

**IMPRESSÃO 3D DE BRAÇO ROBÓTICO: REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA****3D PRINTING OF ROBOTIC ARM: A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW****IMPRESIÓN 3D DE BRAZO ROBÓTICO: REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LA LITERATURA**Roger Serafim Raimundo<sup>1</sup>, Paulo Sérgio Barbosa dos Santos<sup>1</sup>

e6116867

<https://doi.org/10.47820/recima21.v6i11.6867>

PUBLICADO: 11/2025

**RESUMO**

Esta revisão sistemática buscou analisar as tendências e dificuldades do uso da impressão 3D na produção de braços robóticos. A busca inicial encontrou 11.930 estudos, organizados por meio do programa StArt, e filtrados segundo critérios definidos, resultando em 28 artigos elegíveis. A pesquisa mostrou que a manufatura aditiva é amplamente aplicada na robótica, porém a construção de braços robóticos completos ainda é pouco explorada, sendo maior o foco no desenvolvimento de peças individuais. Os materiais mais frequentes foram polímeros, como PLA e ABS, escolhidos por seu baixo custo e facilidade de impressão, geralmente em ambientes educacionais e de prototipagem rápida. O principal desafio identificado é a integração de componentes impressos com sistemas de sensores e atuadores em um único braço robótico funcional. Futuras pesquisas podem concentrar-se no desenvolvimento de modelos experimentais completos que combinem materiais, sensores e atuadores, potencializando avanços tecnológicos, educacionais e sustentáveis, alinhados aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU, como ODS 4 (Educação de Qualidade) e ODS 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura).

**PALAVRAS-CHAVE:** Impressão 3D. Braço robótico. Robótica. Manufatura aditiva. Técnica de impressão 3D. Prototipagem rápida.

**ABSTRACT**

*This systematic review aimed to analyze the trends and challenges of using 3D printing in the production of robotic arms. The initial search retrieved 11,930 studies, organized using the StArt program and filtered according to defined criteria, resulting in 28 eligible articles. The research showed that additive manufacturing is widely applied in robotics; however, the construction of complete robotic arms is still underexplored, with greater focus on the development of individual components. The most common materials were polymers, such as PLA and ABS, chosen for their low cost and ease of printing, often in educational and rapid prototyping contexts. The main challenge identified is the integration of printed components with sensors and actuators into a fully functional robotic arm. Future research could focus on developing experimental models that combine materials, sensors, and actuators, fostering technological, educational, and sustainable advances aligned with the UN Sustainable Development Goals, such as SDG 4 (Quality Education) and SDG 9 (Industry, Innovation, and Infrastructure).*

**KEYWORDS:** 3D printing. Robotic arm. Robotics. Additive manufacturing. 3D printing technique. Rapid prototyping.

**RESUMEN**

*Esta revisión sistemática tuvo como objetivo analizar las tendencias y dificultades del uso de la impresión 3D en la producción de brazos robóticos. La búsqueda inicial recuperó 11.930 estudios, organizados mediante el programa StArt y filtrados según criterios definidos, resultando en 28 artículos elegibles. La investigación mostró que la manufatura aditiva se aplica ampliamente en la*

<sup>1</sup> UNESP – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.



*robótica; sin embargo, la construcción de brazos robóticos completos aún está poco explorada, con mayor enfoque en el desarrollo de componentes individuales. Los materiales más comunes fueron polímeros, como PLA y ABS, elegidos por su bajo costo y facilidad de impresión, generalmente en contextos educativos y de prototipado rápido. El principal desafío identificado es la integración de los componentes impresos con sensores y actuadores en un brazo robótico completamente funcional. Las investigaciones futuras podrían centrarse en el desarrollo de modelos experimentales que combinen materiales, sensores y actuadores, fomentando avances tecnológicos, educativos y sostenibles, alineados con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU, como ODS 4 (Educación de Calidad) y ODS 9 (Industria, Innovación e Infraestructura).*

**PALABRAS CLAVE:** *Impresión 3D. Brazo robótico. Robótica. Fabricación aditiva. Técnica de impresión 3D. Prototipado rápido.*

## 1. INTRODUÇÃO

A impressão 3D, também conhecida como manufatura aditiva, é uma tecnologia que tem se tornado cada vez mais comum, por conta da sua capacidade de converter modelos digitais em objetos reais pela adição de camadas de material. Devido à sua flexibilidade de *design*, personalização em massa e rapidez na produção de peças complexas, a tecnologia tem sido amplamente revisada em termos de processos, materiais e aplicações (Kharat *et al.*, 2023). Além disso, a facilidade com que se pode utilizá-la tem possibilitado sua aplicação na educação, auxiliando no aprendizado prático e no desenvolvimento de habilidades técnicas.

No cenário mundial, onde se busca cada vez mais inovação e práticas sustentáveis, a manufatura aditiva se conecta diretamente com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) criados pela Organização das Nações Unidas (ONU). O ODS 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura) tem o objetivo de impulsionar o progresso tecnológico, o aprimoramento das habilidades técnicas e o desenvolvimento de indústrias sustentáveis. A impressão 3D se mostra relevante nesse contexto, já que possibilita a criação de soluções eficazes com menor impacto ao meio ambiente, redução no uso de recursos e aumento da eficiência (Jandyal *et al.*, 2022).

A construção de braços robóticos utilizando impressão 3D é um exemplo da aplicação dessa tecnologia no desenvolvimento de ferramentas acessíveis, especialmente em contextos educacionais e experimentais. Nesse sentido, a pesquisa busca compreender de que forma a impressão 3D tem sido utilizada tanto como ferramenta de ensino integrando teoria e prática quanto como meio de desenvolvimento de soluções aplicadas em projetos reais. Com base nisso, o trabalho também se relaciona com o ODS 4 (Educação de Qualidade), ao promover o acesso ao conhecimento técnico e científico, auxiliando na formação de estudantes em áreas ligadas à engenharia, automação e robótica. Exemplos de braços robóticos educativos e de baixo custo reforçam a aplicabilidade prática dessa tecnologia (Siemasz *et al.*, 2020).

Apesar do crescente número de estudos sobre a utilização da impressão 3D na robótica, ainda são raras as pesquisas que abordam especificamente o desenvolvimento de braços robóticos impressos em 3D com foco educacional e de baixo custo.

Desse modo, esta revisão busca preencher essa lacuna ao analisar e discutir os avanços mais recentes nessa área, com destaque nas implicações para a educação tecnológica (ODS 4) e a inovação industrial sustentável (ODS 9). Além disso, estudos recentes em *soft robotics* e impressão multimaterial mostram potencial para complementar esses desenvolvimentos, integrando sensores, atuadores e estruturas bioinspiradas em protótipos funcionais (Hasan *et al.*, 2022).

## 2. MÉTODOS

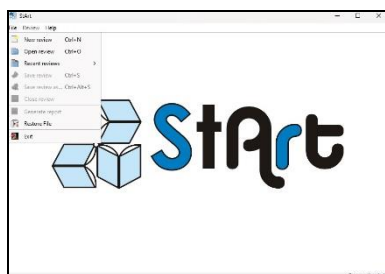
Esta revisão sistemática tem como objetivo analisar e selecionar artigos científicos publicados que abordam o uso da tecnologia de impressão 3D na construção de braços robóticos. Para garantir a padronização e a rastreabilidade do processo, foi utilizado o *software* State of the Art through Systematic Review (StArt), desenvolvido pelo Centro de Engenharia de *Software* da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar).

