



De 11 a 14 - NOVEMBRO DE 2024

**Inteligência Artificial
na Gestão de Operações:
Limitações e possibilidades**

 **XXXI SIMPEP**
www.simpep.feb.unesp.br

UTILIZAÇÃO DE OBJETOS DE APRENDIZAGEM NO ENSINO DA MANUFATURA ADITIVA NA ERA DA INDÚSTRIA 4.0

1º DAVI DE ALBUQUERQUE GOMES – daviaalbuquerquegomes@gmail.com
UNIVERSIDADE PAULISTA- UNIP

2º JOEL PORTO ALVES – joelp_alves@hotmail.com
UNIVERSIDADE PAULISTA- UNIP

3º LEANDRO CIGANO DE SOUZA THOMAS – leandrocst91@gmail.com
UNIVERSIDADE PAULISTA- UNIP

4º MARCOS DONIZETE DE SOUSA – marcos.sousa38@etec.sp.gov.br
ESCOLA TÉCNICA ESTADUAL/SP- ETEC

5º RODRIGO FRANCO GONÇALVES – rofranco212@gmail.com
UNIVERSIDADE PAULISTA- UNIP

ÁREA: Nº - 10. EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO)

SUBÁREA: Nº - 10.1 - ESTUDO DA FORMAÇÃO DO ENGENHEIRO DE PRODUÇÃO)

RESUMO: ALIMENTADA POR DEMANDAS DE MERCADOS GLOBAIS E DE CONSUMIDORES AINDA MAIS CRÍTICOS, A INDÚSTRIA 4.0 ESTÁ INTRODUZINDO MUDANÇAS SIGNIFICATIVAS NOS MODELOS DE PRODUÇÃO INDUSTRIAL E DE SERVIÇOS, AO INTEGRAR TECNOLOGIAS DISRUPTIVAS, COMO A INTERNET DAS COISAS (IOT), INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL (IA), BIG DATA E AUTOMAÇÃO. ANALISANDO A QUESTÃO, A MANUFATURA ADITIVA, TAMBÉM CONHECIDA COMO IMPRESSÃO 3D, EMERGE COMO UMA FERRAMENTA PODEROSA PARA PROMOVER A INOVAÇÃO, FLEXIBILIDADE E EFICIÊNCIA NOS PROCESSOS DE FABRICAÇÃO. UTILIZANDO UMA METODOLOGIA DE REVISÃO SISTEMÁTICA E BIBLIOMÉTRICA FOI IDENTIFICADA QUE A IMPRESSÃO 3D É OBJETO CENTRAL NOS ESTUDOS ANALISADOS, MAS QUE EXISTE ESCASSEZ DE LITERATURA SOBRE AS METODOLOGIAS ATIVAS, COMO OS OBJETOS DE APRENDIZAGEM, COMPONENTES INSTRUÇÃOIS QUE PODEM SER REUSADOS PARA APOIAR A APRENDIZAGEM INTERATIVA E QUE PODEM FACILITAR O DESENVOLVIMENTO DE HABILIDADES ESPECÍFICAS DOS PROFISSIONAIS DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. ESTE ARTIGO DESTACA O PAPEL DOS OBJETOS DE APRENDIZAGEM NO ENSINO APRENDIZAGEM DA MANUFATURA ADITIVA NA ERA DA INDÚSTRIA 4.0, DESTACANDO SUAS APLICAÇÕES, BENEFÍCIOS E DESAFIOS APLICADOS AO ENSINO DE ENGENHEIROS DE PRODUÇÃO.

PALAVRAS-CHAVES: OBJETOS DE APRENDIZAGEM; MANUFATURA ADITIVA;
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO; INDÚSTRIA 4.0.

1. INTRODUÇÃO

A manufatura como um todo vivencia uma nova era desde o advento da Indústria 4.0. De acordo com Bonilla et al (2018), a Indústria 4.0 emerge da combinação da disponibilidade de tecnologia digital avançada com a crescente demanda dos consumidores por produtos personalizados e de alta qualidade, caracterizada pela digitalização, automação e interconexão de sistemas. Tecnologias como *IoT*, *IA* e *Big Data* estão impulsionando a criação de fábricas inteligentes e sistemas de produção altamente eficientes. Segundo Zhong, Xu, Klotz e Newman (2017), a Indústria 4.0 pode aumentar a flexibilidade das indústrias, a customização em massa, aprimorar a qualidade e a produtividade, melhorar a qualidade e diminuir o tempo de comercialização. Neste cenário, a Impressão 3D surge como uma tecnologia que redefine os processos de fabricação, o que a torna indispensável na formação de engenharia de produção.

Paralelamente à criação de tecnologias inovadoras e sua implementação nas escolas ao redor do mundo tem gerado diversas transformações nas abordagens e nos formatos educacionais (PALOS-SANCHEZ, 2024). Dentro desse cenário os Objetos de Aprendizagem (OA), descrito por Audino e Nascimento (2010), como qualquer recurso digital que possa ser reaproveitado para auxiliar no processo de ensino, tem transformado a educação industrial oferecendo recursos digitais interativos que facilitam o aprendizado e o desenvolvimento de habilidades dos profissionais de engenharia. Para Blanc (2012), esta inovação está centrada na produção de objetos de aprendizagem pelos próprios alunos, utilizando uma metodologiaativa para incentivar o autoestudo e melhorar a assimilação do conhecimento.

O presente artigo tem como objetivo identificar como OA podem ser utilizados para o ensino de impressão 3D no contexto da formação de profissionais para Indústria 4.0. Para tal, realiza-se uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) para responder à questão específica de pesquisa: "Como os objetos de aprendizagem têm sido utilizados para facilitar o ensino e aprendizagem de impressão 3D para engenheiros de produção no contexto da Indústria 4.0?" Está estruturado da seguinte forma: após a introdução, uma seção de Revisão da Literatura, descrevendo os conceitos da Indústria 4.0, da Manufatura Aditiva ou Impressão 3D, e dos Objetos de Aprendizagem, a terceira seção descreve a aplicação da metodologia de Revisão Sistemática da Literatura e a análise textual gerada por meio do Software VOSviewer versão 1.6.19, os resultados identificados a partir das análises, discutidos com base na aplicação da metodologia e na seção 4 são apresentadas as principais conclusões atingidas.

