



Campus São Mateus  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO



## PROPOSTA DE ADAPTAÇÃO E CONCEITUAÇÃO DOS 40 PRINCÍPIOS INVENTIVOS TRIZ CONSIDERANDO A UTILIZANDO DE MANUFATURA ADITIVA E DESIGN PARA MANUFATURA ADITIVA

PROPOSAL FOR ADAPTATION AND CONCEPTUALIZATION OF THE 40 TRIZ INVENTIVE PRINCIPLES CONSIDERING THE USE OF ADDITIVE MANUFACTURING AND DESIGN FOR ADDITIVE MANUFACTURING

PROPUESTA DE ADAPTACIÓN Y CONCEPTUALIZACIÓN DE LOS 40 PRINCIPIOS INVENTIVOS TRIZ CONSIDERANDO EL USO DE LA MANUFACTURA ADITIVA Y EL DISEÑO PARA MANUFACTURA ADITIVA

**Paulo Henrique Rodrigues Guilherme Reis**<sup>1\*</sup>, **Carina Santos Silveira**<sup>2</sup>, **Fernanda Oliveira Santos Rosa**<sup>3</sup>, **Lucas de Figueiredo Soares**<sup>4</sup>, & **Nilmar de Souza**<sup>5</sup>

<sup>1,2,3</sup> Universidade Federal da Bahia, Instituto de Ciência, Tecnologia e Inovação <sup>4</sup> SENAI CIMATEC, Instituto SENAI de Inovação em Conformação e União de Materiais <sup>5</sup> Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciência e Tecnologia em Energia e Sustentabilidade

<sup>1\*</sup> [p.guilherme@ufba.br](mailto:p.guilherme@ufba.br) <sup>2</sup> [carinassilveira@gmail.com](mailto:carinassilveira@gmail.com) <sup>3</sup> [fernandaroza022@gmail.com](mailto:fernandaroza022@gmail.com) <sup>4</sup> [lucasfisoares@gmail.com](mailto:lucasfisoares@gmail.com) <sup>5</sup> [nilmar@ufrb.edu.br](mailto:nilmar@ufrb.edu.br)

### ARTIGO INFO.

Recebido: 08.08.2024

Aprovado: 29.08.2024

Disponibilizado: 04.10.2024

**PALAVRAS-CHAVE:** Teoria da Resolução de Problemas Inventivo; Design para Manufatura Aditiva; Desenvolvimento de novos produtos.

**KEYWORDS:** Theory of Inventive Problem Solving; Design for Additive Manufacturing; New Product Development.

**PALABRAS CLAVE:** Teoría de Resolución de Problemas Inventivos; Diseño para Manufactura Aditiva; Desarrollo de nuevos productos.

\*Autor Correspondente: Reis, P. H. R. G.

### RESUMO

Entre as metodologias para a criação de conceitos para o desenvolvimento de novos produtos, a metodologia TRIZ (Teoria da Resolução de Problemas Inventivos) é um catalisador eficiente para a geração de ideias na concepção do produto. Tais soluções auxiliam na resolução de conflitos técnicos durante a etapa de conceituação de um novo produto ou componente. Para que as soluções propostas por essa metodologia sejam coerentes com o contexto dos conflitos de engenharia, é necessário, em casos específicos, fabricar dispositivos com geometria complexa e/ou customizada. Processos de fabricação convencionais podem apresentar limitações substanciais na manufatura desses dispositivos. Assim, para mitigar essa limitação, este artigo propõe a associação entre a metodologia TRIZ, a Manufatura Aditiva (MA) e o Design para Manufatura Aditiva (DfAM). Como resultado, este trabalho apresenta uma proposta de novos termos adaptados aos 40 princípios inventivos clássicos da metodologia TRIZ, considerando a ótica MA e DfAM, bem como suas possibilidades e limitações. Foram definidas aplicações diretas dos novos termos adaptados de acordo com a realidade observada no contexto de MA e DfAM.

### ABSTRACT

Among the methodologies for creating concepts for the development of new products, the TRIZ methodology (Theory of Inventive Problem Solving) is an efficient catalyst

for generating ideas and solutions in product conception. Such solutions assist in resolving technical conflicts during the conceptualization stage of a new product or component. To ensure that the solutions proposed by this methodology are consistent with the context of engineering conflicts, it is necessary, in specific cases, to manufacture devices with complex and/or customized geometry. Conventional manufacturing processes may present substantial limitations in the production of these devices. Thus, to mitigate this limitation, this article proposes the association between the TRIZ methodology, Additive Manufacturing (AM), and Design for Additive Manufacturing (DfAM). As a result, this work presents a proposal for new terms adapted to the 40 classical inventive principles of the TRIZ methodology, considering the AM and DfAM perspectives, as well as their possibilities and limitations. Direct applications of the new adapted terms were defined according to the observed reality in the context of AM and DfAM.

### RESUMEN

Entre las metodologías para la creación de conceptos para el desarrollo de nuevos productos, la metodología TRIZ (Teoría de Resolución de Problemas Inventivos) es un catalizador eficiente para generar ideas y soluciones en la concepción del producto. Estas soluciones ayudan a resolver conflictos técnicos durante la etapa de conceptualización de un nuevo producto o componente. Para que las soluciones propuestas por esta metodología sean coherentes con el contexto de los conflictos de ingeniería, es necesario, en casos específicos, fabricar dispositivos con geometría compleja y/o personalizada. Los procesos de fabricación convencionales pueden presentar limitaciones sustanciales en la producción de estos dispositivos. Así, para mitigar esta limitación, este artículo propone la asociación entre la metodología TRIZ, la Manufactura Aditiva (MA) y el Diseño para Manufactura Aditiva (DfAM). Como resultado, este trabajo presenta una propuesta de nuevos términos adaptados a los 40 principios inventivos clásicos de la metodología TRIZ, considerando las perspectivas de MA y DfAM, así como sus posibilidades y limitaciones. Se definieron aplicaciones directas de los nuevos términos.

## INTRODUÇÃO

Considerando a natureza metodológica da etapa de geração de novas ideias no projeto e desenvolvimento de produtos, elementos de características empíricas e criativas são aspectos de significativa relevância para assegurar a viabilidade técnica dos conceitos gerados e o atendimento às necessidades do cliente (Rozenfeld et al., 2006; Ottosson, 2004). Nesse contexto, a subjetividade na ideação de soluções para as funções do produto pode-se tornar um gargalo no processo, principalmente devido à característica qualitativa de muitas das ferramentas disponíveis e à necessidade de experiência prévia em métodos de engenharia para o desenvolvimento e escolha de soluções coesas e eficientes. Isso, frequentemente, prolonga a conclusão das etapas do projeto (Baxter, 2000; Griffin et al., 2009; Jong-Ho et al., 2011).

Possíveis soluções para auxiliar na criação dos conceitos iniciais das funções do produto podem fundamentar em ferramentas da Teoria de Solução Inventiva (TSI), como a matriz de contradições da metodologia TRIZ, heurísticas de design e análise funcional (Orloff, 2017; Renjith, 2018). Essas abordagens técnicas permitem identificar e resolver contradições em requisitos de produto e desafios complexos inerentes ao projeto conceitual, promovendo a inovação e eficácia do produto (Altshuller et al., 1997).

Entretanto, tais ferramentas apresentam abordagem genérica de engenharia do produto e manufatura, e a representação de conceitos de elevada complexidade ou generalização pode ter execução dificultada (Mao et al., 2007; Domb e Rantanen, 2010). Nesse sentido, a aplicação prática e abrangente das recomendações provenientes da TSI se limita à escassez das possibilidades de personalização dos processos de fabricação tradicionais (Lang et al., 2019).

Considerando o exposto, a Manufatura Aditiva (MA) é uma proposta promissora que possibilita a fabricação de componentes com diferentes geometrias e variação de propriedades mecânicas e térmicas, dentre outras. Devido à característica de deposição sucessiva de camadas dos métodos de fabricação baseados na MA, a possibilidade de personalização dos componentes é alta, não sendo limitada à complexidade geométrica do objeto de fabricação, considerando as premissas iniciais e restrições de projeto (Gross e Kremer, 2018; Gibson et al., 2014; Kamps et al., 2017).

Para definir as possibilidades de *designs* de projetos e adaptação de modelos para adequação aos processos de MA, existe um conjunto de regras, diretrizes e ferramentas que tem por objetivo auxiliar e direcionar a atividade projetual denominado Design para Manufatura Aditiva (DfAM - Design for Additive Manufacture) (Prabhu et al., 2020). O DfAM busca estabelecer a otimização entre as restrições de projeto, capacidade de fabricação, confiabilidade dimensional e custo sujeitos aos métodos de MA (Gross & Kremer, 2018; Rosen, 2017).