### 2.1. Uso do *Software* StArt

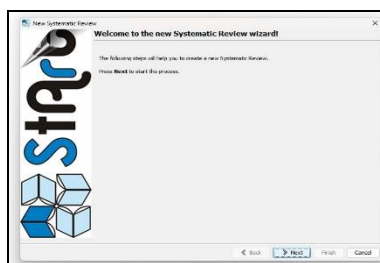
O primeiro passo foi criar um projeto no StArt, no qual foram inseridas as informações básicas da pesquisa, como título, descrição e autores. Em seguida, foi configurado o protocolo da revisão, com os critérios de inclusão e exclusão, os campos de extração de dados e a *string* de busca usada para encontrar os artigos nas bases de dados selecionadas (Figura 1).

Os resultados das buscas foram importados para o StArt por meio de arquivos no formato .ris, permitindo uma inserção direta dos dados. O *software* foi utilizado para automatizar a análise das palavras-chave, identificar artigos duplicados, atribuir pontuação de relevância e ajudar na filtragem dos estudos. A aplicação do StArt deixou todo o processo mais prático e padronizado, ajudando na seleção dos artigos e na construção da revisão.

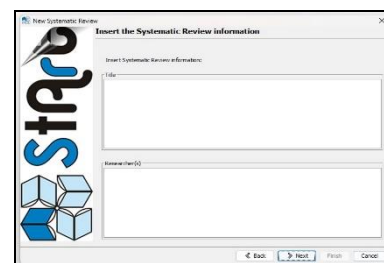
Figura 1. Criação do projeto da RSL no *software* StArt.



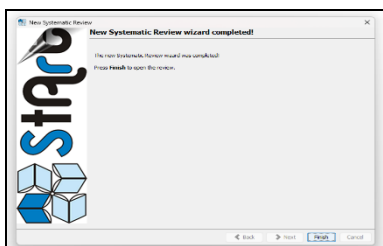
A) Criação de arquivo para RSL



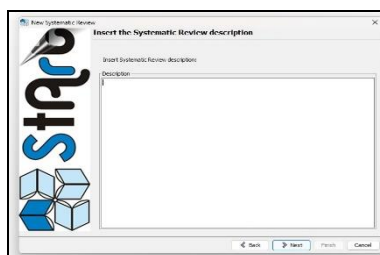
B) Caixa de orientações



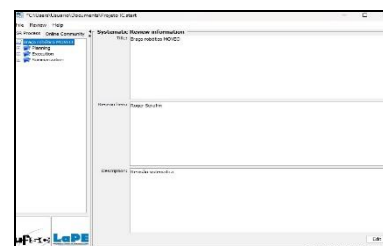
C) Título e Pesquisadores



D) Descrição da pesquisa



E) Inserção da descrição



F) Tela do início do projeto

Fonte: Próprio autor

## 2.2. Protocolo da Revisão

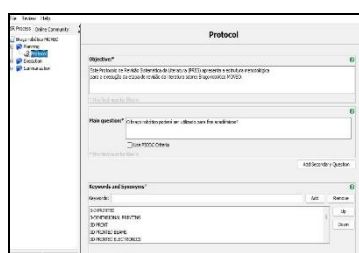
O protocolo da revisão sistemática (Figura 2) foi elaborado diretamente no *software* StArt, no qual foram definidos e registrados todos os passos que orientaram o desenvolvimento do trabalho. O objetivo principal foi reunir e analisar estudos sobre a construção de braços robóticos utilizando impressão 3D.

Foram escolhidas cinco bases de dados amplamente reconhecidas nas áreas de engenharia e tecnologia: SciELO, ScienceDirect, IEEE Xplore, Scopus e Web of Science. As buscas foram executadas entre outubro e novembro de 2024, considerando publicações nos idiomas português e inglês, para abranger estudos nacionais e internacionais relevantes.

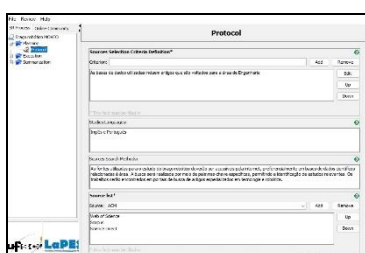
A definição da *string* de busca foi feita com base nos principais termos relacionados ao tema. A expressão “3D printed” foi utilizado para identificar os estudos sobre impressão 3D, e os termos “robot arm”, “robot” e “arm” foram empregados para incluir as diferentes formas de menção a braços robóticos. Esses termos foram combinados com operadores lógicos, resultando na seguinte *string* geral: 3D printed AND (“robot arm” OR “robot” OR “arm”).

A pesquisa foi limitada a artigos publicados nos últimos cinco anos, com o objetivo de garantir a relevância e atualidade dos resultados. No total, foram encontrados 11.930 artigos, esses resultados foram exportados no formato ris e importados para o *software* StArt, onde foi realizada a seleção e a análise detalhada dos estudos.

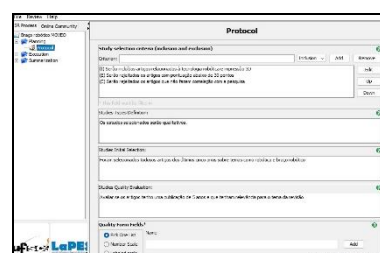
Figura 2. Protocolo da RSL no *software* StArt



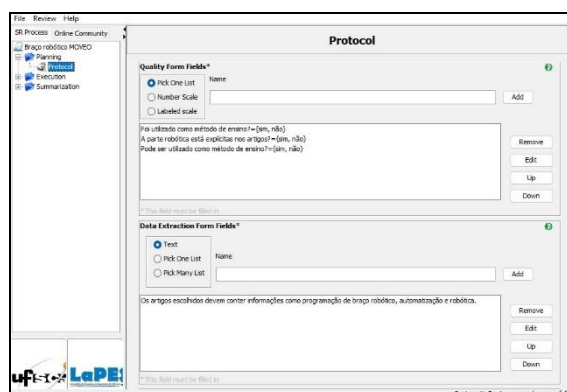
A) Questão principal e palavras chaves



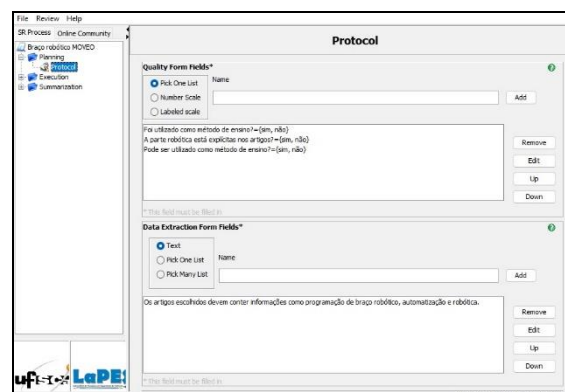
B) Fontes e Adicionar base de dados



C) Critérios



D) Qualidade



E) Campos de extração

Fonte: Autor

### 2.2.1. Critérios de Inclusão e Exclusão

Para garantir que os estudos estivessem alinhados com o tema da revisão, foram definidos critérios de inclusão e exclusão, que foram aplicados durante o processo de filtragem manual dentro do StArt.