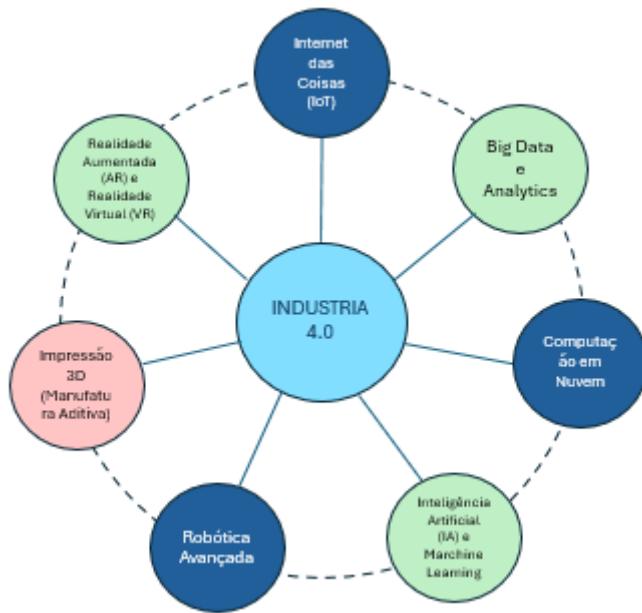
2. Fundamentação teórica

A necessidade de atender mercados globais cada vez mais competitivos e consumidores mais informados e mais exigentes causaram transformações inovadoras e potenciais oportunidades nas áreas industriais, tecnológicas e na educação (LATILLA, 2021).

2.1 O Impacto transformador da indústria 4.0: uma perspectiva tecnológica

A Indústria 4.0 inicia uma era que está redefinindo os paradigmas de produção e gestão em diversas áreas econômicas, associando tecnologias, tais como: *Inteligência artificial, Computação em nuvem, Big Data, Cybersegurança, Internet das coisas, Robótica avançada, Manufatura digital, Manufatura aditiva, Integração de sistemas, Sistemas de simulação e Digitalização*, conforme demonstra a Figura 1, convergindo para criar sistemas produtivos altamente eficientes e adaptáveis (DA SILVA, 2022).

FIGURA 1- Algumas das tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0.



Fonte: Autores (2024).

Para Klaus Schwab, a Indústria 4.0 configura "uma revolução tecnológica que modificará substancialmente a forma como vivemos, trabalhamos e nos relacionamos" diz Schwab (2016), demonstrando não só uma mudança tecnológica, mas também a expectativa de uma intensa mudança cultural, econômica e social em andamento. Segundo a consultoria McKinsey, Hagemann (2018), a implementação dessas tecnologias pode gerar ganhos de

produtividade de até 30% em diversos setores industriais nos próximos anos e se acredita que responda pela geração de novos negócios e empregos, inovação em escala global e estímulo ao crescimento econômico.

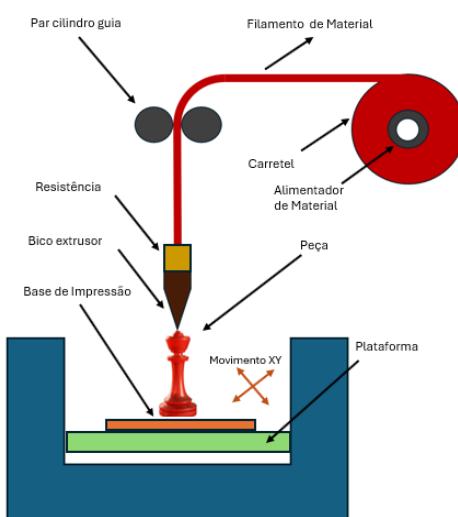
Todavia para a implementação de sucesso das tecnologias da Indústria 4.0 é fundamental trabalhadores altamente qualificados, Vilalta-Perdomo (2022), e essa transformação traz desafios, como a exigência de que os trabalhadores das áreas envolvidas pela automatização desenvolvam competências que atendam aos requisitos impostos pelas seções produtivas para acompanharem os avanços tecnológicos (DA SILVA, 2022).

Sobre a manufatura aditiva Inácio (2020) chama a atenção para o potencial de desenvolvimento e fabricação de ferramentas mais rápido, mais eficaz e mais flexível, ressaltando a relevância desta tecnologia nesta nova era associada à Indústria 4.0.

2.2 A impressão 3d na indústria 4.0: uma força transformadora

Na era da Indústria 4.0 diversos setores industriais têm seus produtos projetados e produzidos através da tecnologia de Impressão 3D, também conhecida como Manufatura Aditiva (AM), processo originalmente produzido usando um sistema 3D *Computer-Aided Design* (CAD) é descrita por Wibawa (2021) como uma montagem de materiais para criar objetos ou estruturas a partir de modelos tridimensionais, geralmente camada por camada, em oposição aos métodos tradicionais de produção com redução, conforme detalhado na Figura 2:

FIGURA 2 – Diagrama do processo de impressão 3D.



Fonte: Autores (2024).

Os modelos tridimensionais criados por impressão 3D reduzem o tempo de design e desenvolvimento, aumentar a colaboração entre várias partes, e resolvem problemas que surgem entre o mundo da engenharia e do design, Jordan (2018 apud Wibawa, 2021), oferecendo, assim, vantagens para diversas áreas da indústria em termos de prototipagem rápida, redução de custos, customização e tempo de desenvolvimento de produtos.

Numa era digitalizada é essencial para profissionais de engenharia de produção, estarem atentos as necessidades da indústria moderna, Novak (2018 apud Wibawa, 2021), destaca o potencial, da Impressão 3D, para a aplicação da ciência conhecimento em sala de aula e envolvimento em práticas de engenharia”. Proporciona aos alunos a oportunidade de explorar a relação entre engenharia, tecnologia e aplicação de conceitos científicos, e funcionam como estratégias de ensino inovadoras e eficazes na apresentação de conceitos de engenharia, melhorando a sua atitude conclusiva em relação ao ensino de ciências (HORVATH, 2018 apud WIBAWA, 2021).

Assim sendo, Chen, Chang (2018), esclarece que inovações tecnológicas, explorando soluções que utilizam materiais misturados, prometem custos mais baixos, maior resistência e designs mais limpos, aprimoramento de processos de fabricação pode ser aplicados por profissionais de engenheiro de produção que compreenderem esses princípios. E os alunos de programas de engenharia que já aprenderam CAD têm um bom começo.