A associação entre os fundamentos da TSI e as possibilidades observadas nas ferramentas DfAM permite abranger o horizonte de aplicações das soluções propostas pela TSI, e permite a identificação e implementação de *designs* que otimizam a produção

de peças e componentes específicos direcionados a conceitos complexos, visando a eficiência, redução de custo de componente e melhoria no desempenho das funções do produto (Kretzschmar e Chekurov, 2018; Mazlan et al., 2021).

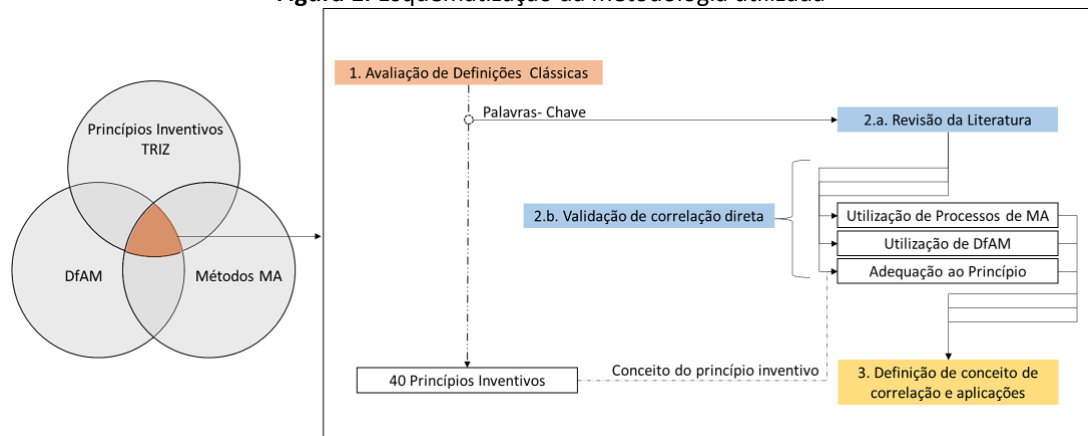
Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo associar cada um dos 40 princípios inventivos da metodologia TRIZ com possibilidades de conceituação baseados em ferramentas de DfAM a partir de base bibliométrica. A relevância dessa pesquisa se evidencia pela demonstração direta entre as ferramentas de TSI, representada pelos princípios inventivos da TRIZ, com os diversos formatos e possibilidade observados no método DfAM. Tal associação permite a simplificação do processo de escolha e avaliação de conceitos para funções do produto no projeto conceitual, fato esse que reduz o tempo de projeto, incrementa assertividade de viabilização do conceito e reduz a subjetividade de escolha das possíveis soluções.

## METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do presente trabalho foram avaliados estudos entre a integração de processos de MA, metodologias DfAM e associação com os fundamentos dos princípios inventivos TRIZ. Os 40 princípios inventivos propostos pela metodologia TRIZ foram avaliados e concatenados a partir de análise de literatura relevante, de acordo com aplicações práticas observadas na área de MA.

A metodologia se dividiu em três etapas distintas, sendo: 1) Avaliação definições Clássicas dos 40 Princípios TRIZ; 2) Revisão da literatura e validação de correlações direta e, por fim, 3) Definição de conceito de correlação e aplicações. A descrição de cada etapa é apresentada no que segue (Figura 1).

**Figura 1.** Esquemática da metodologia utilizada



Fonte: Autores (2024).

## AVALIAÇÃO DE DEFINIÇÕES CLÁSSICAS

A etapa em questão teve como objetivo a análise de analogias e relações compatíveis com cada um dos 40 princípios inventivos clássicos dispostos pela metodologia TRIZ. O objetivo desta etapa foi possibilitar a criação de palavras-chave com intuito de abranger os resultados das buscas em repositórios bibliográficos. Para a execução desta etapa foram utilizados os trabalhos de Gazem et al. (2014), Cong e Tong (2008), Souchkov (2018) e Livotov (2022). O estudo de Gazem et al. (2014), Livotov (2022) e Rantanen e Domb (2002) apresentam inter-relações entre cada um dos 40 princípios inventivos

clássicos com novos termos e interpretações propostos pelos autores. O trabalho de Cong e Tong (2008) propõe nova metodologia e termos equivalentes para os princípios inventivos TRIZ com objetivo de simplificar a busca e classificação de patentes. Por sua vez, o trabalho de Gazem et al. (2014) e o livro de Livotov (2022) apresentam um glossário explicativo de termos e definições diretas da metodologia TRIZ. A avaliação dos trabalhos citados permitiu a correta associação entre os 40 princípios inventivos e termos correspondentes, o que possibilitou a definição de palavras-chave de pesquisa para cada um dos princípios.

Foram associados, a partir de análise literária, para cada princípio inventivo analisado duas palavras-chave, considerando o contexto de aplicação em relação à possibilidade de execução a partir de DfAM por processos de MA (Tabela 1).

**Tabela 1.** Relação de palavras-chave associadas aos princípios

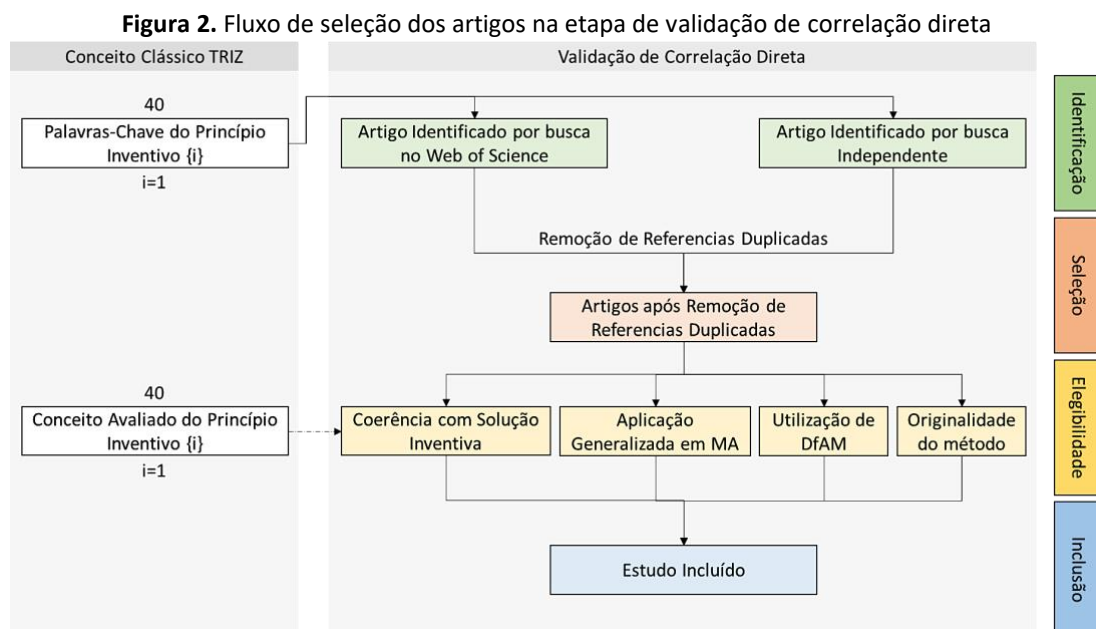
Nº	Princípio	Palavras-Chave	Nº	Princípio	Palavras-Chave
1	Segmentação	<ul style="list-style-type: none"> <li>Divisão</li> <li>Fragmentação</li> </ul>	21	Corrida apresada	<ul style="list-style-type: none"> <li>Redução de tempo</li> <li>Rapidez</li> </ul>
2	Extração	<ul style="list-style-type: none"> <li>Remoção</li> <li>Separação</li> </ul>	22	Conversão de prejuízo em proveito	<ul style="list-style-type: none"> <li>Adaptação</li> <li>Conservação</li> </ul>
3	Qualidade Local	<ul style="list-style-type: none"> <li>Interação</li> <li>heterogeneização</li> </ul>	23	Retroalimentação	<ul style="list-style-type: none"> <li>Retorno</li> <li>Automatização</li> </ul>
4	Assimetria	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mudança de Simetria</li> <li>Desigualdade</li> </ul>	24	Mediação	<ul style="list-style-type: none"> <li>Intermediar</li> <li>Descartar</li> </ul>
5	Combinação	<ul style="list-style-type: none"> <li>União</li> <li>Consolidação</li> </ul>	25	Autosserviço	<ul style="list-style-type: none"> <li>Autocura</li> <li>Reparação</li> </ul>
6	Universalidade	<ul style="list-style-type: none"> <li>Multifuncional</li> <li>Generalização</li> </ul>	26	Cópia	<ul style="list-style-type: none"> <li>Imitação</li> <li>Prototipação</li> </ul>
7	Nidificação	<ul style="list-style-type: none"> <li>Encapsular</li> <li>Integrar</li> </ul>	27	Uso e Descarte	<ul style="list-style-type: none"> <li>Redução de Custo</li> <li>Vida curta</li> </ul>
8	Contrapeso	<ul style="list-style-type: none"> <li>Compensar Peso</li> <li>Anti-Peso</li> </ul>	28	Substituição de meios mecânicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Interação Mecânica</li> <li>Funcionamento</li> </ul>
9	Contra-ação prévia	<ul style="list-style-type: none"> <li>Contra-ação</li> <li>Reação</li> </ul>	29	Construção pneumática ou hidráulica	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hidráulico</li> <li>Pneumático</li> </ul>
10	Ação prévia	<ul style="list-style-type: none"> <li>Organização</li> <li>Anteceder</li> </ul>	30	Uso de filmes finos e membranas flexíveis	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fino</li> <li>Flexível</li> </ul>
11	Amortecimento prévio	<ul style="list-style-type: none"> <li>Compensação</li> <li>Antecipação</li> </ul>	31	Uso de Materiais Porosos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Porosidade</li> <li>Dutos</li> </ul>
12	Equipotencialidade	<ul style="list-style-type: none"> <li>Movimento Linear</li> <li>Nivelar</li> </ul>	32	Mudança de Cor	<ul style="list-style-type: none"> <li>Colorização</li> <li>Propriedade óptica</li> </ul>
13	Inversão	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reversão</li> <li>Oposto</li> </ul>	33	Homogeneização	<ul style="list-style-type: none"> <li>Interação de material</li> <li>Internalização</li> </ul>
14	Esfericidade	<ul style="list-style-type: none"> <li>Curvar</li> <li>Rotacionar</li> </ul>	34	Descarte e Regeneração	<ul style="list-style-type: none"> <li>Descartar</li> <li>Regenerar</li> </ul>
15	Dinamismo	<ul style="list-style-type: none"> <li>Adaptação</li> <li>Customização</li> </ul>	35	Mudança de parâmetros e propriedades	<ul style="list-style-type: none"> <li>Transformar Propriedades</li> <li>Transicionar</li> </ul>
16	Ação parcial ou excessiva	<ul style="list-style-type: none"> <li>Acrescentar</li> <li>Exceder</li> </ul>	36	Mudança de fase	<ul style="list-style-type: none"> <li>Transformação de Fase</li> <li>Propriedade Física</li> </ul>
17	Transição dimensional	<ul style="list-style-type: none"> <li>Movimentar</li> <li>Redimensionar</li> </ul>	37	Expansão Térmica	<ul style="list-style-type: none"> <li>Expansão</li> <li>Contração</li> </ul>
18	Vibrações mecânicas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ressonar</li> <li>Oscilar</li> </ul>	38	Uso de oxidantes fortes	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vácuo</li> <li>Pressurizar</li> </ul>
19	Ação periódica	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pulsar</li> <li>Intermitente</li> </ul>	39	Uso de atmosferas inertes	<ul style="list-style-type: none"> <li>Inerte</li> <li>Ambientalização</li> </ul>
20	Continuidade de ação útil	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ininterrupção</li> <li>Continuidade</li> </ul>	40	Utilização de Materiais Compósitos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Materiais compósitos</li> <li>Multimaterial</li> </ul>