**Quadro 1.** Critérios de inclusão e exclusão

Critério de inclusão	Descrição do critério	Critério de exclusão	Descrição do critério
CI1	Artigos relacionados à impressão 3D	CE1	Artigos que não fazem correlação com a pesquisa
CI2	Artigos relacionados à tecnologia robótica	CE2	Artigos com classificação Q4
CI3	Artigos com alta aderência com a pesquisa	CE3	Artigos com ausência de informações relevantes
CI4	Artigos que submetem a impressão 3D como primeiro plano	CE4	Artigos que submetem a impressão 3D como segundo plano

Fonte: Próprio autor

### 2.3. Processamento dos artigos no StArt

Após a realização das buscas nas cinco bases de dados definidas no protocolo (SciELO, ScienceDirect, Web of Science, IEEE Xplore e Scopus), os resultados foram exportados no formato .ris, compatível com o *software* StArt. Durante a execução do protocolo, a lateral esquerda



da interface do *software* exibia as bases de dados cadastradas. Para cada uma delas, os artigos foram adicionados individualmente.

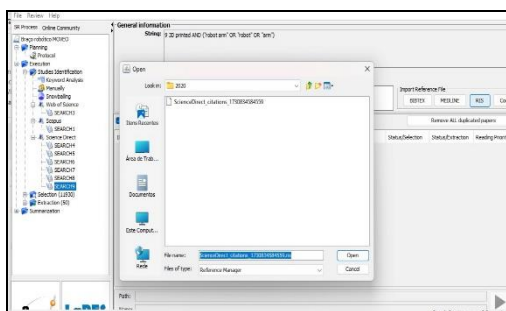
Esse processo foi realizado clicando com o botão direito no nome da base e selecionando a opção de importação de referências. Com isso, os arquivos salvos no computador foram importados de acordo com a base de origem, permitindo manter a organização dos dados conforme a fonte (Figura 3). Em seguida, o StArt realizou automaticamente a remoção de duplicados, identificando e eliminando estudos repetidos entre as diferentes bases. Isso permitiu que cada estudo fosse considerado apenas uma vez na análise, garantindo a confiabilidade dos dados.

Após a importação dos arquivos, o *software* distribuiu automaticamente os dados de cada artigo, preenchendo informações como título, autores, resumo, palavras-chave e ano de publicação. O número total de artigos importados também passou a ser exibido, assim como o status de cada item.

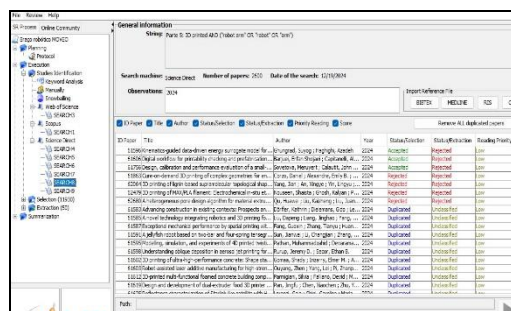
Além disso, antes da análise das palavras-chave, o StArt realizou uma primeira pontuação automática dos artigos com base na relevância dos termos da *string* de busca em relação aos títulos, resumos e palavras-chave dos estudos. Essa pontuação preliminar serviu como uma etapa inicial da classificação dos artigos encontrados. Cada item recebeu uma nota que indicava relevância em relação à *string* original, o que auxiliou na filtragem inicial dos estudos (Figura 4).

**Figura 3.** Inserção de arquivo contendo referências bibliográficas no StArt





F) Inserção dos artigos “bib” ou “ris”



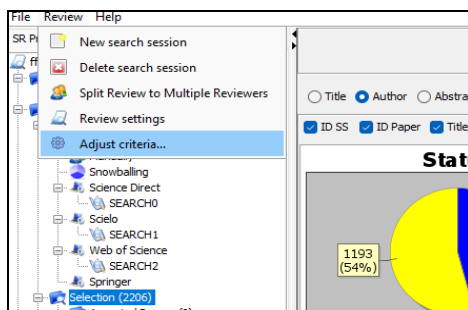
G) Artigos inseridos

Fonte: Próprio autor

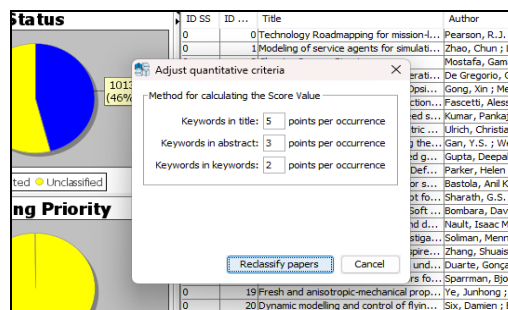
Para apoiar a análise dos artigos ainda não classificados, utilizou-se a função *Generate Quadrants* Gerar Quadrantes, disponível na aba *Seleção* do software StArt. Essa ferramenta está localizada na parte superior da interface, dentro da seção “Unclassified Papers” Artigos não classificados. Essa ferramenta gera uma representação gráfica em quatro quadrantes, organizando os estudos com base em critérios como a relevância para o tema da revisão. Os artigos são classificados do Quadrante 1 (Q1) ao Quadrante 4 (Q4), conforme o grau de pertinência ao tema (Figura 5).

A partir da geração dos quadrantes, os estudos foram avaliados conforme sua posição no gráfico. Os artigos classificados como Q2 foram considerados altamente relevantes e seguiram diretamente para a leitura integral. Os artigos Q1 e Q3 apresentam relevância intermediária, porém a filtragem não apresentou estudos com essa classificação. Já os artigos posicionados em Q4 foram considerados de baixa pertinência ao tema e, portanto, excluídos da revisão. Esse procedimento permitiu uma filtragem mais criteriosa dos estudos, mantendo a coerência com as etapas definidas no protocolo (Figura 6).