2.3 Objetos de aprendizagem: ampliando o potencial da indústria 4.0

A introdução da Industria 4.0 nos processos produtivos, afirma Gorkhali (2022), se depara com o paradigma de integrar o operador humano no sistema industrial, ampliando suas habilidades e proporcionando um ambiente de trabalho colaborativo, redefinindo a interfaces homem-máquina. Os Objetos de aprendizagem são, segundo Blanc (2012), recursos digitais geralmente criados por instrutores ou especialistas como ferramentas de apoio ao ensino e devem estar alinhados com os objetivos educacionais. Também conhecida como Objetos de Conteúdo, Objetos Educacionais, Objetos de Informação, Objetos de Inteligência, Componentes de Aprendizagem e Objetos de Mídia fornecem experiências interativas para um aprendizado personalizado (ARTHA, 2021).

Sobre OAs, Balacheff (2000 apud Rosito, 2020) afirma a “necessidade de construções e de transformações para que os recursos presentes nos processos industriais possam ser considerados objetos de aprendizagem”, assim a Impressão 3D, umas das tecnologias

facilitadoras da Indústria 4.0, foi introduzida no ensino como importante estratégia para o aprendizado de conceitos complexos de fabricação e designer.

O professor de Psicologia e Tecnologia da Informação na Universidade Brigham Young David Wiley (2000) define Objetos de Aprendizagem com "[...] são recursos digitais que podem ser reutilizados para apoiar a aprendizagem". Os OAs permitem que profissionais de engenharia de produção vivenciem conceitos baseado em conteúdo educacional, tanto práticos como teóricos, de forma acessível e interativa. Também, existe uma compreensão mais profunda com todas as vantagens da tecnologia de impressão 3D gerando uma aprendizagem mais significativa da concepção, criação, experimentação e exploração de ferramentas tecnológicas, permitindo o desenvolvimento da fabricação aditiva, com instrumentos que incentivam a experimentação (CHEN, CHANG, 2018).

A pesquisa dirigida por Yang, Chen e Chen (2018) revelou que a utilização de Objetos de Aprendizagens no aprendizado de Impressão 3D demonstrou-se positivo na satisfação com o processo de aprendizagem e desempenho dos estudantes. E segundo relatos dos pesquisados, o desenvolvimento das habilidades práticas mostrou-se de forma mais eficaz que as metodologias de ensino tradicionais e auxiliou na consolidação dos conceitos teóricos.

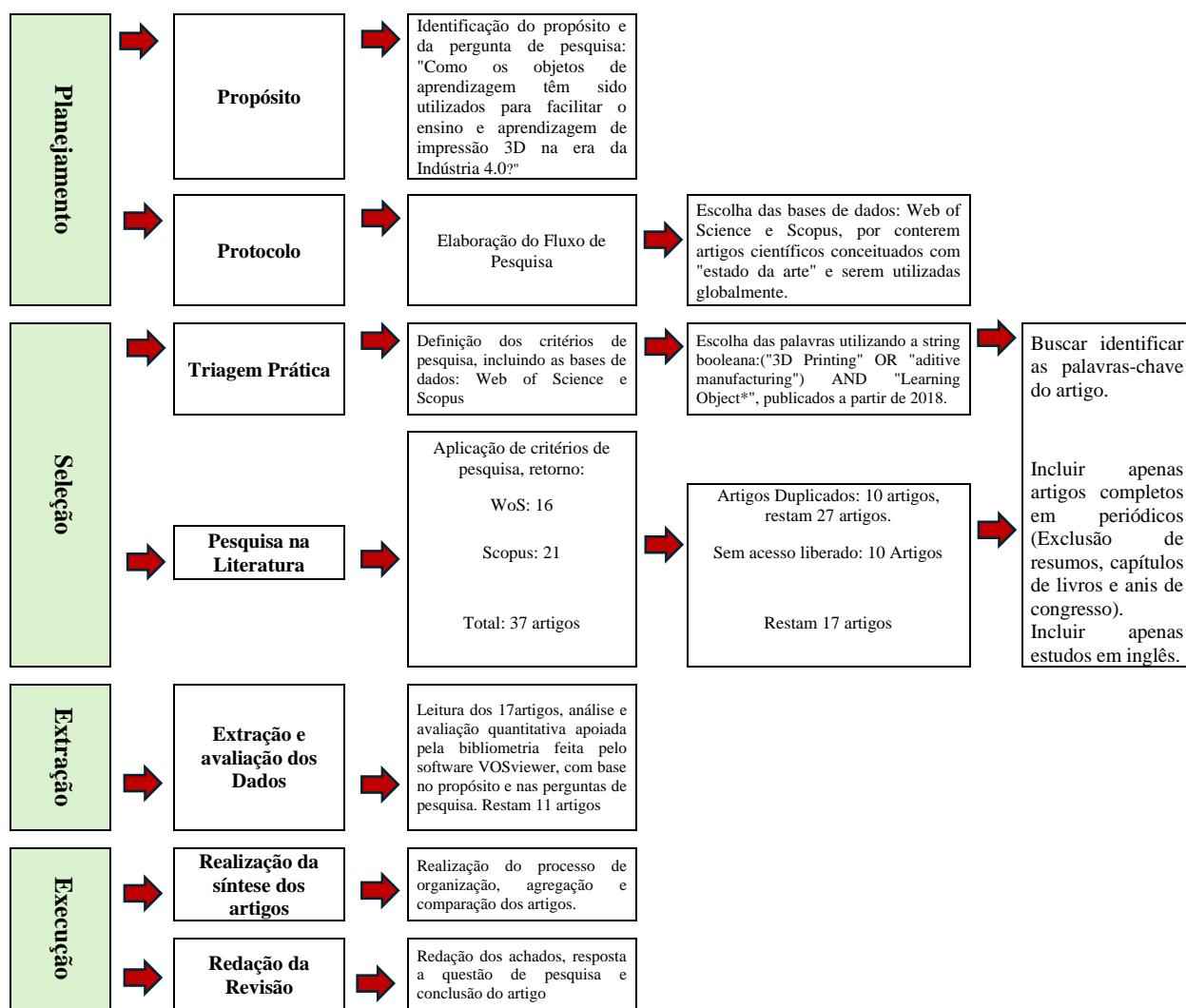
3. MÉTODO

No presente artigo, foi realizada uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), que seguiu um protocolo estruturado para identificar estudos relevantes nas bases de dados *Scopus* e *Web of Science* com a string de busca "*3D Printing AND Industry 4.0 AND Learning Objects*", *Article Title, Abstract* e *Keywords*. Em seguida, uma análise bibliométrica foi conduzida utilizando o software VOSviewer, permitindo explorar visualmente as relações entre os conceitos na Indústria 4.0, Impressão 3D e Objetos de Aprendizados.