Fonte: Autores (2024).

## REVISÃO DA LITERATURA E VALIDAÇÃO DE CORRELAÇÃO DIRETA

Etapa com objetivo de desenvolver base de conhecimento a respeito dos estudos desenvolvidos em MA e DfAM para cada princípio analisado. Essa etapa teve como dados de entrada as palavras-chave correspondentes ao princípio em análise. Essas palavras-chave foram submetidas aos parâmetros de entrada do repositório do site Web of Science para pesquisa de trabalhos científicos, bem como, pesquisa independente em repositórios institucionais de universidades e instituições de pesquisa.

Foi realizada uma validação de correlação para comprovar a correspondência do artigo em análise com o conceito original do princípio avaliado. Para tanto, foram utilizados quatro critérios de inclusão, sendo a originalidade da solução avaliada, considerando as soluções incluídas em validações anteriores, a característica generalista de utilização do processo de MA, a utilização de ferramentas DfAM, e, por fim, a coerência com o princípio inventivo analisado (Figura 2).

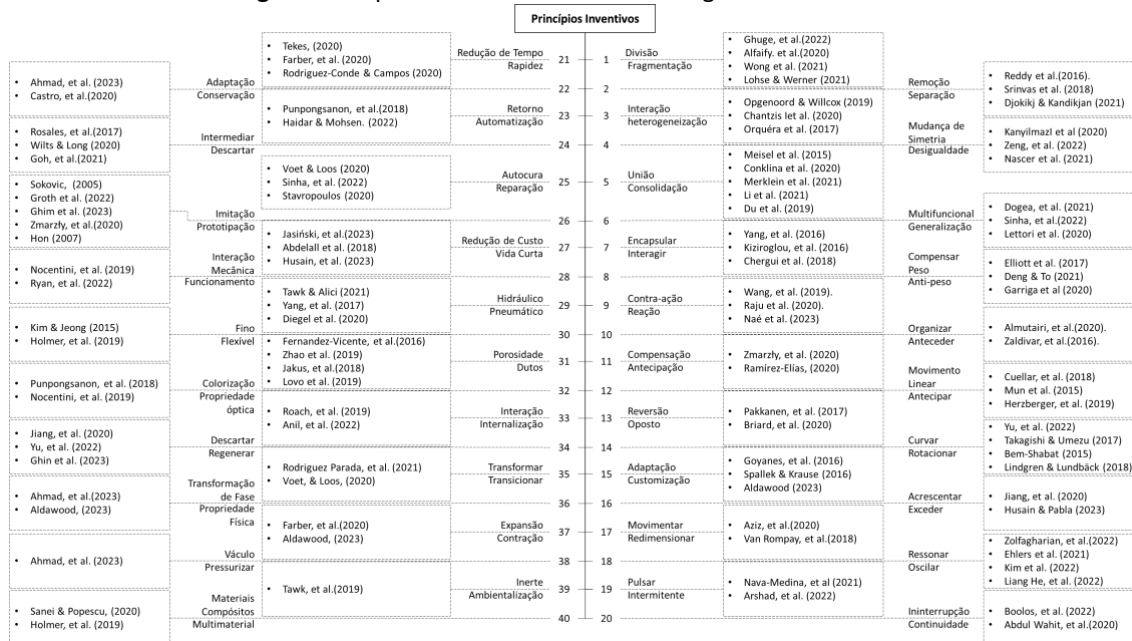


## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando os aspectos de elegibilidade demonstrados, os artigos incluídos para compor a conceituação foram selecionados e dispostos conforme adequação aos preceitos do princípio inventivo em análise. O mapa conceitual contendo as referências incluídas, bem como a relação direta com o princípio inventivo e as palavras-chave definidas pode ser visualizado na Figura 3.



Figura 3. Mapa conceitual da revisão bibliográfica considerada



Fonte: Autores (2024).

**DEFINIÇÃO DE CONCEITOS DE CORRELAÇÃO E APLICAÇÕES**

Etapa com objetivo de efetuar a conversão das soluções empíricas e observações elucidadas nos artigos selecionados em formulações conceituais substanciais e coerentes, específicas para cada um dos 40 princípios inventivos. O propósito subjacente a essa fase é a adaptação dos termos e princípios inventivos oriundos da metodologia TRIZ para o contexto de ferramentas específicas de DfAM e MA. A relevância dessa correlação reside na construção de uma base conceitual congruente, estabelecendo relação entre os conceitos da TSI e as aplicações pragmáticas no contexto da MA e DfAM. Os termos adaptados para cada princípio, bem como a explicação em contexto, são discorridos no que segue:

1. **Modularização:** Seccionamento da peça em ambiente CAD a fim de imprimir o modelo em componentes distintos. Esta ação facilita a fabricação em máquinas com dimensões limitadas relativas ao tamanho original da peça. Deve-se observar, em ambiente CAE, se a montagem de componentes reflete aos requisitos estruturais necessários da peça.

Termo TRIZ equivalente: Segmentação

2. **Remover redundante:** Remoção de componentes ou materiais que não agregam funcionalidade na peça final. Tem por objetivo a redução de peso, tempo de impressão volume e custo de material sem interferir na funcionalidade da peça.

Termo TRIZ equivalente: Extração.

3. **Interação:** Proporcionar mecanismos de interação entre módulos no intuito de desenvolver componentes impressos heterogêneos. Possibilidade de criação de estruturas celulares e montagem ajustada de componentes isolados.

Termo TRIZ equivalente: Qualidade Total.

4. **Modelagem Assimétrica:** Substituir espelhamento no modelo CAD por modelagem livre a fim de proporcionar efeitos de contrabalanceamento, travamento de módulos ou customização e adaptação de peças fabricadas por MA.

Termo TRIZ equivalente: Assimetria.