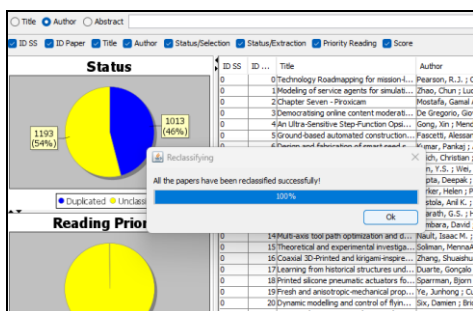
Figura 4. Primeira pontuação



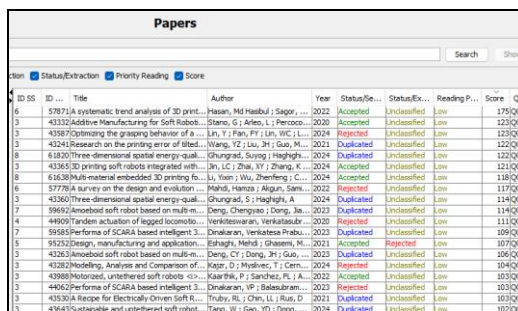
A) Revisar e ajustar critérios



B) Tela de Pontuação



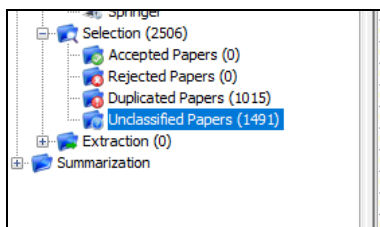
C) Tela de classificação dos artigos



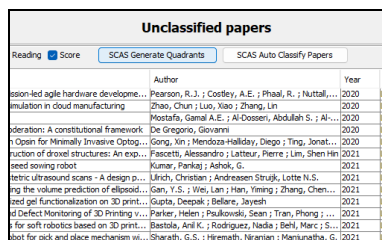
D) Artigos pontuados e classificados

Fonte: Próprio autor

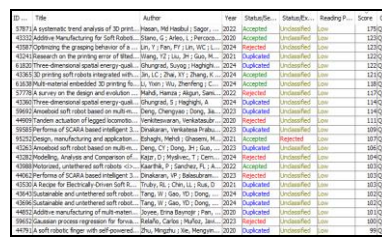
Figura 5. Gerar Quadrantes



A) Artigos não classificados



B) Gerar Quadrantes

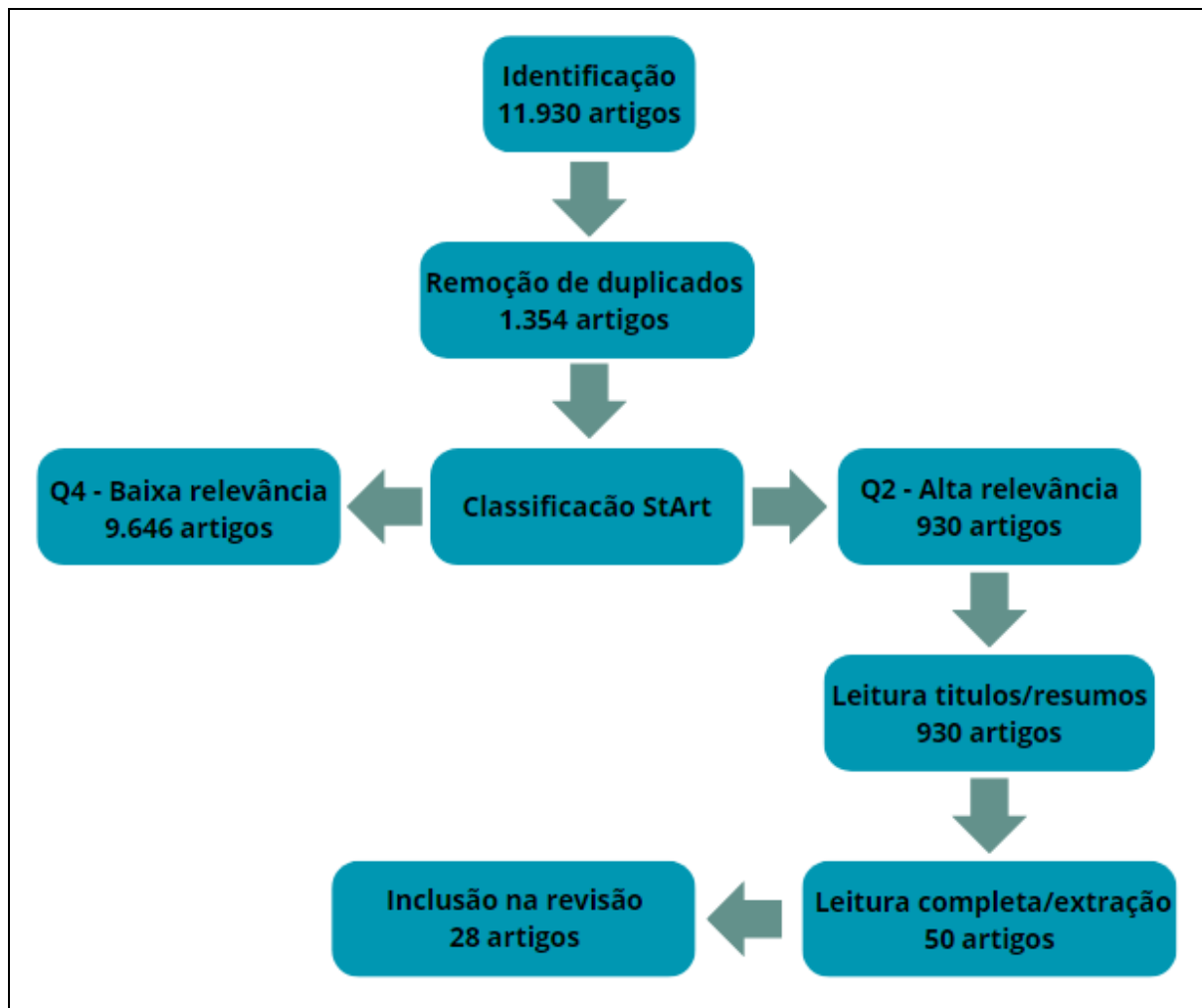


C) Classificação quadrantes

Fonte: Próprio autor



Figura 6. Classificação dos artigos para leitura final



Fonte: Próprio autor

#### 2.4. Análise de Palavras-chave e Ajustes na “*Keyword Analysis*”

Com os arquivos importados, o StArt realizou automaticamente uma análise das palavras-chave usando a ferramenta *Keyword Analysis* Análise de palavras-chave. Ela verifica quais termos aparecem com mais frequência nos títulos, resumos e palavras-chave dos artigos e compara com os termos da *string* original.

O StArt usa um código de cores para mostrar a relação das palavras com a *string* inicial. A cor verde é usada para verificar palavras idênticas (alta aderência), amarelo para semelhantes (possivelmente relevantes) e laranja para diferentes (baixa relevância). Com base nisso, foram adicionados termos recorrentes e a *string* foi atualizada dentro do protocolo (Figura 7).

[illegible]

### B) Realimentação do protocolo

## 2.5. Processo de Seleção dos Estudos

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

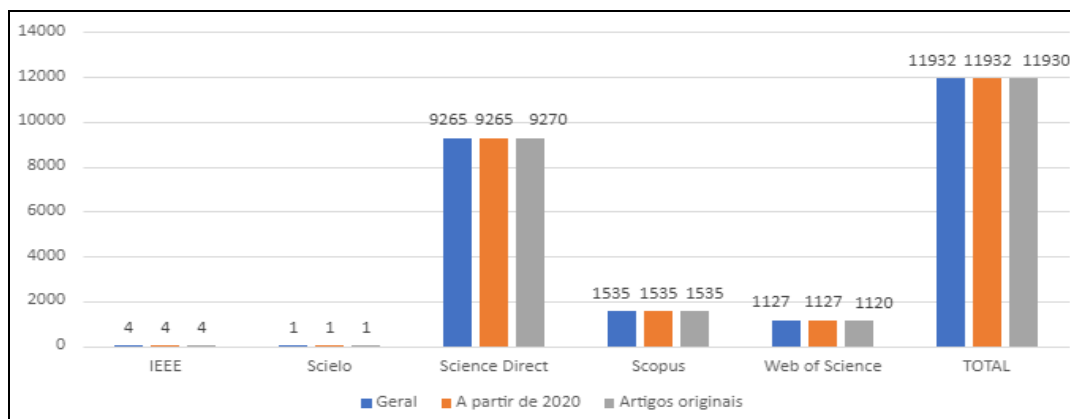
Na Figura 8A, observa-se a quantidade de artigos encontrados em cada base de dados. A ScienceDirect apresentou o maior número de publicações, possivelmente por reunir um amplo conjunto de periódicos voltados às áreas de engenharia e ciências aplicadas, que concentram a maior parte das pesquisas sobre impressão 3D e automação robótica. Em seguida aparecem as bases Scopus e Web of Science, enquanto a IEEE Xplore, embora especializada em tecnologia e engenharia, apresentou menor quantidade de artigos, o que pode estar relacionado a um foco mais voltado a aplicações eletrônicas e de controle, e não especificamente à manufatura aditiva.