3.1 Revisão sistemática da literatura (RSL)

Este estudo fundamentou-se por uma (RSL) que tem o objetivo de examinar como os objetos de aprendizagem podem facilitar a instrução e assimilação da manufatura aditiva nos cursos de engenharia, com ênfase nos engenheiros de produção, no contexto da Indústria 4.0. Para tanto adotou-se o protocolo baseado nas diretrizes estabelecidas por Okoli (2015), adaptado para contexto específico. Conforme Okoli (2015) e Petticrew & Roberts (2008) o protocolo da RSL seguiu as quatro etapas distintas, iniciando pela seleção inicial dos estudos com base nos critérios de inclusão e exclusão estabelecidos, conforme a Figura 3:

FIGURA 3 – Relação dos artigos selecionados na Revisão Sistemática de Literatura.



Fonte: Autores (2024).

Logo após seguisse os para a análise detalhada dos estudos selecionados, extraíndo informações relevantes sobre o uso de objetos de aprendizagem no contexto da Impressão 3D e Indústria 4.0. Na continuação, os resultados obtidos foram sintetizados, identificando padrões, tendências e lacunas na literatura existente.

Posteriormente, elaborou-se uma discussão crítica dos achados, destacando as contribuições dos estudos revisados. O uso do protocolo forneceu uma visão abrangente e atualizada sobre o uso de Objetos de Aprendizagem no ensino da Impressão 3D na era da Indústria 4.0, contribuindo assim para o avanço do conhecimento nesse campo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A triagem prática e a pesquisa na literatura resultaram na seleção de 11 artigos científicos significativos por apresentarem relação direta com os termos pesquisados ("3D Printing AND Industry 4.0 AND Learning Objects"), os quais são listados na Tabela 1:

TABELA 1 – Relação dos artigos selecionados na revisão sistemática de literatura.

	Autores	Título	Ano	Tema/Foco
1	Chebil G.; Bettebghor D.; Renollet Y.; Lapouge P.; Davoine C.; Thomas M.; Favier V.; Schneider M.	Deep learning object detection for optical monitoring of spatters in L-PBF	2023	O texto se concentra na análise do processo de fusão a laser com leito de pó (L-PBF) na manufatura aditiva de materiais metálicos, com destaque para o fenômeno de projeção de partículas metálicas, conhecidas como "spatters". O tema central é a introdução do sistema global inovador chamado SP(AM) ² (Método de Análise de Spatters para Manufatura Aditiva), que integra estudos experimentais in situ com monitoramento por câmera e uso de aprendizado profundo para controle automatizado do processo de manufatura aditiva. Este sistema permite a detecção e análise detalhada das características dos spatters, fornecendo informações para otimizar os parâmetros do processo e estratégias de digitalização, visando minimizar defeitos relacionados aos spatters.
2	Funes-Lora M.A.; Fu A.Q.; Webster N.; Burcon S.; Shih A.J.	A Common First-Year Undergraduate Engineering Course in Manufacturing based on Industrial Robots and Flipped Classroom	2022	O texto descreve um curso de engenharia de primeiro ano chamado "Manufatura e Sociedade", que integra engenharia, ciências sociais e comunicação técnica para oferecer aos alunos uma compreensão completa da manufatura, com foco em robôs industriais. Utilizando a abordagem da sala de aula invertida, enfatiza a aplicação prática de conhecimentos em CAD, fabricação aditiva, programação de robôs e análise dos impactos sociais da pintura robótica. Destaca-se a importância das palestras de ciências sociais para orientar decisões de design e fabricação, além de entender as implicações sociais e futuras tendências do trabalho na indústria manufatureira. O texto também avalia a eficácia da abordagem da sala de aula invertida durante a pandemia de COVID-19 e sugere sua continuidade no pós-pandemia, ressaltando os benefícios da interação mais próxima entre alunos e instrutores, além da redução de erros técnicos por meio de ferramentas de simulação.
3	Howell M.E.; Booth C.S.; Sikich S.M.; Helikar T.; Roston R.L.; Couch B.A.; van Dijk K.	Student Understanding of DNA Structure–Function Relationships Improves from Using 3D Learning Modules with Dynamic 3D Printed Models	2019	O foco do texto é a apresentação e avaliação de três módulos de aprendizagem interativa desenvolvidos para auxiliar estudantes de bioquímica na visualização de estruturas biomoleculares e na compreensão das relações entre estrutura e função molecular. O tema central é a utilização de modelos tridimensionais (3D) impressos em impressoras 3D como uma ferramenta eficaz e acessível para promover a compreensão desses conceitos, abordando objetivos específicos de aprendizagem relacionados à estrutura de DNA e RNA, interações fator de transcrição-DNA e dinâmica de superenrolamento de DNA. O texto destaca os resultados positivos obtidos com a implementação desses módulos, demonstrando um aumento significativo na capacidade dos alunos de relacionar estruturas moleculares a funções bioquímicas. Além disso, fornece recursos e orientações para instrutores interessados em incorporar esses módulos em suas salas de aula.
4	Luna A.; Talavera A.; Chong M.	How to motivate the interest in physics to engineering students without dying in the attempt?	2018	O texto descreve uma abordagem pedagógica inovadora para engajar e motivar os alunos, especialmente da Geração Z, em cursos de ciências básicas, com foco na física. Destaca a adoção de metodologias educacionais como Sala de Aula Invertida, Aprendizagem Baseada em Projetos, Aprendizagem Cooperativa e Design Thinking para promover uma participação ativa dos alunos na construção do conhecimento e no desenvolvimento de habilidades. Também enfatiza a importância de incorporar temas contemporâneos, como impressão 3D, eletrônica, robótica e IoT, para aumentar a relevância e o interesse dos estudantes, preparam-los para os desafios da 4 ^a Revolução Industrial. Além disso, apresenta uma análise detalhada dos resultados obtidos com a implementação dessas estratégias, evidenciando seu impacto positivo no desempenho dos alunos e na demonstração de conhecimento ao longo do processo educacional.
5	Antoniou P.; Sidiropoulos E.; Stathakarou N.; Chatzimallis C.; Chondrokostas E.; Sumunar D.; Karlsson T.; Lachanoudi S.; David P.; Tagaras K.; Varella A.; Athanasiou A.; Pickering J.; Tooulias A.; Karolos I.; Filippidis P.-M.; Schiza E.; Vougarakis V.; Bratsas C.; Tsiontas	Streamlining Tangible 3D Printed and Intangible XR Content Creation and Evaluation: The ENTICE Experience	2023	O texto apresenta os resultados preliminares do projeto ENTICE, que busca desenvolver um pipeline sólido de criação de conteúdo experiential médico por meio de metodologias de co-criação. O foco está no desenvolvimento e avaliação de recursos e ferramentas imersivas de aprendizagem, como AR/VR/MR e impressão 3D, para apoiar objetivos de aprendizagem específicos em anatomia e cirurgia. São destacados os resultados da avaliação desses recursos em três países, juntamente com lições aprendidas para aprimorar a educação médica.