5. Integração: Modelagem CAD de junções integradas entre módulos independentes. Possibilita fabricar articulações indexadas em uma só impressão. Tem por objetivo redução do tempo de montagem e criação de peças com articulações adaptáveis.

Termo TRIZ equivalente: Combinação.

6. Multifuncionalidade: Utilização de modelos CAD com geometrias complexas que possibilitem a multifuncionalidade de componentes em uma única peça impressa. Elimina a necessidade diversificação de processos em peças fabricadas de modo tradicional.

Termo TRIZ equivalente: Universalidade.

7. Intertravamento: Criação de orifícios internos e canais de aninhamento a fim de encapsular componentes da peça em uma mesma impressão. Possibilita o ajuste de travamento entre componentes e a redução do tempo de impressão devido ao agrupamento de peças na mesa.

Termo TRIZ equivalente: Nidificação.

8. Variação de Preenchimento: Modificação de parâmetros de impressão e modelagem CAD para possibilitar a variação de preenchimento em determinadas regiões da peça. Permite a variação de peso em diferentes partes do modelo.

Termo TRIZ equivalente: Contrapeso.

9. Design Livre: Definição de modelagem CAD complexa a fim de possibilitar a impressão de componentes com variação estrutural em resposta a eventos de externos, como pressão e temperatura. Deve-se observar processos de MA que não requerem a utilização de suportes ou que permitam suportes solúveis.

Termo TRIZ equivalente: Contra ação Prévia.

10. Geometrias e Parâmetros Direcionados: Definição de materiais, parâmetros de impressão e geometrias direcionadas à utilização final da peça a ser impressa.

Termo TRIZ equivalente: Ação Prévia.

11. Intercambiabilidade: Utilização de MA para criação de ferramental rápido ou peças de reposição a partir de modelagem CAD ou escaneamento tridimensional a fim compensar a confiabilidade baixa de peças impressas, a partir de facilidade de substituição ou facilitação de processo produtivo.

Termo TRIZ equivalente: Amortecimento Prévio.

12. Peças Flexíveis: Criação de modelos articulados ou flexíveis que permitam a liberdade de movimento da peça.

Termo TRIZ equivalente: Equipotencialidade.

13. Geometria / Material Adaptativo: Utilizar parâmetros de impressão, materiais e modelagem ajustáveis à mudança da característica funcional da peça.

Termo TRIZ equivalente: Inversão.

14. Otimização de Topologia: Criação de geometrias de reforço e curvatura em componentes de concentração de tensão na peça a fim de aumentar a resistência e reduzir tempo e custo de impressão. Em peças anisotrópicas, deve-se observar a direção de impressão do modelo.

Termo TRIZ equivalente: Esfericidade.

15. Modelagem Orgânica: Utilização de modelagem não paramétrica para criação de peças complexas e adaptáveis a geometrias não convencionais.

Termo TRIZ equivalente: Dinamização.

16. Suavização de Superfície: Aumento ou diminuição do detalhamento de malha a fim de atenuar ou incrementar propriedade específica da peça, como texturização, suporte a esforços e área de contato.

Termo TRIZ equivalente: Ação Parcial ou Excessiva.

17. Texturização: Variação de atrito entre superfícies de contato a partir da criação de texturas a fim de permitir ou inibir movimentação de uma peça.

Termo TRIZ equivalente: Transição Dimensional.

18. Peças Elásticas/ Assimétricas: Utilização de materiais flexíveis ou assimétricos que provoquem amortecimento ou movimento vibracional em uma peça quando submetidos a uma força externa.

Termo TRIZ equivalente: Vibrações Mecânica.

19. Criar Oscilação: Utilização de modelagem CAD de peças que permitam a conservação de energia elástica e provocam movimento oscilatório e/ou periódico.

Termo TRIZ equivalente: Ação Periódica.

20. Utilização de Mecanismos: Modelagem CAD de mecanismos mecânicos integrados às peças e componentes que permitam a assistência ao movimento, a fim de remover ações desnecessárias ou continuidade de ação útil realizada.

Termo TRIZ equivalente: Continuidade de ação útil.

21. Automatização: Utilizar a liberdade de formas proporcionada pela MA para criar peças que permitam a automatização de processos, remoção de processos redundantes ou reduzir ações manuais.

Termo TRIZ equivalente: Corrida Apressada.

22. Pós-Processamento: Remover a etapa de pós-processamento das peças impressas a fim de utilizar características como porosidade elevada, textura e defeitos de impressão para aproveitamento de características pertinentes, como aumento dos coeficientes de atrito de absorção de água.

Termo TRIZ equivalente: Conversão de prejuízo em proveito.

23. Auto variação de parâmetros: Utilização de parâmetros de impressão, geometrias e materiais que modificam suas características visuais, como tamanho, forma e cor, quando submetidos a estímulos externos específicos, como eletricidade, temperatura e pressão.

Termo TRIZ equivalente: Retroalimentação.

24. Peça Intermediária: Utilizar impressão como estrutura de encapsulamento e peças intermediárias a outro processo de fabricação. Pode ser utilizada como proteção de componente, customização e estética.

Termo TRIZ equivalente: Mediação.

25. Reutilização de Materiais: Utilização de diferentes materiais ou métodos de impressão 3D em uma só peça para criação de camadas e proteção e aumento de vida útil do modelo impresso. Utilização de materiais recicláveis para aumento do ciclo de vida da peça e reduzir custo de material.



Termo TRIZ equivalente: Autosserviço.

26. Engenharia Reversa: Utilização de conceitos de cópia virtual para criação de peças idênticas que possam ser utilizadas para substituição e validação de protótipo em peças fabricada por impressão 3D.

Termo TRIZ equivalente: Cópia.

27. Peças Descartáveis: Utilização de MA para criação de peças paliativas para validação de conceito e reposição de emergências de peças fabricadas por processos convencionais de manufatura.

Termo TRIZ equivalente: Uso e Descarte.

28. Variação de Características Físicas: Utilizar variação de parâmetros de impressão, materiais e modelagem para permitir diferentes características de determinada peça, como isolamento térmico, acústico e elétrico.

Termo TRIZ equivalente: Substituição de Meios Mecânicos.

29. Utilização de atuadores pneumáticos / hidráulico: Integração de geometria e materiais para permitir ação de determinada peça quando submetida a ações hidráulicas ou pneumáticas.

Termo TRIZ equivalente: Construção pneumática ou hidráulica.

30. Envelopamento: Criação de geometrias de proteção e isolamento para peças sensíveis fabricadas por impressão 3D ou processos de fabricação convencionais.

Termo TRIZ equivalente: Uso de filmes finos e membranas flexíveis.

31. Variação de Densidade: Utilizar a liberdade construtiva permitida pela MA para realizar mudança de Geometria e parâmetros de impressão, a fim de criar dutos e geometrias internas com variação de densidade e preenchimento. Utilização de métodos de impressão 3D, como Sinterização Seletiva a Laser e MultiJet Print para criação de peças porosas.

Termo TRIZ equivalente: Uso de materiais porosos.

32. Troca de materiais / Revestimento: Variação de material de impressão, utilização de revestimento na peça ou utilização de materiais interativos para trocar de cor de determinado modelo.

Termo TRIZ equivalente: Mudança de Cor.

33. Integração de Processos: Utilização de determinado material em diferentes métodos de MA a fim de proporcionar ações distintas para uma mesma peça.

Termo TRIZ equivalente: Homogeneização.

34. Remoção de Ação Desnecessária: Utilização de materiais biodegradáveis ou recicláveis para criação de peças de vida curta, que serão descartadas ou absorvidas.

Termo TRIZ equivalente: Descarte e Regeneração.

35. Variação de Geometria: Utilização de materiais inteligentes para fabricação de peças que permitam variação de geometria quando submetidas a estímulos externos, como temperatura e pressão.

Termo TRIZ equivalente: Mudança de parâmetros e propriedades.

36. Conservação / variação de propriedade física: Utilização de geometria CAD e materiais específicos para realizar a conservação ou variação de propriedades físicas, como a libração ou conservação de calor.

Termo TRIZ equivalente: Mudança de parâmetros e propriedades.

37. Variação de Geometria por Variação de Temperatura: Utilização de polímeros de baixa temperatura ou materiais inteligentes que permitam a modificação de geometria em resposta às condições de temperatura do ambiente.

Termo TRIZ equivalente: Expansão térmica.

38. Área de Contato da Peça: Variação de rugosidade e textura do modelo a fim de permitir maior área de contato com gases com ambiente externo.

Termo TRIZ equivalente: Uso de oxidantes fortes.

39. Vedação: Desenvolvimento de encaixes e modelos integrados que permitam a criação de câmaras inertes. Necessário à utilização de processos com elevado grau de precisão e detalhamento.

Termo TRIZ equivalente: Uso de atmosferas inertes.