Na Figura 8B, as publicações estão distribuídas ao longo do tempo. A linha verde representa o total de artigos publicados por ano, enquanto as barras mostram a quantidade de artigos encontrados em cada base de dados. Apesar da maioria dos estudos ser recente, alguns trabalhos mais antigos também surgiram nos resultados da busca, indicando que o tema já vem sendo explorado há algum tempo. No entanto, para esta revisão, foram considerados apenas os artigos publicados nos últimos cinco anos.

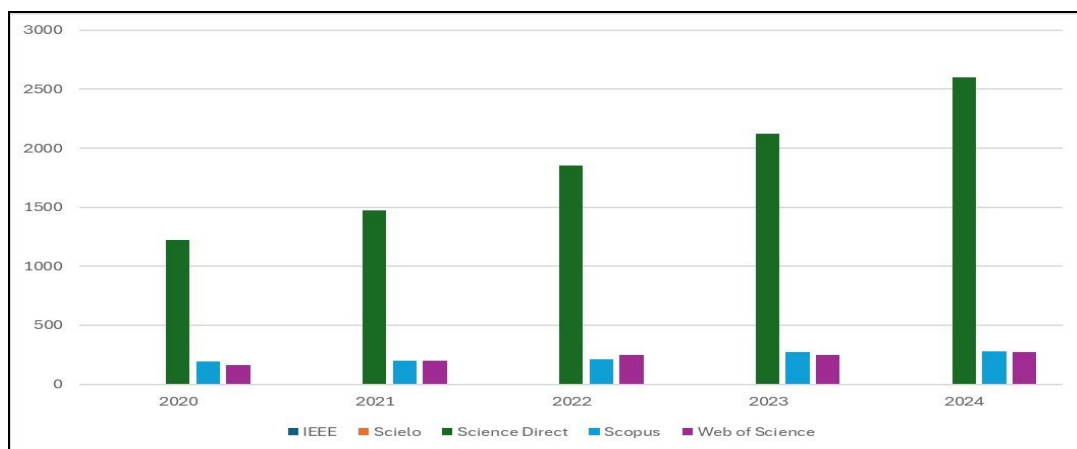
Além dos dados quantitativos, com todos os artigos importados no *software*, foi possível gerar uma nuvem das palavras presentes nos resumos dos artigos extraídos, presente na Figura 9. A nuvem de palavras gerada mostra que palavras como “*printing*”, “*3D*”, “*robot*”, “*design*”, “*system*”, “*materials*” e “*process*”, isso mostra que os estudos analisam não só a estruturas feitas com impressão 3D, mas também o funcionamento, os materiais usados, o desempenho e o modo de fabricação.

Outras palavras como “*sensors*”, “*control*” e “*energy*” também aparecem com frequência, o que indica que muitos trabalhos focam em integrar sensores e sistemas de controle nos projetos, além do desenvolvimento prático dos braços robóticos. Esses dados mostram que a impressão 3D vem sendo usada não só para criar a estrutura física dos robôs, mas também como parte importante no desenvolvimento completo de sistemas robóticos funcionais e acessíveis.

**Figura 8.** Distribuição dos artigos segundo as bases de dados



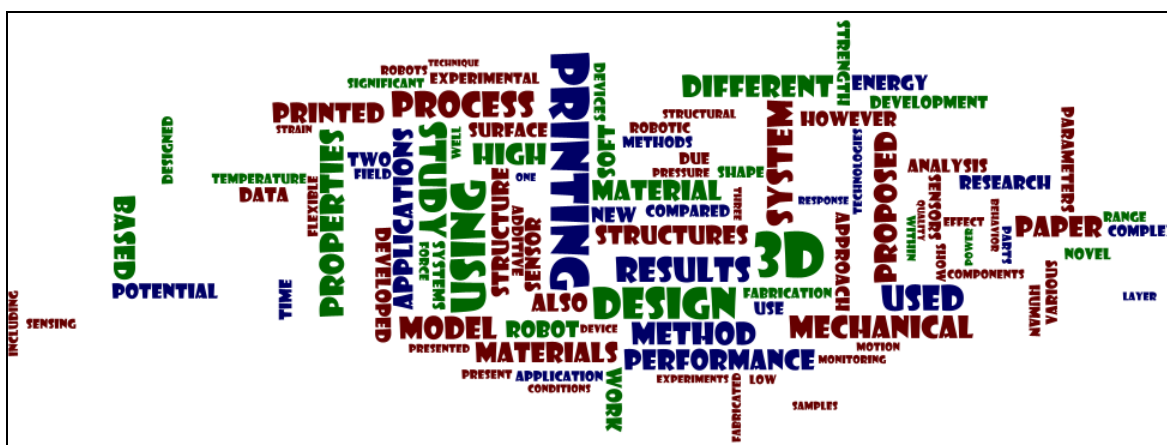
**A)** Distribuição dos artigos segundo as bases de dados



B) Quantidade de publicações durante os anos

Fonte: Próprio autor

Figura 9. Nuvem de palavras



Fonte: Próprio autor

Com a seleção dos 50 artigos restantes, foi feita a leitura para extração das informações importantes para a construção da pesquisa. Os dados foram organizados manualmente em um fichamento, com base nos campos definidos no protocolo. O fichamento foi feito com os 50 artigos restantes da filtragem do StArt, sendo utilizados apenas os 28 selecionados na discussão final. Durante a leitura, foram anotadas informações como referência completa, objetivo do estudo, métodos usados e principais resultados. Também foram identificados os tipos de impressoras 3D, filamentos e outros contextos de aplicação dos braços robóticos, como educação, indústria e pesquisa.

Quadro 2. Artigos selecionados para RSL

Título	Autor(es) e ano	Técnica de Impressão	Material Utilizado	Resultados
<i>A systematic trend analysis of 3D printing techniques used in specific soft robotic elements</i>	Hasan, Md Hasibul; Sagor, Jane Alam; Agarwala, Isheka (2022)	SLA, DLP, LCD, 2PP, CLIP, SLS, PolyJet, FDM, DIW	SMPs, hidrogéis condutores, TPE, TPU, resinas fotocuráveis, metais líquidos (EGaln)	Revisão de tendências e materiais para componentes de <i>soft robotics</i> eficientes
<i>Additive Manufacturing for Soft Robotics: Design and Fabrication of Airtight, Monolithic Bending PneuNets with Embedded Air Connectors</i>	Stano, G; Arleo, L; Percoco, G (2020)	FFF (Fusão de Filamento)	TPU 95A rígido, TPU 80A flexível	Atuadores pneumáticos herméticos com conectores de ar integrados, modelo <i>R-type</i> com melhor flexão
<i>Multi-material embedded 3D printing for one-step manufacturing of multifunctional components in soft robotics</i>	Li et al. (2024)	EMB3D (impressão embutida multimaterial)	Óleos de silicone (MP5000, MP450, MH180), resina vinil-MQ, sílica pirogênica	Estruturas complexas com sensores embutidos em uma etapa, sem moldes ou suportes
<i>Motorized, untethered soft robots via 3D printed auxetics</i>	Kaarthik et al. (2022)	Impressão 3D de resinas diversas	Rigid PU Black, Rigidform Charcoal, ABS Tough, HTM 140, Rigid PU White	Robô independente com pernas auxéticas, testes de estiramento e força máxima realizados
<i>Design and Applications of Soft Actuators Based on Digital Light Processing (DLP) 3D Printing</i>	Wan et al. (2023)	DLP; FDM para partes rígidas	Elastômero PU fotossensível Shore 40A, PLA	Atuadores macios (Soft Gripper, EBA, OBBA) testados e simulados em ANSYS, controle pneumático eficiente
<i>3D printing of soft sensors for soft gripper application</i>	Goh et al. (2022)	FDM, IJT, IJA	Polímeros flexíveis, silicone, PDMS, EGaln, nanopartículas condutoras	Sensores integrados em manipuladores para controle de força e presença de objetos