	V.; Tsoulfas G.; Bramidis P.			
6	Renna J.M.; Sondereker K.B.; Cors C.L.; Chaszeyka S.N.; Keenan K.N.; Corigliano M.R.; Milgrom L.A.; Onyak J.R.; Hamad E.J.; Stabio M.E.	From 2D slices to a 3D model: Training students in digital microanatomy analysis techniques through a 3D printed neuron project	2024	O texto descreve uma atividade de aprendizagem inovadora que ensina os alunos a criar modelos anatômicos digitais tridimensionais (3D) de neurônios a partir de imagens em 2D, visando suprir a falta de habilidades técnicas para reconstruir modelos anatômicos em 3D. Destaca a importância dessa atividade para a compreensão da neuroanatomia e para o desenvolvimento de habilidades técnicas de pesquisa em análise de imagem. Apresenta recursos instrucionais e objetivos de aprendizagem alinhados com a Taxonomia de Bloom, promovendo o engajamento dos alunos em todos os níveis. Demonstrando um fluxo de trabalho acessível e adaptável, busca ampliar o uso da impressão 3D na educação em microanatomia e neuroanatomia.
7	Ghatwary N.; Abouzeina A.; Kantoush A.; Eltawil B.; Ramadan M.; Yasser M.	Intelligent Assistance System for Visually Impaired/Blind People (ISVB)	2022	O texto descreve um projeto para desenvolver um sistema automatizado de assistência para pessoas com deficiência visual, chamado Sistema de Assistência Inteligente para Pessoas com Deficiência Visual (ISVB). O ISVB é composto por um boné inteligente, uma bengala inteligente impressa em 3D e um aplicativo móvel que se conecta ao sistema por meio de um servidor online. O boné inteligente possui uma câmera e um módulo de detecção de objetos por aprendizado profundo, enquanto a bengala inteligente utiliza sensores e um módulo Bluetooth para analisar o ambiente. O aplicativo móvel interage com o boné e a bengala, fornecendo navegação virtual para auxiliar pessoas com deficiência visual em seus deslocamentos. O desempenho do sistema é avaliado por meio de experimentos, alcançando uma eficiência geral de 94,6%. O texto destaca a importância dessas tecnologias para melhorar a mobilidade e segurança dos deficientes visuais.
8	Crowe C.D.; Hendrickson-Stives A.K.; Kuhn S.L.; Jackson J.B.; Keating C.D.	Designing and 3D Printing an Improved Method of Measuring Contact Angle in the Middle School Classroom)	2021	O texto apresenta um método acessível e prático para medir o ângulo de contato da água em diversas superfícies, utilizando uma configuração impressa em 3D e dispositivos inteligentes, como celulares ou tablets, para captura de imagens. O tema central é tornar os conceitos científicos relevantes e acessíveis para estudantes do ensino fundamental ao médio, por meio de métodos experimentais simples e de baixo custo. Embora equipamentos caros sejam utilizados em laboratórios para esse fim, é possível desenvolver uma configuração mais acessível para uso em salas de aula, proporcionando uma experiência de aprendizagem prática e eficaz. O método foi bem-sucedido para ensinar sobre as interações entre água e superfície em diferentes materiais e substratos.
9	Chen Y.-H.; Chang P.-L.	3D printing assisted in art education: Study on the effectiveness of visually impaired students in space learning	2018	O texto explora o uso da impressão 3D na educação artística de pessoas com deficiência visual. Destaca-se a dificuldade dessas pessoas em apreciar obras de arte devido à falta de visão e como a tecnologia de impressão 3D pode proporcionar uma experiência tátil para permitir a apreciação artística através do tato. O estudo visa reproduzir obras de arte em formato 3D e em relevo para que os alunos com deficiência visual reconheçam os objetos e compreendam a composição das pinturas, além de introduzir o conceito de aprendizagem espacial utilizando a impressão 3D como material de ensino. Essas abordagens são importantes para motivar e facilitar a aprendizagem de alunos com deficiência visual na área da arte.
10	Wollmuth E.M.; Correa A.; Obando M.A.; Smith M.K.; Buckley D.H.; Hefferon K.L.; Angert E.R.	Helping students see bacteria in 3D: cellular models increase student learning about cell size and diffusion	2023	O texto aborda o uso de modelos tridimensionais (3D) de células bacterianas como ferramentas de ensino na sala de aula de biologia. O tema principal é a importância da visualização e compreensão da relação espacial entre células e macromoléculas, especialmente em relação ao tamanho celular e sua influência na fisiologia microbiana. Uma lição é descrita, na qual modelos 3D de células são utilizados para ensinar alunos em um curso introdutório de microbiologia sobre o tamanho celular bacteriano e a importância biológica da relação área de superfície-volume. Os alunos interagem com os modelos durante a lição e participam de discussões em grupos pequenos. A avaliação da aprendizagem dos alunos revelou uma melhora na compreensão do tamanho celular bacteriano e da difusão após a interação com os modelos 3D.
11	Kocygit, A; Yuksel, E; Yuksel, O	Assessing the Effectiveness of 3D-Printed Testes and Ovary Biomodels in Veterinary Reproduction Education: Student-Centered Approach	2023	O texto investiga a eficácia de biomodelos tridimensionais (3D) impressos de testículos e ovários na educação veterinária em reprodução, além de examinar a perspectiva dos estudantes sobre esses recursos. Destaca-se a utilização desses biomodelos como alternativa aos materiais tradicionais de ensino, como animais vivos e cadáveres, devido a preocupações éticas, culturais e de segurança. O texto ressalta a importância do entendimento da morfologia dos tecidos testiculares e ovarianos para os veterinários e relata os resultados de um estudo que comparou a eficácia dos biomodelos com materiais de abatedouro, concluindo que os estudantes preferiram os biomodelos para o treinamento prático e expressaram interesse em utilizá-los em outros campos da educação em medicina veterinária.