40. Integração de Multimaterias: Fabricação de peças a partir de diferentes processos de impressão 3D ou integração com processos de fabricação convencionais. Utilização de materiais compósitos integrados a materiais de impressão 3D para incrementar propriedade física da peça.

Termo TRIZ equivalente: Uso de materiais compostos

Em comparação com os conceitos referentes à terminologia original dos princípios inventivos TRIZ, o conceito das novas terminologias propostas não apresenta variação de significado. Nesse sentido, a equivalência de termos considera a atuação prática e adaptação do conceito original à luz dos processos de MA e DfAM.

Considerando os resultados observados na literatura avaliada e a formulações dos conceitos da equivalência dos princípios inventivos, é possível discorrer a respeito de possíveis aplicações práticas para cada termo adaptado (Tabela 2).

**Tabela 2.** Relação de aplicação prática dos princípios para os termos apresentados

Nº	Exemplos de Aplicação	Nº	Exemplos de Aplicação
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Peças de Reposição</li> <li>Montagem Simplificada</li> <li>Redução de Peso/Volume</li> <li>Variação de Dureza</li> </ul>	21	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utilização de Materiais Inteligentes</li> <li>Redução de processos intermediários</li> </ul>
		22	<ul style="list-style-type: none"> <li>Trocador de Calor</li> <li>Peças antibioincrustantes</li> </ul>
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>Melhorar Desempenho Mecânico</li> <li>Redução de Peso</li> </ul>	23	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utilização de tintas foto cromáticas</li> <li>Utilização de Gêmeos Digitais</li> </ul>
4	<ul style="list-style-type: none"> <li>Junções e Travamento de Módulos</li> <li>Variação de Espessura de Camada</li> </ul>	24	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mesclar materiais durante impressão</li> <li>Peças Sustentáveis - Materiais reciclados</li> </ul>
5	<ul style="list-style-type: none"> <li>Juntas Cinemáticas</li> <li>Incremento estético e funcional</li> </ul>	25	<ul style="list-style-type: none"> <li>Execução de Múltiplas Funções</li> <li>Processos Híbridos</li> </ul>
6	<ul style="list-style-type: none"> <li>Geração de Movimento associado a Aerodinâmica</li> <li>Geração de Potência Associado a Arrefecimento</li> </ul>	26	<ul style="list-style-type: none"> <li>Escaneamento de precisão</li> <li>Biomimética</li> </ul>
7	<ul style="list-style-type: none"> <li>Articulações Intertravadas</li> <li>Isolamento Térmico</li> </ul>	27	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reposição de Emergência</li> <li>Teste de Validação - Peça Protótipo</li> </ul>
8	<ul style="list-style-type: none"> <li>Criação de Canais Internos</li> <li>Variação de Peso</li> </ul>	28	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utilização de materiais foto responsivos</li> <li>Utilização de materiais condutores de eletricidade</li> </ul>
9	<ul style="list-style-type: none"> <li>Amortecimento</li> <li>Isolamento Acústico</li> </ul>	29	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utilização de materiais flexíveis</li> <li>Utilização de Materiais Inteligentes</li> </ul>
10	<ul style="list-style-type: none"> <li>Variação de Direção de Impressão</li> <li>Auto cura</li> </ul>	30	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cases de Proteção</li> <li>Utilização de revestimentos de resina</li> </ul>
11	<ul style="list-style-type: none"> <li>Criação de Moldes - Peças de reposição</li> <li>Componentes Estruturais Híbridos</li> </ul>	31	<ul style="list-style-type: none"> <li>Variações de Preenchimento</li> <li>Utilização de Variações Microestruturais</li> </ul>

12	<ul style="list-style-type: none"> <li>Peças Multiarticuladas</li> <li>Peças elásticas</li> </ul>	32	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utilização de tintas foto cromáticas</li> <li>Utilização de materiais foto responsivos</li> </ul>
13	<ul style="list-style-type: none"> <li>Peças Biodegradáveis</li> <li>Design Generativo</li> </ul>	33	<ul style="list-style-type: none"> <li>Integração de Processo</li> <li>Utilização de Pallet para mescla de materiais</li> </ul>
14	<ul style="list-style-type: none"> <li>Incremento de Mobilidade/ Estabilidade</li> <li>Redução de peso</li> </ul>	34	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utilização de Fillet em quinas</li> <li>Criação de Cast de sacrifício</li> </ul>
15	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utilização de Escaneamento 3D</li> <li>Impressão 4D</li> </ul>	35	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utilização de materiais elásticos</li> <li>Utilização de Materiais Biodegradáveis</li> </ul>
16	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utilização de Fillet Côncavo</li> <li>Utilização de Estrutura de Sacrifício</li> </ul>	36	<ul style="list-style-type: none"> <li>Conservação de Calor</li> <li>Impressão 4D</li> </ul>
17	<ul style="list-style-type: none"> <li>Variação de Aderência</li> <li>Percepção Estética</li> </ul>	37	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utilização de Materiais Inteligentes</li> <li>Impressão 4D</li> </ul>
18	<ul style="list-style-type: none"> <li>Controle / Incremento de Vibração</li> <li>Conservação de Energia</li> </ul>	38	<ul style="list-style-type: none"> <li>Variação de rugosidade</li> </ul>
19	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reações químicas auto oscilante</li> <li>Oscilação por mola</li> </ul>	39	<ul style="list-style-type: none"> <li>Criação de câmaras isoladas</li> </ul>
20	<ul style="list-style-type: none"> <li>Assistir Movimento</li> <li>Transferência de Movimento</li> </ul>	40	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reforço Estrutural</li> <li>Proteção da Peça</li> </ul>

Fonte: Autores (2024).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho apresentou a proposta de nova terminologia para os princípios inventivos dispostos pela metodologia TRIZ a partir do contexto de MA e DfAM. Foi realizada uma busca bibliográfica de trabalhos acadêmicos cujos resultados correspondessem a cada um dos princípios inventivos avaliados. Como resultado, foram demonstrados os novos termos propostos, bem como exemplos de aplicações desses termos em situações.

Foi observado uma congruência entre os termos originalmente propostos na metodologia TRIZ e os novos termos apresentados por este trabalho. Entretanto, devido à necessidade de atualização dos conceitos originais, bem como o direcionamento dos termos avaliados para um processo de manufatura específico, no caso MA, a adaptação dos termos originais se apresentou altamente necessária.

Nesse contexto, a pertinência da pesquisa apresentada por este trabalho auxilia na elucidação e simplificação do entendimento dos processos de MA e DfAM voltados para associação na TSI, o que permite a aplicação do método mesmo por indivíduos com conhecimento básico em processos de MA.

É importante ressaltar que a pesquisa em questão apresenta soluções limitadas às palavras-chave utilizadas, bem como pelos trabalhos avaliados para formulação dos termos apresentados. Pela característica de constante mudança de soluções de MA e DfAM, a atualização bibliográfica no decorrer do tempo pode acrescentar novos conceitos e soluções para a equivalência aos termos originais da metodologia TRIZ.

## REFERÊNCIAS

- Ghim, M.-S., Kim, H.-W., & Cho, Y.-S. (2023). Enhancement fidelity of Kagome scaffold for bone regeneration by design for additive manufacturing. *Materials & Design*, 225, 111608. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2023.111608>
- Abdelall, E. S., Frank, M. C., & Stone, R. T. (2018). A study of design fixation related to additive manufacturing. *Journal of Mechanical Design*, 140(4), 041702. <https://doi.org/10.1115/1.4039007>
- Abdul Wahit, M. A., Ahmad, S. A., Marhaban, M. H., Wada, C., & Izhar, L. I. (2020). 3D printed robot hand structure using four-bar linkage mechanism for prosthetic application. *Sensors*, 20(15), 4174. <https://doi.org/10.3390/s20154174>
- Ahmad, A., Abbas, A., Hussain, G., Al-Abbasi, O., Alkahtani, M., & Altaf, K. (2023). Performance evaluation of 3D printed polymer heat