<i>3D printing non-assembly compliant joints for soft robotics</i>	Zolfagharian <i>et al.</i> (2022)	FDM	ABS, Nylon 645	Juntas conformáveis impressas, dedos robóticos bioinspirados, desempenho validado por Simulink® e sensores PASCOE
<i>3D Printing Soft Matters and Applications: A Review</i>	Zhan <i>et al.</i> (2022)	FDM, DIW, Inkjet, SLA, SLS	TPU, PCL, hidrogéis, elastômeros de silicone, polímeros fotocuráveis, nanocompósitos	Revisão sobre materiais e técnicas de impressão 3D para robótica flexível e bioinspirada
<i>A critical review on Classification of materials used in 3D printing process</i>	Ranjan <i>et al.</i> (2022)	Deposição em camadas	Metais, cerâmicos, polímeros, compósitos, concreto, biológicos	Revisão da classificação de materiais, propriedades e aplicações na impressão 3D
<i>Suitability of UR5 Robot for Robotic 3D Printing</i>	Pollák <i>et al.</i> (2024)	Robótica industrial + impressão 3D	Não se aplica (testes de precisão e conformidade)	O UR5 apresentou alta precisão e repetibilidade conforme a norma ISO 9283, demonstrando viabilidade para aplicações de impressão 3D com estabilidade e controle adequados
<i>Design and simulation of a wall-climbing robot car using 3D printing technology and the vacuum method</i>	Pham <i>et al.</i> (2023)	FDM	PLA	Robô escalador com rodas omnidirecionais e sistema de vácuo para aderência à parede
<i>Single-process 3D-printed stacked dielectric actuator</i>	Palmić & Slavič (2022)	Impressora E3D ToolChanger multimaterial	NinjaTek (eletrodos), TPU Trcek	Atuadores dielétricos empilhados impressos em um único processo, caracterização elétrica e mecânica
<i>Anisotropic Soft Robots Based on 3D Printed Meso-Structured Materials: Design, Modeling by Homogenization and Simulation</i>	Vanneste <i>et al.</i> (2020)	FFF	TPU NinjaFlex Shore 85A	Robôs macios anisotrópicos, modelagem e simulação FEM, propriedades mecânicas controladas
<i>HydraX, a 3D printed robotic arm for Hybrid</i>	Krimpenis <i>et al.</i> (2020)	FDM	PETG	Braço robótico híbrido de seis eixos, integração aditiva e subtrativa,

<i>Manufacturing. Part I: Custom Design, Manufacturing and Assembly</i>				precisão $\pm 0,04$ mm
<i>Design and validation of a 3D printed vertical climbing robot for curved surface</i>	Parween et al. (2022)	FDM (PLA), MJF (Nylon), SLA	PLA, Nylon, TPU, resina	Robô Ibex modular para escalada vertical, adesão e estabilidade validadas
<i>3D Printing Graphene Oxide Soft Robotics</i>	Zhou et al. (2022)	DIW em moldes ABS (FDM)	Óxido de grafeno (GO)	Robô em “U” sensível à umidade, dobrável e móvel autonomamente
<i>3D printing of soft grippers with multimaterial design: Towards shape conformance and tunable rigidity</i>	Yeong et al. (2022)	FDM, SLA, DLP, Inkjet, SLS	SMA, SMPs, MRFs, LMPAs, TPEs, ABS, poliuretano, PLA	Garras macias com rigidez ajustável e conformidade de forma aprimorada
<i>3D printing – A review of processes, materials and applications in industry 4.0</i>	Jandyal et al. (2022)	FDM, SLA, SLS, DLP, SLM, EBM	PLA, ABS, PETG, Nylon 12, compósitos, metais, cerâmicas, biomateriais, alimentos	Revisão de processos, materiais e aplicações da impressão 3D na Indústria 4.0
<i>Design for 3D Printing of a Robotic Arm Tool Changer under the framework of Industry 5.0</i>	Mourtzis et al. (2022)	FDM	PLA, aço DC53	Sistema automático de troca de ferramentas para UR10, validado em testes estruturais
<i>Additive manufacturing materials, methods and applications: A review</i>	Bhatia & Sehgal (2023)	FDM, SLA, DLP, SLS, SLM, EBM	ABS, PLA, PEEK, metais, biomateriais, compósitos, cerâmicas	Revisão sobre materiais e métodos em manufatura aditiva, aplicações em vários setores
<i>Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges</i>	Kharat et al. (2023)	FDM, SLA, SLS, SLM	PLA, ABS, Nylon, metais, cerâmicas, compósitos, biotintas	Revisão completa sobre impressão 3D, materiais, métodos, aplicações e desafios
<i>Robotic arm three-dimensional</i>	Leong et al. (2023)	Braço robótico + extrusor de	ABS, aço	Fachada artística em treliça modular, otimização de trajetória e



<i>printing and modular construction of a meter-scale lattice facade structure</i>		pellets		resistência mecânica
<i>Additive manufacturing technologies: Industrial and medical applications</i>	Rouf <i>et al.</i> (2022)	Binder Jetting, FDM	Metais, ligas, PLA, ABS, PA12, PEEK, cerâmicas, compósitos	Revisão de aplicações industriais e médicas, vantagens de personalização e redução de resíduos
<i>3D printed robotic arm with elements of artificial intelligence</i>	Siemasz <i>et al.</i> (2020)	FDM	PLA, ABS, PET-G, PA-12, HIPS, ASA	Braço robótico de baixo custo com 6 DOF, controlado por IA e sensores integrados
<i>3D printing of composite materials: A short review</i>	Sai Saran <i>et al.</i> (2022)	FDM, DIW, DED, Inkjet	PLA, ABS, Nylon, PEEK, epóxi, fibras de carbono, vidro, Kevlar, grafeno, óxido de grafeno	Revisão sobre impressão 3D de compósitos, processos e desafios
<i>3D Printing Materials for Soft Robotics</i>	Sachyani Keneth <i>et al.</i> (2021)	FDM, DIW, SLA, PolyJet	PDMS, poliamidas, poliuretanos, hidrogéis, SMPs, nanotubos de carbono	Robôs flexíveis e bioinspirados, materiais e métodos analisados, integração eletrônica
<i>Design considerations for 3D printed, soft, multimaterial resistive sensors for soft robotics</i>	Shih <i>et al.</i> (2019)	PolyJet	TangoPlus FLX930, TangoBlackPlus FLX980, VeroClear RGD810, Support705	Sensores resistivos flexíveis integrados em garra pneumática
<i>Inexpensive monolithic additive manufacturing of silicone structures for bio-inspired soft robotic systems</i>	Ovy <i>et al.</i> , (2023)	Extrusão de material (MEX)	Silicone Ecoflex 00-10; molas com memória de forma (SMA)	Permite fabricar estruturas complexas com movimentos bioinspirados, eliminando etapas de montagem manual, com eficiência e funcionalidade

Fonte: Próprio autor

### 3.1. Análise comparativa

A análise comparativa dos 28 estudos permitiu identificar padrões e distinções relevantes quanto aos objetivos, materiais e técnicas de impressão 3D aplicadas à robótica. Observou-se que parte significativa das pesquisas se concentrou na fabricação de componentes específicos, como



sensores, garras e estruturas flexíveis, enquanto um número menor abordou a construção de braços robóticos completos, evidenciando uma fragmentação temática semelhante à identificada nas considerações finais.