Fonte: Autores (2024).

Como resultado, foi possível observar e quantificar que 11 artigos abordam o tema central da utilização de tecnologias e metodologias inovadoras no processo de ensino-aprendizagem em múltiplas áreas do conhecimento:

Sendo 8 dos 11 artigos enfatizam a utilização da impressão 3D como ferramenta para aprimorar a compreensão em áreas como microbiologia, bioquímica, neuroanatomia, arte para pessoas com deficiência visual, engenharia e educação veterinária. Um total de 6 artigos relatam estudos de caso e resultados de avaliações para comprovar a eficácia das abordagens educacionais implementadas, destacando a melhoria no desempenho e entendimento dos alunos. A 4 artigos que demonstram a incorporação de tecnologias como Robótica, IoT, Realidade Aumentada/Virtual/Mista (AR/VR/MR) e Sistemas Inteligentes para melhorar a aprendizagem em engenharia, ciências básicas, medicina e assistência a deficientes visuais.

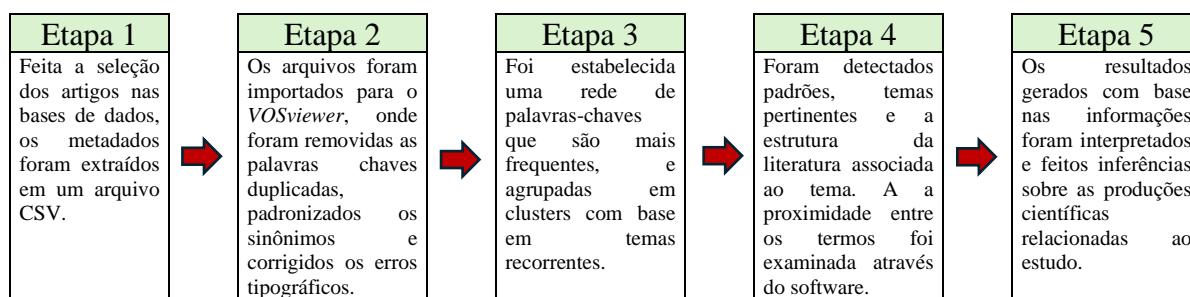
Também são 4 artigos que mencionam a sala de Aula Invertida e a Aprendizagem Baseada em Projetos, destacando a relevância de abordagens que incentivem a participação ativa dos alunos e a construção colaborativa do conhecimento. Já 3 artigos salientam a importância de tornar a educação acessível e pertinente para grupos específicos, como alunos com Deficiência Visual e a Geração Z. Para 2 artigos o destaque está na integração de diferentes disciplinas, como Engenharia e Ciências Sociais, e a combinação de Aprendizagem Prática e Compreensão Teórica.

Os artigos apresentam uma visão abrangente de como tecnologias modernas, metodologias inovadoras e uma abordagem interdisciplinar podem transformar a educação, tornando-a mais eficaz, acessível e envolvente para diferentes grupos de alunos e disciplinas.

4.1 Análise bibliométrica

Foi conduzido um estudo bibliométrico que empregou palavras-chave como base, sendo possível explorar visualmente as relações entre os conceitos. A análise envolveu cinco etapas distintas que estão descritas na Figura 4, a qual detalha cada uma das etapas:

FIGURA 4 – Estrutura da pesquisa.



Fonte: Autores (2024).

A revisão bibliográfica identificou 11 artigos científicos válidos, que foram sintetizados no Tabela 2 fica exposto em ordem lógica as principais publicações e os termos recorrentes, permitindo assim compreender o panorama em torno da string de busca proposta, como vemos apresentados ordenadamente a seguir:

TABELA 2 – Relação dos temas principais e suas aplicações.