- exchangers: Influence of printing temperature, printing speed and wall thickness with consideration of surface roughness. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 128, 1-21. <https://doi.org/10.1007/s00170-023-12079-5>
- Aldawood, F. (2023). A comprehensive review of 4D printing: State of the arts, opportunities, and challenges. *Actuators*, 12, 101. <https://doi.org/10.3390/act12030101>
- Alfaify, A., Saleh, M., Abdullah, F. M., & Al-Ahmari, A. M. (2020). Design for additive manufacturing: A systematic review. *Sustainability*, 12(19), 7936. <https://doi.org/10.3390/su12197936>
- Almutairi, M., Aria, A., Thakur, V., & Khan, M. (2020). Self-healing mechanisms for 3D-printed polymeric structures: From lab to reality. *Polymers*, 12. <https://doi.org/10.3390/polym12071534>
- Altshuller, G. S., Shulyak, L., & Rodman, S. (1997). 40 principles: TRIZ keys to technical innovation. Technical Innovation Center, INC.
- Bairapudi, A., Sastry, C. C., & Verma, C. (2022). Experimental analysis of 3D printed pallet model through fused deposition modeling. *Surface Review and Letters*, 29(05), 2250065. <https://doi.org/10.1142/S0218625X22500653>
- Arshad, A., Nazir, A., & Jeng, J.-Y. (2022). Design and performance evaluation of multi-helical springs fabricated by Multi Jet Fusion additive manufacturing technology. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 118, 1-12. <https://doi.org/10.1007/s00170-021-07756-2>
- Aziz, R., Ul Haq, M. I., & Raina, A. (2020). Effect of surface texturing on friction behaviour of 3D printed polylactic acid (PLA). *Polymer Testing*, 85, 106434. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2020.106434>
- Baxter, M. (2000). *Projeto de produto: Guia prático para design de novos produtos*. Edgar Blücher.
- Ben-Shabat, Y. (2015). Design of porous microstructures using curvature analysis for additive-manufacturing. *Procedia CIRP*, 36. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.01.057>
- Boolos, M., Corbin, S., Herrmann, A., & Regez, B. (2022). 3D printed orthotic leg brace with movement assist. *Annals of 3D Printed Medicine*, 7, 100062. <https://doi.org/10.1016/j.stlm.2022.100062>
- Briard, T., Segonds, F., & Zamariola, N. (2020). G-DfAM: A methodological proposal of generative design for additive manufacturing in the automotive industry. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*. <https://doi.org/10.1007/s12008-020-00669-6>
- Castro, J., Carneiro, E., Marques, S., Figueiredo, B., Pontes, A., Sampaio, Á., Carvalho, I., Henriques, M., & Cruz, P. (2020). Surface functionalization of 3D printed structures: Aesthetic and antibiofouling properties. *Surface and Coatings Technology*, 386, 125464. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2020.125464>
- Chantzis, D., Liu, X., Politis, D. J., Shi, Z., & Wang, L. (2020). Design for additive manufacturing (DfAM) of hot stamping dies with improved cooling performance under cyclic loading conditions. *Additive Manufacturing*, 37, 101720. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2020.101720>
- Chergui, A., Hadj-Hamou, K., & Vignat, F. (2018). Production scheduling and nesting in additive manufacturing. *Computers & Industrial Engineering*, 126. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.09.048>
- Cong, H. & Tong, L. H. (2008). Grouping of TRIZ inventive principles to facilitate automatic patent classification. *Expert Systems with Applications*, 34(1), 788–795. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2006.10.015>
- Conklin, K., Poldon, B., & Kim, A. (2020). Consolidation of an avionics pedestal by topology optimization-based DfAM (design for additive manufacturing). In *Proceedings of the Canadian Aeronautics and Space Institute*.
- Cuellar, J. S., Smit, G., Zadpoor, A., & Breedveld, P. (2018). Ten guidelines for the design of non-assembly mechanisms: The case of 3D-printed prosthetic hands. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: Journal of Engineering in Medicine*, 095441191879473. <https://doi.org/10.1177/0954411918794734>
- Deng, H., & To, A. C. (2021). Reverse shape compensation via a gradient-based moving particle optimization method. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 377, 113658. <https://doi.org/10.1016/j.cma.2020.113658>
- Diegel, O., Schutte, J., Ferreira, A., & Chan, Y. L. (2020). Design for additive manufacturing process for a lightweight hydraulic manifold. *Additive Manufacturing*, 36, 101446. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2020.101446>
- Djokikj, J., & Kandikjan, T. (2021). DfAM: Development of design rules for FFF. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: Journal of Engineering in Medicine*.
- Dogea, R., Yan, X. T., & Millar, R. (2021). A smart wing rib structure suitable for design for additive manufacturing (DfAM) process. *Journal of*

- Material Sciences & Manufacturing Research, 2(2), 1-21. [https://doi.org/10.47363/JMSMR/2021\(2\)122](https://doi.org/10.47363/JMSMR/2021(2)122)
- Domb, E., & Rantanen, K. (2010). TRIZ Simplificado: Nuevas aplicaciones de resolución de problemas para ingeniería y fabricación. TORCULO EDICIONES, S.L.
- Du Plessis, A., Broeckhoven, C., Yadroitsava, I., Yadroitsev, I., Hands, C. H., Kunju, R., & Bhate, D. (2019). Beautiful and functional: A review of biomimetic design in additive manufacturing. *Additive Manufacturing*, *38*, 101752. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2019.03.033>
- Ehlers, T., Tatzko, S., Wallaschek, J., & Lachmayer, R. (2021). Design of particle dampers for additive manufacturing. *Additive Manufacturing*, *38*, 101752. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2020.101752>
- Elliott, O., Gray, S., McClay, M., Nassief, B., Nunnolley, A., Vogt, E., Ekong, J., Kardel, K., Khoshkoo, A., Proano, G., & Blersch, D. (2017). Design and manufacturing of high surface area 3D-printed media for moving bed bioreactors for wastewater treatment. *Journal of Contemporary Water Research & Education*, *160*, 144-156. <https://doi.org/10.1111/j.1936-704X.2017.03246.x>
- Farber, E., Zhu, J.-N., Popovich, A., & Popovich, V. (2020). A review of NiTi shape memory alloy as a smart material produced by additive manufacturing. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.01.563>
- Fernandez-Vicente, M., Calle, W., Ferrandiz, S., & Conejero, A. (2016). Effect of infill parameters on tensile mechanical behavior in desktop 3D printing. *3D Printing and Additive Manufacturing*, *3*(3), 183-192. <https://doi.org/10.1089/3dp.2015.0036>
- Forés Garriga, A., Pérez, M., Gómez-Gras, G., & Reyes, G. (2020). Role of infill parameters on the mechanical performance and weight reduction of PEI Ultem processed by FFF. *Materials & Design*, *193*. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2020.108810>
- Gazem, N., & Rahman, A. A. (2014). Interpretation of TRIZ principles in a service related context. *Asian Social Science*, *10*(13). <https://doi.org/10.5539/ass.v10n13p108>
- Ghughe, S., Dohale, V., & Akarte, M. (2022). Spare part segmentation for additive manufacturing – A framework. *Computers & Industrial Engineering*, *169*, 108277. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108277>
- Gibson, I., Rosen, D. W., Stucker, B., & Khorasani, M. (2014). *Additive manufacturing technologies: 3D printing, rapid prototyping, and direct digital manufacturing*. Springer.
- Goh, G. L., Zhang, H., Chong, T. H., & Yeong, W. Y. (2021). 3D printing of multilayered and multimaterial electronics: A review. *Advanced Electronic Materials*, *2100445*. <https://doi.org/10.1002/aelm.202100445>
- Goyanes, A., Det-Amornrat, U., Wang, J., Basit, A. W., & Gaisford, S. (2016). 3D scanning and 3D printing as innovative technologies for fabricating personalized topical drug delivery systems. *Journal of Controlled Release*, *234*, 41-48. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2016.05.034>
- Griffin, A., Price, R. L., & Vojak, B. A. (2009). Voices from the field: How exceptional electronic industrial innovators innovate. *Journal of Product Innovation Management*, *26*(2), 222-240. <https://doi.org/10.1111/j.1540-5885.2009.00348.x>
- Gross, J., Park, K., & Kremer, G. E. O. (2018). Design for additive manufacturing inspired by TRIZ. In *ASME 2018 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference*. American Society of Mechanical Engineers. <https://doi.org/10.1115/DETC2018-85864>
- Groth, J.-H., Magnini, M., Tuck, C., & Clare, A. (2022). Stochastic design for additive manufacture of true biomimetic populations. *Additive Manufacturing*, *55*, 102739. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2022.102739>
- Haidar Hosamo, H., & Mohsen Hosamo, H. (2022). Digital twin technology for bridge maintenance using 3D laser scanning: A review. *Advances in Civil Engineering*, 2022, Article ID 2194949. <https://doi.org/10.1155/2022/2194949>
- Herzberger, J., Serrine, J. M., Williams, C. B., & Long, T. E. (2019). Polymer design for 3D printing elastomers: Recent advances in structure, properties, and printing. *Progress in Polymer Science*, *101*, 1144. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2019.101144>
- Holmer, L., Othman, A., Luhrs, A., & von See, C. (2019). Comparison of the shear bond strength of 3D printed temporary bridges materials, on different types of resin cements and surface treatment. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*. <https://doi.org/10.4317/jced.55617>
- Hon, K. K. B. (2007). Digital additive manufacturing: From rapid prototyping to rapid manufacturing. In *Handbook of Manufacturing Engineering and Technology*, 1-76. [https://doi.org/10.1007/978-1-84628-988-0\\_76](https://doi.org/10.1007/978-1-84628-988-0_76)
- Husain, M., Singh, R., & Pabla, B. S. (2023). A review on 3D printing of partially absorbable implants. *Journal of The Institution of Engineers*

