílio da tomada de decisão, e também foram definidas as alternativas do estudo e os critérios que fariam parte da análise. No que tange as alternativas pré-selecionadas para a o estudo, estão as impressoras apresentadas nas Figuras 3, 4, 5 e 6.



Figura 3: CR-M4
Fonte: Fabricante (2023)

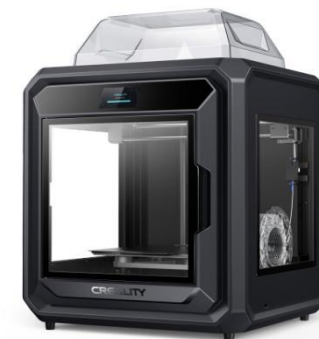


Figura 4: Sermoon D3
Fonte: Fabricante (2023)



Figura 5: CORE A3V3
Fonte: Fabricante (2023)

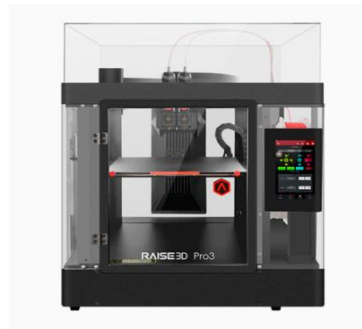


Figura 6: Pro 3
Fonte: Fabricante (2023)

Já os critérios para modelagem foram definidos como volume, em centímetros cúbicos, para indicar o volume máximo disponível para impressão, velocidade, em milímetros, por segundo fator determinante para otimizar as impressões, temperatura máxima de bico para impressão garantindo a utilização de diferentes filamentos e preço, em dólar, das máquinas. Finalmente, a quarta, e última etapa da metodologia, consiste na aplicação dos métodos e obtenção do ranqueamento das alternativas, da melhor para a pior.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. APLICAÇÃO DO MÉTODO CRITIC

Na aplicação do CRITIC, o *Decision Maker* deve ter conhecimento prévio sobre os valores dos critérios e se os mesmos são monotônicos de custo ou monotônicos de lucro, maximizando ou minimizando assim os valores apresentados, As Figuras 7 e 8 apresentam a aplicação do CRITIC para os critérios e a matriz normalizada respectivamente.

Tipo	MAX	MAX	MAX	MIN
	Volume cm ³	Velocidade mm/s	Temp.Bico	Preço
CR-M4	95175	120	300	\$ 1.099,00
Sermoon D3	22500	150	300	\$ 2.499,00
CORE A3V3	34816	180	295	\$ 1.914,00
Pro3	27000	150	300	\$ 5.599,00

Figura 7: Matriz CRITIC
Fonte: Autores (2023)

	Volume cm ³	Velocidade mm/s	Temp.Bico	Preço
CR-M4	1,000	0,000	1,000	1,000
Sermoon D3	0,000	0,500	1,000	0,689
CORE A3V3	0,169	1,000	0,000	0,819
Pro3	0,062	0,500	1,000	0,000

Figura 8: Matriz Normalizada
Fonte: Autores (2023)

Após a aplicação do CRITIC foram obtidos os ranqueamento dos critérios, como observado na Figura 9.

σ	Volume cm ³	Velocidade mm/s	Temp.Bico	Preço	C	W	Ranking
Volume cm ³	0,000	1,726	0,802	0,401	1,367	0,210	3
Velocidade mm/s	1,726	0,000	1,816	1,169	1,924	0,296	2
Temp.Bico	0,802	1,816	0,000	1,293	1,956	0,301	1
Preço	0,401	1,169	1,293	0,000	1,251	0,193	4

Figura 9: Correlação Entre os Atributos e Ranqueamento

Fonte: Autores (2023)

O critério “temperatura máxima atingida pelo bico” foi critério com maior peso, tal critério apresenta relevância técnica no processo de modelagem por deposição fundida, pois, possibilita o uso de diferentes materiais com pontos de fusão distintos, um exemplo seriam os plásticos PLA e ABS que trabalham com temperaturas diferentes para realização das impressões. Em seguida, o critério “velocidade máxima de impressão em mm/s”, ficou em segundo lugar, sendo apenas 0,005 matematicamente menos relevante. Em terceiro lugar o critério de “volume”, e com menor peso para o método CRITIC ficou o critério preço.

4.2. APLICAÇÃO DO MÉTODO MOORA

Para modelagem do método MOORA utilizam-se os pesos calculados pelo método CRITIC e, assim como no CRITIC o *Decision Maker*, deve ter conhecimento prévio de quais critérios serão monotônicos de custo e monotônicos de benefício ou lucro.

A Figura 10 apresenta a matriz de decisão no Método MOORA.

Peso	21%	30%	30%	19%
Tipo	MAX	MAX	MAX	MIN
	Volume cm ³	Velocidade mm/s	Temp.Bico	Preço
CR-M4	95175	120	300	\$ 1.099,00
Sermoon D3	22500	150	300	\$ 2.499,00
CORE A3V3	34816	180	295	\$ 1.914,00
Pro3	27000	150	300	\$ 5.599,00

Figura 10: Matriz MOORA

Fonte: Autores (2023)

A Figura 11 apresenta os resultados da modelagem do Método MOORA.