	Termos	Principais ocorrências dos termos na pesquisa	Autores
1	Deep Learning	"estratégia é envolver os alunos em seu processo de aprendizagem com novas metodologias educacionais, enfrentar diferentes projetos e incentivar novos desafios no processo de ensino-aprendizagem. O objetivo de aprendizagem é integrar os alunos em uma participação ativa para construir seu conhecimento e desenvolver suas habilidades."	Ana Luna, Álvaro Talavera, Mario Chong
		"O objetivo principal deste projeto foi criar uma atividade de aprendizado simples e econômica que envolvesse os alunos no processo de criação de modelos digitais 3D a partir de conjuntos de dados anatômicos 2D na escala da microanatomia. Um neurônio, que é uma estrutura morfológica 3D complexa, foi usado como a estrutura de exemplo para a atividade de aprendizado baseada em vídeo que guiou os alunos através das etapas de análise de imagem e modelagem 3D."	Jordan M. Renna, Katelyn B. Sondereker, Christopher L. Cors, Sara N. Chaszeyka, Kristin N. Keenan Michael R. Corigliano, Lindsey A. Milgrom, Jessica R. Onyak, Edward J. Hamad, Maureen E. Stabio (2023)
2	Learning Systems	"este estudo toma a educação artística ...como exemplo para observar e avaliar a eficácia da aprendizagem de alunos com deficiência visual através do ensino experimental em uma aula de obra de arte impressa em 3D."	Yang-Hui Chen, Pai-Ling Chang
		"A maioria dos estudantes atuais não consegue viver sem a digitalização, pois estão operando em ambientes de tecnologia da informação e comunicação lotados. Dessa forma, existem tipos de aprendizado em diferentes ambientes, tanto online quanto presenciais, dentro e fora da sala de aula."	Ana Luna, Álvaro Talavera, Mario Chong
3	Curricula	"Alguns países europeus e americanos produzem sofisticados auxílios de ensino em esculturas impressas em 3D, como a clássica série de relevos famosos, "Strawberry Hill de Londres" impresso em 3D, "material de arte com tecnologia 3D do laboratório de frangos", livros extracurriculares para deficientes visuais e materiais de ensino relevantes que apoiam a "alfabetização em mapas táteis", entre outros."	Yang-Hui Chen, Pai-Ling Chang
4	Engeneering education	"Atualmente, os estudantes chegam às universidades com um conhecimento prévio do mundo digital, o que cria o cenário favorável para o início da aprendizagem que permite aos futuros profissionais e trabalhadores emergirem no mundo real do trabalho que está sendo criado."	Ana Luna, Álvaro Talavera, Mario Chong
5	Students	"Esse ambiente dá origem à criação de laboratórios tecnológicos para uma formação sólida dos estudantes, além de contribuir para o desenvolvimento de estratégias inovadoras de aprendizado, treinamento e geração de conhecimento no campo das competências, também estimulando o trabalho colaborativo."	Ana Luna, Álvaro Talavera, Mario Chong
		"Ao envolver os alunos na produção de um modelo digital 3D, esta atividade de aprendizado é projetada para fornecer aos alunos uma maneira nova de aprimorar sua compreensão do conteúdo, incluindo o conhecimento didático da morfologia do neurônio, habilidades técnicas de pesquisa em análise de imagem e exploração de carreira na pesquisa de neuroanatomia.	Jordan M. Renna, Katelyn B. Sondereker, Christopher L. Cors, Sara N. Chaszeyka, Kristin N. Keenan Michael R. Corigliano, Lindsey A. Milgrom, Jessica R. Onyak, Edward J. Hamad, Maureen E. Stabio (2023)
		"Um conceito biológico fundamental com o qual os estudantes têm dificuldade é a relação entre a estrutura do DNA e suas funções. Por exemplo, os alunos têm concepções errôneas sobre a maneira como as bases de DNA são empilhadas e acessíveis às proteínas ligantes de DNA, a continuidade e as informações apresentadas nas ranhuras do DNA, a flexibilidade e a natureza dinâmica das moléculas de DNA, e as enzimas que clivam e reparam o DNA [9-12]."	Michelle E. Howell, Christine S. Booth, Sharmin M. Sikich, Tomáš Helíkář, Rebecca L., Roston Brian A. Couch, Karin van Dijk. (2019)
6	3D Printers	"os estudantes universitários, atualmente, estão imersos na 4ª Revolução Industrial; portanto, como educadores, focamos em impressoras 3D, eletrônica, robótica e IoT. Por esse motivo, nossa estratégia é envolver os alunos em seu processo de aprendizado com novas metodologias educacionais, enfrentar diferentes projetos e incentivar novos desafios no processo de ensino-aprendizagem. O objetivo de aprendizagem é integrar os alunos em uma participação ativa para construir seu conhecimento e desenvolver suas habilidades.	Ana Luna, Álvaro Talavera, Mario Chong
		"Todos os modelos estão disponíveis como arquivos estruturais que podem ser adaptados a muitas impressoras 3D (Arquivo de Informações de Suporte S7) ou como modelos sob demanda através do fornecedor comercial Shapeways (www.shapeways.com/shops/macromolecules). "	Michelle E. Howell, Christine S. Booth, Sharmin M. Sikich, Tomáš Helíkář, Rebecca L., Roston Brian A. Couch, Karin van Dijk. (2019)

		"Os modelos para a Parte I e Parte II estão em escalas diferentes devido ao grande tamanho de T. namibiensis e às restrições de tamanho da cama da impressora padrão de 3D, mas dentro de cada conjunto, todos os modelos estão na mesma escala. Os nucleóides são construídos a partir de cerca de 150 metros de linha de pesca e são aproximadamente proporcionais em termos de comprimento cromossômico, mas o filamento de 0,35 mm de largura é aproximadamente 1,75 vezes a largura do DNA em escala."	Emily M. Wollmuth, Alberto Correa III, Manuela Alvarado Obando, Michelle K. Smith, Daniel H. Buckley,1,3 Kathleen L. Hefferon, Esther R. Angert (2023)
		"Muitas faculdades e universidades têm impressoras 3D disponíveis na biblioteca para professores e estudantes usarem gratuitamente. No entanto, a disponibilidade de uma impressora 3D e o custo do filamento são considerações importantes ao implementar esta atividade de aprendizado em outras instituições e podem variar."	Jordan M. Renna, Katelyn B. Sondereker, Christopher L. Cors, Sara N. Chaszyka, Kristin N. Keenan Michael R. Corigliano, Lindsey A. Milgrom, Jessica R. Onyak, Edward J. Hamad, Maureen E. Stabio (2023)
7	Learning Objectives	"Priorizar objetivos de aprendizagem" "Uma das tendências no processo de educação e treinamento é colocar o aluno como autor e gestor de seu conhecimento, desenvolvendo habilidades a partir de suas ações. Parte desse processo, que busca melhorar a qualidade da aprendizagem, é alcançada pelo uso de certas técnicas, como a participação do aluno em um ambiente lúdico ou na simulação de um problema real."	Yang-Hui Chen, Pai-Ling Chang Ana Luna, Álvaro Talavera, Mario Chong
		"O objetivo do projeto era aumentar a motivação e a confiança dos alunos em várias áreas, incluindo conhecimento didático, habilidades de análise de imagem e impressão 3D de neurônios. Os alunos receberam uma visão geral do projeto no início do curso, e aqueles que o completaram até o final do curso receberam crédito extra equivalente a um questionário semanal, ou uma nota especial em seu relatório de desempenho no curso."	Jordan M. Renna, Katelyn B. Sondereker, Christopher L. Cors, Sara N. Chaszyka, Kristin N. Keenan Michael R. Corigliano, Lindsey A. Milgrom, Jessica R. Onyak, Edward J. Hamad, Maureen E. Stabio (2023)
8	Printing Three-dimensional	"utilizar a tecnologia de impressão 3D para transformar a obra de arte plana em apresentação "	Yang-Hui Chen, Pai-Ling Chang
		"Compreender a complexa interdependência entre a estrutura e função macromoleculares representa um objetivo central da educação em ciências da vida para graduação, especialmente dentro da bioquímica [1–3]. No entanto, os estudantes de ciências da vida frequentemente têm dificuldade em visualizar e traduzir entre as imagens estáticas bidimensionais (2D) exibidas em livros didáticos e os conceitos tridimensionais dinâmicos (3D) que representam [4–8]."	Michelle E. Howell, Christine S. Booth, Sharmin M. Sikich, Tomáš Helíkář† Rebecca L., Roston Brian A. Couch, Karin van Dijk. (2019)
9	Three Dimensional Printing	"Os alunos devem ser capazes de comparar e contrastar os efeitos da modificação química de aminoácidos específicos na estrutura tridimensional de uma proteína. Os alunos devem ser capazes de prever os efeitos biológicos e químicos de mutação ou alteração estrutural do ligante na afinidade de ligação e projetar experimentos apropriados para testar suas previsões."	Michelle E. Howell, Christine S. Booth, Sharmin M. Sikich, Tomáš Helíkář† Rebecca L., Roston Brian A. Couch, Karin van Dijk. (2019)
10	3D Printing	"Com a mudança do currículo, os estudantes enfatizaram que esperavam uma consolidação prática e experimental. Eles também destacaram a incorporação de robótica e impressão 3D, a introdução de programação e a possibilidade de realizar práticas laboratoriais."	Ana Luna, Álvaro Talavera, Mario Chong
		"A recente expansão da tecnologia de impressão 3D acessível pode superar muitas das desvantagens dos modelos físicos tradicionais, ao mesmo tempo em que aprimora suas vantagens."	Jordan M. Renna, Katelyn B. Sondereker, Christopher L. Cors, Sara N. Chaszyka, Kristin N. Keenan Michael R. Corigliano, Lindsey A. Milgrom, Jessica R. Onyak, Edward J. Hamad, Maureen E. Stabio (2023)
		"Nos últimos anos, a impressão 3D tem ganhado popularidade e se tornado amplamente disponível nas universidades por meio do desenvolvimento de "Makerspaces" (15). O uso da impressão 3D oferece uma oportunidade de ensino única, permitindo a criação de modelos personalizados, uma estratégia que já foi implementada anteriormente para fornecer aos alunos representações físicas de macromoléculas, enzimas e operons (16–19)."	Emily M. Wollmuth, Alberto Correa III, Manuela Alvarado Obando, Michelle K. Smith, Daniel H. Buckley,1,3 Kathleen L. Hefferon, Esther R. Angert (2023)