- (India): Series C, 104(4), 1113-1132. <https://doi.org/10.1007/s40032-023-00980-7>
- Jakus, A. E., Geisendorfer, N. R., Lewis, P. L., & Shah, R. N. (2018). 3D-printing porosity: A new approach to creating elevated porosity materials and structures. *Acta Biomaterialia*, 72, 94-109. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2018.03.039>
- Jasiński, K., Murawski, L., Kluczyk, M., Muc, A., Szeleziński, A., Muchowski, T., & Chodnicki, M. (2023). Selected aspects of 3D printing for emergency replacement of structural elements. *Advances in Science and Technology Research Journal*, 17(1), 274-289. <https://doi.org/10.12913/22998624/158486>
- Jiang, H., Ziegler, H., Zhang, Z., Meng, H., Chronopoulos, D., & Chen, Y. (2020). Mechanical properties of 3D printed architected polymer foams under large deformation. *Materials & Design*, 194, 108946. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2020.108946>
- Jong-Ho, S., Jang, D., & Joo, J. (2011). A decision support method for conceptual design considering product lifecycle factors and resource constraints. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 52(9-12), 865-886. <https://doi.org/10.1007/s00170-010-2751-3>
- Kamps, T., Gralow, M., Schlick, G., & Wartzack, S. (2017). Systematic biomimetic part design for additive manufacturing. *Procedia CIRP*, 65, 259-266. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.03.316>
- Kanyilmaz, A., Berto, F., Paoletti, I., Caringal, R. J., & Mora, S. (2020). Nature-inspired optimization of tubular joints for metal 3D printing. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 63(2), 767-787. <https://doi.org/10.1007/s00158-020-02729-7>
- Kim, H. & Jeong, S. (2015). Case study: Hybrid model for the customized wrist orthosis using 3D printing. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 29(12), 5151-5156. <https://doi.org/10.1007/s12206-015-1115-9>
- Kim, J., Hegde, H., Kim, H.-Y., & Lee, C. (2022). Spindle vibration mitigation utilizing additively manufactured auxetic materials. *Journal of Manufacturing Processes*, 73, 633-641. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2021.11.051>
- Kiziroglou, M., Becker, T., Wright, S., Yeatman, E., Evans, J., & Wright, P. (2016). Thermoelectric generator design in dynamic thermoelectric energy harvesting. *Journal of Physics: Conference Series*, 773, 012025. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/773/1/012025>
- Kretschmar, N., & Chekurov, S. (2018). The applicability of the 40 TRIZ principles in design for additive manufacturing. In *Proceedings of the 29th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation*, 128. <https://doi.org/10.2507/29th.daaam.proceedings.128>
- Lang, A., Gazo, C., Segonds, F., Mantelet, F., Jean, C., Guegan, J., & Buisine, S. (2019). A proposal for a methodology of technical creativity mixing TRIZ and additive manufacturing. In *Proceedings of the 30th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation*, 10. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-32497-1\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-030-32497-1_10)
- Lettori, J., Raffaeli, R., Peruzzini, M., Schmidt, J., & Pellicciari, M. (2020). Additive manufacturing adoption in product design: An overview from literature and industry. *Procedia Manufacturing*, 51, 655-662. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.092>
- Li, S., Xin, Y., Yu, Y., & Wang, Y. (2021). Design for additive manufacturing from a force-flow perspective. *Materials & Design*, 204, 109664. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2021.109664>
- Liang He, X. Su, H. Peng, J. I. Lipton, & J. E. Froehlich. (2022). Kinergy: Creating 3D printable motion using embedded kinetic energy. In *Proceedings of the 35th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST '22)*. Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3526113.3545636>
- Lindgren, L.-E., & Lundbäck, A. (2018). Additive manufacturing and high-performance applications. *Proceedings of the 3rd International Conference on Progress in Additive Manufacturing (Pro-AM 2018)*, 214-219. <https://doi.org/10.25341/D4JC76>
- Livotov, P. (2022). TRIZ 40 inventive principles with 160 inventive operators - an extended version. *Journal of Creativity and Innovation Management*, 31(2), 163-176.
- Lohse, T., & Werner, L. C. (2019). Semi-flexible additive manufacturing materials for modularization purposes: A modular assembly proposal for a foam edge-based spatial framework. In *Proceedings of the 37th eCAADe and 23rd SIGraDi Joint Conference*, Porto, Portugal, 463-470.
- Lovo, J. F. P., Camargo, I. L., Araujo, L. A. O., & Fortulan, C. A. (2019). Mechanical structural design based on additive manufacturing and internal reinforcement. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 095440621987847. <https://doi.org/10.1177/0954406219878471>



- Mao, X., Zhang, X., & Rizk, S. (2007). Generalized solutions for Su-Field analysis. *The TRIZ Journal*, August 2007.
- Mazlan, S. N., Abdul Kadir, A., Deja, M., & Zieliński, D. (2021). Development of technical creativity featuring modified TRIZ-AM inventive principle to support additive manufacturing. *Journal of Mechanical Design*, 144, 1-47. <https://doi.org/10.1115/1.4052758>
- Meisel, N. A., Elliott, A. M., & Williams, C. B. (2015). A procedure for creating actuated joints via embedding shape memory alloys in PolyJet 3D printing. *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, 26(12), 1498-1512. <https://doi.org/10.1177/1045389X14544144>
- Merklein, M., Schulte, R., & Papke, T. (2021). An innovative process combination of additive manufacturing and sheet bulk metal forming for manufacturing a functional hybrid part. *Journal of Materials Processing Technology*, 291, 117032. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2020.117032>
- Mun, J., Busse, M., Ju, J., & Thurman, J. (2015). Multilevel metal flow-fill analysis of centrifugal casting for indirect additive manufacturing of lattice structures. Volume 2A: *Advanced Manufacturing*. <https://doi.org/10.1115/imece2015-52270>
- Naseer, M. U., Kallaste, A., Asad, B., Vaimann, T., & Rassölkin, A. (2021). A review on additive manufacturing possibilities for electrical machines. *Energies*, 14, 1940. <https://doi.org/10.3390/en14071940>
- Nava-Medina, I. B., Gold, K. A., Cooper, S. M., Robinson, K., Jain, A., Cheng, Z., & Gaharwar, A. K. (2021). Self-oscillating 3D printed hydrogel shapes. *Advanced Materials Technologies*, 2100418. <https://doi.org/10.1002/admt.202100418>
- Nazé, T., Poutch, F., Bonnet, F., Jimenez, M., & Bourbigot, S. (2023). Impact of additive manufacturing on reaction to fire. *Journal of Fire Sciences*, 41(3), 53-72. <https://doi.org/10.1177/07349041231158990>
- Nocentini, S., Martella, D., Parmeggiani, C., & Wiersma, D. (2019). 3D printed photoresponsive materials for photonics. *Advanced Optical Materials*, 7, 1900156. <https://doi.org/10.1002/adom.201900156>
- Opgenoord, M. M., & Willcox, K. E. (2019). Design for additive manufacturing: Cellular structures in early-stage aerospace design. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 60, 411-428. <https://doi.org/10.1007/s00158-019-02242-3>
- Orloff, M. A. (2017). *ABC-TRIZ: Introduction to creative design thinking with modern TRIZ modeling*. Springer International Publishing.
- Orquera, M., Campocasso, S., & Millet, D. (2017). Design for additive manufacturing method for a mechanical system downsizing. *Procedia CIRP*, 60, 223-228. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.02.011>
- Ottosson, S. (2004). Dynamic product development - DPD. *Technovation*, 24, 207-217. [https://doi.org/10.1016/S0166-4972\(02\)00099-2](https://doi.org/10.1016/S0166-4972(02)00099-2)
- Pakkanen, J., Manfredi, D., Minetola, P., & Iuliano, L. (2017). About the use of recycled or biodegradable filaments for sustainability of 3D printing. *Smart Innovation, Systems and Technologies*, 776-785. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-57078-5\\_73](https://doi.org/10.1007/978-3-319-57078-5_73)
- Prabhu, R., Miller, S. R., Simpson, T. W., & Meisel, N. A. (2020). Complex solutions for complex problems? Exploring the role of design task choice on learning, design for additive manufacturing use, and creativity. *Journal of Mechanical Design*, 142(3), 1-12. <https://doi.org/10.1115/1.4045649>
- Punpongsanon, P., Wen, X., Kim, D., & Mueller, S. (2018). ColorMod: Recoloring 3D printed objects using photochromic inks. In *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1-12. <https://doi.org/10.1145/3173574.3173787>
- Raju, S., Pitchaimani, J., Doddamani, M., & Loganathan, Y. (2020). Acoustic behaviour of 3D printed bio-degradable micro-perforated panels with varying perforation cross-sections. *Applied Acoustics*, 174, 107769. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2020.107769>
- Ramírez-Elías, V. Continuando com as referências formatadas de acordo com as normas APA 7ª edição.
- Ramírez-Elías, V. A., Damian-Escoto, N., Choo, K., Gómez-Martínez, M. A., Balvantín-García, A., & Diosdado-De la Peña, J. A. (2022). Structural analysis of carbon fiber 3D-printed ribs for small wind turbine blades. *Polymers*, 14, 4925. <https://doi.org/10.3390/polym14224925>
- Rantanen, K., & Domb, E. (2002). *Simplified TRIZ: New problem-solving applications for engineers and manufacturing professionals*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420000320>
- Reddy, K. S. N., Maranan, V., Simpson, T. W., Palmer, T., & Dickman, C. J. (2016). Application of topology optimization and design for additive manufacturing guidelines on an automotive component. Volume 2A: 42nd Design