	Volume cm ³	Velocidade mm/s	Temp.Bico	Preço	S(X)	RANKING
CR-M4	0,186697507	0,000331215	0,000841848	0,001972527	0,18589804	1
Sermoon D3	0,044136526	0,000414018	0,000841848	0,004485299	0,04090709	4
CORE A3V3	0,06829588	0,000496822	0,000827818	0,003435319	0,06618520	2
Pro3	0,052963832	0,000414018	0,000841848	0,010049296	0,04417040	3

Figura 11: Matriz Normalizada MOORA e Ranqueamento

Fonte: Autores (2023)

A melhor opção entre as impressoras 3D profissionais do estudo, foi a CR-M4, impressora da fabricante *Creality* apresentando uma grande discrepância quando comparado o $s(x)$ para a segunda colocada. Esta impressora se torna uma ótima opção para o uso industrial, pois, além dos critérios já destacados nesse estudo, ela também apresenta soluções tecnológicas de integração das impressoras em uma linha de produção, possibilitando, quando conectado ao wireless, transformar-se em uma “fazenda” integrada, podendo realizar a mesma impressão, em várias unidades dela, com um único clique. Para além disso, é possível realizar monitoramento remoto através do site do fabricante, com integração também com o smartphone para fatiamento

e acompanhamento mesmo longe da fábrica. Seu formato e alta precisão permitem a impressão de várias peças ao mesmo tempo, além de contar com nivelamento automático de 25 pontos.

O método também apresenta a pior opção dentre as estudadas, indicando assim a compra que não deveria ser feita, neste caso, a Sermoon D3, modelo também da marca *Creality*. A mesma se destaca negativamente no critério preço definido, como monoatômico de custo, sendo a segunda mais cara dentre a gama de impressoras pré-selecionadas e que apresenta o pior desempenho no volume total de impressão.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve por objetivo a seleção de uma impressora 3D profissional para montagem de um setor de manufatura aditiva em organizações produtivas. Os Métodos de Apoio a Decisão Multicritério possibilitam essa seleção baseada em dados, fazendo comparativos técnicos entre os equipamentos, o método CRITIC desempenhou o importante papel de análise de potenciais pesos aos critérios preestabelecidos pelo o tomador de decisão, já o método MOORA desempenhou o papel de ordenar as máquinas, indicando assim a melhor opção do mercado dentre os critérios selecionados, e a opção que não deveria ser considerada para compra.

Como resultado da modelagem, a melhor opção de impressora no cenário estudado foi a CR-M4, da fabricante *Creality*, enquanto a pior foi a Sermoon D3 da mesma fabricante.

Ressalta-se que a aplicação multicritério proposta se mostrou eficiente para análise, uma vez que foi possível realizar o ponderamento dos critérios analisados e o ranqueamento das alternativas, obtendo os melhores e piores resultados.

6. REFERÊNCIAS

- Brauers, W. K. M. e Zavadskas, E. K. (2006). The MOORA method and its application to privatization in a transition economy. *Control and Cybernetics*, 35(2):445-469.
- CINELLI, M. The Art of Supporting Decision-Making. *Exchanges: The Interdisciplinary Research Journal*, v. 4, n. 2, p. 298, 2017.
- HAMZAH, H. H. et al. 3D printable conductive materials for the fabrication of electrochemical sensors: a mini review. *Electrochemistry Communications*. Elsevier. v. 96, p. 27–371, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.elecom.2018.09.006>. Acesso em: out. 2018.
- HITZLER, L. et al. A Review of Metal Fabricated with Laser- and Powder-Bed Based Additive Manufacturing Techniques: Process, Nomenclature, Materials, Achievable Properties, and its Utilization in the Medical Sector. *Advanced Engineering Materials*, v. 20, n. 5, 2018.
- MELLOR, S.; HAO, L.; ZHANG, D. Additive manufacturing: a framework for implementation. *International Journal of Production Economics*, v. 149, p. 194– 201, 2014.
- MOREIRA, M. Â. L.; GOMES, C. F. S.; SANTOS, M.; SILVA, M. C.; ARAUJO, J. V. G. A. (2020). PROMETHEE-SAPEVO-M1 a Hybrid Modeling Proposal: Multicriteria Evaluation of Drones for Use in Naval Warfare. In: Thomé A.M.T., Barbastefano R.G., Scavarda L.F., dos Reis J.C.G., Amorim M.P.C. (eds) *Industrial Engineering and Operations Management. IJCIEOM 2020. Springer Proceedings in Mathematics & Statistics*, vol 337. Springer, Cham. <https://doi.org/10.1007/978>, 2020.
- PAN, B. et al. Evaluating operational features of three unconventional intersections under heavy traffic based on CRITIC method. *Sustainability*, v. 13, n. 8, p. 4098, 2021.
- SACHON, H.; KARRER, C. "Hella: 4.0 Indústria na China". IESE, P-1163-E, 2017.



SCHNIEDERJANS, D. G. Adoption of 3D-printing technologies in manufacturing: A survey analysis. *International Journal of Production Economics*, v. 183, p. 287– 298, jan. 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.11.008>.

WANG, D.; ZHAO, J. Design optimization of mechanical properties of ceramic tool material during turning of ultra-high-strength steel 300M with AHP and CRITIC method. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 84, n. 9, p. 2381–2390, 2016.

DRUMOND, Paula et al. Estudo para classificação de impressoras 3D: uma abordagem à luz do método ELECTRE-MO_r.

CORRÊA, Alessandro de Castro; PEIXOTO, Arildomá Lobato; CORRÊA, Danielle Cristina Gonzaga. 11– MÉTODOS MULTI-ATRIBUTOS: APLICAÇÃO DO COPRAS NA SELEÇÃO DE FILAMENTOS PARA PRODUÇÃO DE MAQUETE EM IMPRESSORA 3D.