Entre as técnicas de manufatura aditiva, a Modelagem por Deposição Fundida (FDM) destacou-se como a mais recorrente, especialmente em trabalhos que utilizaram polímeros termoplásticos. Essa preferência se deve à acessibilidade do método, à facilidade de operação e à compatibilidade com materiais amplamente disponíveis. A Estereolitografia (SLA), a Direct Ink Writing (DIW) e a PolyJet também foram aplicadas, sobretudo em pesquisas voltadas à robótica flexível e à integração de múltiplos materiais.

Quanto aos materiais empregados, predominam o PLA e o ABS, selecionados por sua estabilidade dimensional, baixo custo e bom desempenho em prototipagem. O TPU aparece em alguns estudos como alternativa flexível, permitindo maior adaptabilidade mecânica em componentes móveis. Além disso, observou-se o uso crescente de silicones e elastômeros em projetos de robótica macia, direcionados à imitação de movimentos biológicos e ao desenvolvimento de dispositivos sensoriais embutidos.

De modo geral, os resultados evidenciam avanços significativos na aplicabilidade da impressão 3D para sistemas robóticos, ainda que grande parte dos trabalhos mantenha foco experimental. A diversidade dos métodos reflete o estágio de amadurecimento do campo, que segue evoluindo em direção à integração de materiais, sensores e atuadores em projetos funcionais, reforçando a importância de novas abordagens comparativas e interdisciplinares.

#### **4. CONSIDERAÇÕES**

A análise dos 28 artigos selecionados evidenciou que a impressão 3D vem se consolidando como uma tecnologia relevante na área da robótica, especialmente pela possibilidade de personalização e pela redução de custos de prototipagem. Contudo, observa-se que a maioria dos estudos aborda componentes isolados, como garras, juntas ou suportes em vez da fabricação de braços robóticos completos, o que reforça a pertinência e originalidade desta revisão.

Os trabalhos analisados demonstraram grande diversidade quanto aos materiais utilizados e aos tipos de impressoras 3D empregados. Destacam-se os polímeros, principalmente PLA e ABS, pela facilidade de impressão, disponibilidade e baixo custo. Essa predominância revela uma tendência de aplicação em contextos educacionais e experimentais, nos quais a prototipagem rápida é essencial. Parte dos estudos também explora propriedades mecânicas e tratamentos térmicos, com o objetivo de aprimorar a resistência e a durabilidade das peças, o que indica um avanço no entendimento sobre a adequação dos materiais à robótica funcional.

Ainda que alguns trabalhos abordem a integração de sensores e sistemas de controle, essas abordagens são pontuais e carecem de padronização metodológica, o que dificulta comparações e generalizações. Assim, a literatura atual revela um campo promissor, mas ainda fragmentado, quanto à aplicação de materiais específicos para a construção de braços robóticos completos por manufatura aditiva.

Esta revisão contribui para consolidar o estado da arte sobre o tema, identificando tendências, desafios e lacunas de pesquisa. Recomenda-se que futuros estudos ampliem as análises comparativas de materiais e avaliem aspectos de desempenho estrutural e funcional em projetos integrados. Dessa forma, o presente trabalho oferece uma base sólida para o avanço de pesquisas voltadas à seleção e otimização de materiais para impressão 3D aplicada à robótica, promovendo maior integração entre inovação tecnológica e desenvolvimento educacional e industrial.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à PROPe (Pró-Reitoria de Pesquisa) da UNESP (Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho") pelo apoio ao projeto no PIBIC (Programa Institucional de Iniciação Científica) – ICSB (Iniciação Científica sem Bolsa).

## REFERÊNCIAS

- BARŠI PALMIĆ, Tibor; SLAVIČ, Janko. 3D printed stacked dielectric actuator in a single process. **Mechanical Sciences**, [s. l.], v. 230, p. 1–14, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.iimecs.2022.107555>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0020740322004489>. Acesso em: 6 mar. 2025.
- BHATIA, Akash; SEHGAL, Anuj Kumar. Additive manufacturing materials, methods and applications: a review. **Materials Today: Proceedings**, [s. l.], v. 81, n. 3, p. 1060–1067, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.04.379>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214785321032995>. Acesso em: 15 mar. 2025.
- Goh, Guo Liang; Yeong, Wai Yee; Altherr, Jannick; Tan, Jingyuan; Campolo, Domenico. 3D printing of soft sensors for soft gripper applications. **Materials Today: Proceedings**, [s. l.], v. 70, p. 224–229, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.09.025>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785322058187>. Acesso em: 25 fev. 2025.
- HASAN, Md Hasibul; SAGOR, Jane Alam; AGARWALA, Isheka. A systematic analysis of 3D printing techniques used in specific soft robotic elements. **Materials Today: Proceedings**, [s. l.], v. 50, p. 1088–1099, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.07.468>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785321053347>. Acesso em: 21 fev. 2025.
- JANDYAL, Anketa; CHATURVEDI, Ikshita; WAZIR, Ishika; RAINA, Ankush; UL HAQ, Mir Irfan. 3D printing: a review of processes, materials and applications in Industry 4.0. **Sustainable Operations and Computers**, [s. l.], v. 3, p. 33–42, 2022. DOI:



<https://doi.org/10.1016/j.susoc.2021.09.004>. Disponível em:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666412721000441>. Acesso em: 15 mar. 2025.

KAARTHNIK, P.; SANCHEZ, F. L.; AVTGES, J.; TRUBY, R. L. Motorized, untethered soft robots via 3D printed auxetics. **Soft Matter**, [s. l.], v. 18, n. 43, p. 1–13, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1039/D2SM00779G>. Disponível em:  
<https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2022/sm/d2sm00779g>. Acesso em: 24 fev. 2025.

KENETH, Ela Sachyani; KAMYSHNY, Alexandre; TOTARO, Massimo; BECCAI, Lúcia; MAGDASSI, Shlomo. 3D printing materials for soft robotics. **Advanced Materials**, [s. l.], v. 33, n. 19, p. 1–17, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1002/adma.202003387>. Disponível em:  
<https://advanced.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/adma.202003387>. Acesso em: 28 mar. 2025.

KHARAT, Vilas J.; SINGH, Puran; RAJU, G. Sharath; YADAV, Dinesh Kumar; GUPTA, M. Satyanarayana; ARUN, Vanya; MAJEED, Ali Hussein; SINGH, Navdeep. *Additive manufacturing (3D printing): a review of materials, methods, applications and challenges*. **Materials Today: Proceedings**, [s. l.], p. 1–9, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.11.033>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785323051027>. Acesso em: 15 mar. 2025.

KRIMPENIS, Agathoklis; PAPAPASCHOS, Vasileios; BONTARENKO, Evgenios. HydraX: a 3D printed robotic arm for hybrid manufacturing. Part I: customized design, fabrication and assembly. **Procedia Manufacturing**, [s. l.], v. 51, p. 103–108, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.016>. Disponível em:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978920318710>. Acesso em: 11 mar. 2025.

LEONG, Zee; CHEN, Rongsheng; XU, Zijie; LIN, Yangsheng; HU, Nan. Robotic arm-based 3D printing and modular construction of a metric-scale lattice façade structure. **Engineering Structures**, [s. l.], v. 290, p. 1–12, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2023.116368>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141029623007836>. Acesso em: 15 mar. 2025.