- Automation Conference.  
<https://doi.org/10.1115/detc2016-59719>
- Renjith, S. C., Okudan Kremer, G. E., & Park, K. (2018). A design framework for additive manufacturing through the synergistic use of axiomatic design theory and TRIZ. IISE Annual Conference & Expo 2018, 551-556.
- Roach, D., Hamel, C., Dunn, C., Johnson, M., Kuang, X., & Qi, H. (2019). The m4 3D printer: A multi-material multi-method additive manufacturing platform for future 3D printed structures. *Additive Manufacturing*, 29, 100819. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2019.100819>
- Rodriguez Parada, L., de la Rosa Silva, S., & Mayuet, P. (2021). Influence of 3D-printed TPU properties for the design of elastic products. *Polymers*, 13, 2519. <https://doi.org/10.3390/polym13152519>
- Rodriguez-Conde, I., & Campos, C. (2020). Towards customer-centric additive manufacturing: Making human-centered 3D design tools through a handheld-based multi-touch user interface. *Sensors*, 20, 4255. <https://doi.org/10.3390/s20154255>
- Rosales, S., Ferrándiz, S., Reig, M. J., & Seguí, J. (2017). Study of soluble supports generation in 3D printed parts. *Procedia Manufacturing*, 13, 833-839. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.188>
- Rosen, D. W. (2007). Design for additive manufacturing: A method to explore unexplored regions of the design space. In *Eighteenth Annual Solid Freeform Fabrication Symposium*, 402-415.
- Rozenfeld, H., Forcellini, F. A., Amaral, D. C., Toledo, J. C., Silva, S. L., Alliprandini, D. H., & Scalice, R. K. (2006). Gestão de desenvolvimento de produtos: Uma referência para a melhoria do processo. *Saraiva*.
- Ryan, K., Down, M., Hurst, N., Keefe, E., Banks, C., Wilkins, T., & Carrano, A. (2022). Additive manufacturing (3D printing) of electrically conductive polymers and polymer nanocomposites and their applications. *eScience*, 2. <https://doi.org/10.1016/j.esci.2022.07.003>
- Sanei, S. H. R., & Popescu, D. (2020). 3D-printed carbon fiber reinforced polymer composites: A systematic review. *Journal of Composites Science*, 4, 98. <https://doi.org/10.3390/jcs4030098>
- Sinha, A., Swain, B., Behera, A., Mallick, P., Samal, S., H. M., Vishwanatha, & Behera, A. (2022). A review on the processing of aero-turbine blades using 3D print techniques. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 6, 16. <https://doi.org/10.3390/jmmp6010016>
- Sokovic, M., Kopac, J., & Pusavec, F. (2005). Use of 3D-scanning and reverse engineering by manufacturing of complex shapes. *Strojniški Vestnik - Journal of Mechanical Engineering*, 51, 179-190.
- Souchkov, V. (2016). A glossary of essential TRIZ terms. *TRIZ Journal*. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-31782-3\\_17](https://doi.org/10.1007/978-3-319-31782-3_17)
- Spallek, J., & Krause, D. (2016). Process types of customisation and personalisation in design for additive manufacturing applied to vascular models. *Procedia CIRP*, 50, 281-286. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.05.022>
- Srinivas, G., Kurkal, R., & Shenoy, S. (2018). Recent developments in turbomachinery component materials and manufacturing challenges for aero engine applications. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 314, 012012. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/314/1/012012>
- Stavropoulos, P., Bikas, H., Avram, O., Valente, A., & Chryssolouris, G. (2020). Hybrid subtractive-additive manufacturing processes for high value-added metal components. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 111(3-4), 645-655. <https://doi.org/10.1007/s00170-020-06099-8>
- Takagishi, K., & Umezu, S. (2017). Development of the improving process for the 3D printed structure. *Scientific Reports*, 7, 39852. <https://doi.org/10.1038/srep39852>
- Tawk, C. & Alici, G. (2021). A review of 3D-printable soft pneumatic actuators and sensors: Research challenges and opportunities. *Advanced Intelligent Systems*, 3(6), 2000223. <https://doi.org/10.1002/aisy.202000223>
- Tekes, A. (2020). 3D printed torsional mechanism demonstrating fundamentals of free vibrations. *Canadian Journal of Physics*, 99. <https://doi.org/10.1139/cjp-2019-0170>
- Van Rompay, T. J. L., Kramer, L.-M., & Saakes, D. (2018). The sweetest punch: Effects of 3D-printed surface textures and graphic design on ice-cream evaluation. *Food Quality and Preference*, 68, 198-204. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2018.02.01>
- Voet, V. S. D., Guit, J., & Loos, K. (2020). Sustainable photopolymers in 3D printing: A review on biobased, biodegradable, and recyclable alternatives. *Macromolecular Rapid Communications*, 2000475. <https://doi.org/10.1002/marc.202000475>
- Wang, R., Shang, J., Li, X., Luo, Z., & Wu, W. (2018). Vibration and damping characteristics of

- 3D printed Kagome lattice with viscoelastic material filling. *Scientific Reports*, 8, 27963. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-27963-4>
- Wilts, E. & Long, T. (2020). Sustainable additive manufacturing: Predicting binder jettability of water-soluble, biodegradable, and recyclable polymers. *Polymer International*, 70. <https://doi.org/10.1002/pi.6108>
- Wong, V. W. H., Ferguson, M., Law, K. H., Lee, Y. T., & Witherell, P. (2021). Segmentation of additive manufacturing defects using U-Net. *ASME. J. Comput. Inf. Sci. Eng.*, 22(3), 031005. <https://doi.org/10.1115/1.4053078>
- Yang, Y., Chen, Y., Li, Y., & Chen, M. (2016). 3D printing of variable stiffness hyper-redundant robotic arm. 2016 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), 3871-3877. <https://doi.org/10.1109/ICRA.2016.7487575>
- Yu, P., Lu, J., Luo, Q., Li, G., & Yin, X. (2022). Optimization design of aerostatic bearings with square micro-hole arrayed restrictor for the improvement of stability: Theoretical predictions and experimental measurements. *Lubricants*, 10, 295. <https://doi.org/10.3390/lubricants10110295>
- Zaldivar, R., Witkin, D., McLouth, T., Patel, D. N., Schmitt, K., & Nokes, J. (2016). Influence of processing and orientation print effects on the mechanical and thermal behavior of 3D-printed ULTEM® 9085 material. *Additive Manufacturing*, 13, 96-104. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2016.11.007>
- com as referências formatadas de acordo com as normas APA 7ª edição:
- Zaldivar, R., Witkin, D., McLouth, T., Patel, D. N., Schmitt, K., & Nokes, J. (2016). Influence of processing and orientation print effects on the mechanical and thermal behavior of 3D-printed ULTEM® 9085 material. *Additive Manufacturing*, 13, 96-104. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2016.11.007>
- Zeng, Y.-S., Hsueh, M.-H., Lai, C.-J., Hsiao, T.-C., Pan, C.-Y., Huang, W.-C., Chang, C.-H., & Wang, S.-H. (2022). An investigation on the hardness of polylactic acid parts fabricated via fused deposition modeling. *Polymers*, 14, 2789. <https://doi.org/10.3390/polym14142789>
- Zhao, J., Zhang, M., Zhu, Y., Li, X., Wang, L., & Hu, J. (2019). A novel optimization design method of additive manufacturing oriented porous structures and experimental validation. *Materials & Design*, 163, 107550. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2018.12.020>
- Zmarzły, P., Gogolewski, D., & Kozior, T. (2020). Design guidelines for plastic casting using 3D printing. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 15, 155892502091603. <https://doi.org/10.1177/1558925020916037>
- Zolfagharian, A., Bodaghi, M., Hamzehei, R., Parr, L., Fard, M., & Rolfe, B. (2022). 3D-printed programmable mechanical metamaterials for vibration isolation and buckling control. *Sustainability*, 14, 6831. <https://doi.org/10.3390/su14116831>