LI, Yixin; WU, Zhenfeng; CHEN, Yufeng; XIAN, Shuai; HONG, Zicun; WANG, Qixin; JIANG, Pei; YU, Haoyong; ZHONG, Yong. Multi-material embedded 3D printing for one-step manufacturing of multifunctional components in soft robotics. **Additive Manufacturing**, [s. l.], v. 85, p. 1–11, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.addma.2024.104178>. Disponível em:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214860424002240>. Acesso em: 23 fev. 2025.

MOURTZIS, Dimitris; ANGELOPOULOS, John; PAPADOKOSTAKIS, Michalis; PANOPOULOS, Nikos. Design for 3D printing of a robotic arm tool changer in the context of Industry 5.0. **Procedia CIRP**, [s. l.], v. 115, p. 178–183, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.10.070>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827122015050>. Acesso em: 15 mar. 2025.

OVY, S. M. Al Islam; STANO, Gianni; PERCOCO, Gianluca; CIANCHETTI, Matteo; TADESSE, Yonas. Inexpensive monolithic additive manufacturing of silicone structures for bio-inspired soft robotic systems. **Engineering Research Express**, [s. l.], v. 5, p. 1–16, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1088/2631-8695/acb587>. Disponível em:  
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2631-8695/acb587/meta>. Acesso em: 26 fev. 2025.

OVY, S. M. Al Islam; STANO, Gianni; PERCOCO, Gianluca; CIANCHETTI, Matteo; TADESSE, Yonas. Inexpensive monolithic additive manufacturing of silicone structures for bio-inspired soft robotic systems. **Engineering Research Express**, [s. l.], v. 5, p. 1–16, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1088/2631-8695/acb587>. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2631-8695/acb587/meta>. Acesso em: 26 fev. 2025.

PARWEEN, Rizuwana; YEH WEN, Tan; RAJESH ELARA, Mohan. Design and validation of a 3D-printed vertical climbing robot for curved surfaces. **Materials Today: Proceedings**, [s. l.], v. 70, p. 666–672, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.10.067>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214785322065609>. Acesso em: 12 mar. 2025.

PHAM, Viet-Hung; NGUYEN, Hoa-Cuc; NGUYEN, ND; MACH, B.N; NGUYEN, T.Q. Design and simulation of a wall-climbing robot using 3D printing technology and vacuum method. **Advances in Mechanical Engineering**, [s. l.], v. 15, n. 7, p. 1–15, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1177/16878132231186277>. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/16878132231186277>. Acesso em: 3 mar. 2025.

POLLÁK, Martin; KOČIŠKO, Marek; GROZAV, Sorin D.; CECLAN, Vasile; BOGDAN, Alexandru D. Suitability of the UR5 robot for robotic 3D printing. **Applied Sciences**, [s. l.], v. 14, n. 21, p. 1–19, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/app14219845>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3417/14/21/9845>. Acesso em: 28 fev. 2025.

PRAVEENA, B. A.; LOKESH, N.; BURADI, Abdulrajak; SANTHOSH, N.; PRAVEENA, B. L.; VIGNESH, R. An exhaustive review on emerging additive manufacturing (3D printing) technology: methods, materials, applications, challenges, trends and future potential. **Materials Today: Proceedings**, [s. l.], v. 52, n. 3, p. 1309–1313, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.11.059>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785321070632>. Acesso em: 12 mar. 2025.

RANJAN, Rajeev; KUMAR, Deepak; KUNDU, Manoj; MOI, Subhash Chandra. A critical review on classification of materials used in 3D printing process. **Materials Today: Proceedings**, [s. l.], v. 61, n. 1, p. 43–49, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.03.308>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785322016492>. Acesso em: 28 fev. 2025.

ROUF, Saquib; MALIK, Abrar; SINGH, Navdeep; RAINA, Ankush; NAVEED, Nida; SIDDIQUI, Md Irfanul Haque; UL HAQ, Mir Irfan. Additive manufacturing technologies: industrial and medical applications. **Sustainable Operations and Computers**, [s. l.], v. 3, p. 258–274, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.susoc.2022.05.001>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666412722000125>. Acesso em: 20 mar. 2025.

SARAN, O. S.; REDDY, U. P.; CHATURYA, L.; KUMAR, M. P. 3D printing of composite materials: a brief review. **Materials Today: Proceedings**, [s. l.], v. 64, p. 615–619, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.05.144>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785322034241>. Acesso em: 25 mar. 2025.

SIEMASZ, Rafael; TOMCZUK, Krzysztof; MALECHA, Ziemowit. 3D printed robotic arm with artificial intelligence elements. **Procedia Computer Science**, [s. l.], v. 176, p. 3741–3750, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.09.013>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050920319049>. Acesso em: 21 mar. 2025.

STANO, Gianni; ARLEO, Luca; PERCOCO, Gianluca. Additive manufacturing for soft robotics: design and fabrication of sealed monolithic bending PneuNets with integrated air connectors.

**Micromachines**, [s. l.], v. 11, n. 5, p. 1–18, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/mi11050485>.

Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-666X/11/5/485>. Acesso em: 21 fev. 2025.

VANNESTE, Félix; GOURY, Olivier; MARTÍNEZ, Jonàs; LEFEBVRE, Sylvain; DELINGETTE, Hervé; DURIEZ, Christian. 3D-printed mesostructured-material-based anisotropic soft robots: design, homogenization modeling and simulation. **IEEE Robotics and Automation Letters**, [s. l.], v. 5, n. 2, p. 2380–2386, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1109/LRA.2020.2969926>. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8972411>. Acesso em: 11 mar. 2025.

WAN, Jingjing; SUN, Lechen; DU, Tianhao. Design and applications of soft actuators based on 3D printing by digital light processing (DLP). **IEEE Access**, [s. l.], v. 11, p. 1–16, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3302920>. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10210379/>. Acesso em: 24 fev. 2025.

YEONG, Wai Yee; GOH, Guo Liang; GOH, Guo Dong; LEE, Samuel; ALTHERR, Jannick; TAN, Jingyuan; CAMPOLO, Domenico. 3D printing of soft grippers with multimaterial design: toward shape conformity and tunable stiffness. **Materials Today: Proceedings**, [s. l.], v. 70, p. 525–530, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.09.552>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785322063921>. Acesso em: 14 mar. 2025.

ZHAN, Shuai; GUO, Amy X. Y.; CAO, Shan Cecilia; LIU, Na. 3D printing of soft materials and their applications: a review. **International Journal of Molecular Sciences**, [s. l.], v. 23, n. 7, p. 1–13, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms23073790>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1422-0067/23/7/3790>. Acesso em: 28 fev. 2025.

ZHOU, Guo-Xiang; YU, Yan-Ge; YANG, Zhi-Hua; JIA, De-Chang; POULIN, Philippe; ZHOU, Yu; ZHONG, Jing. 3D printing of soft robotics with graphene oxide. **ACS Nano**, [s. l.], v. 16, p. 3664–3673, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1021/acsnano.1c06823>. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsnano.1c06823>. Acesso em: 13 mar. 2025.

ZOLFAGHARIAN, Ali; LAKHI, Mohammad; RANJBAR, Sadegh; TADESSE, Yonas; BODAGHI, Mahdi. 3D printing of non-assembly joints for soft robotics. **Results in Engineering**, [s. l.], v. 15, p. 1–10, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100558>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590123022002286>. Acesso em: 27 fev. 2025.