Fonte: Autores (2024).

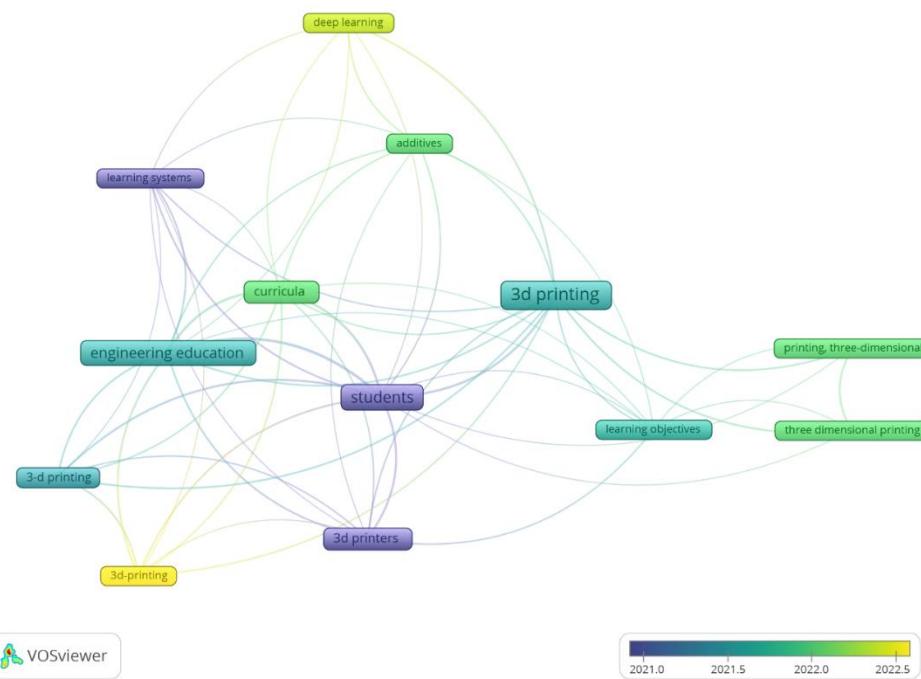
Atravez da análise bibliométrica notou-se a escassez de estudos de caso e exemplos práticos de implementação bem-sucedida de objetos de aprendizagem na Manufatura Aditiva.

Os termos comuns que aparece com maior frequência nos resumos dos artigos pesquisados são: *3D Printers* é encontrado em 04 resumos. Os termos *3D Printing* e *Students* aparece nos resumos de 03 autores. São 03 os autores que abordam termos como *Learning Objectives*, *Printing Three-dimensional* e *Deep Learning*. Já os termos *Learning Systems*, *Curricula*, *Engineering education* e *Three Dimensional Printing* está contido em apenas 1

resumo de artigo cada. Sobre a cronologia dos temas, *3D Printing* demonstrasse o mais atual, seguido por *Curricula, Three Dimensional Printing* e *Printing Three-dimensional*.

A análise bibliométrica com o software *VOSviewer* permitiu a visualização eficaz das interconexões e padrões emergentes, revelando várias tendências, áreas de interesse e convergência significativa de temas em torno da utilização de tecnologias inovadoras (como as utilizadas pela Indústria 4.0) e metodologias ativas (como Objetos de Aprendizagem) no processo de ensino-aprendizagem de Manufatura Aditiva (Impressão 3D) para formação de profissionais de engenharia de produção.

FIGURA 5 – Representação de temas em torno objetos de aprendizagem e impressão 3D.



Fonte: Autores (2024).

A análise também identificou a escassez de estudos de caso e exemplos práticos sobre a implementação bem-sucedida de objetos de aprendizagem na Manufatura Aditiva, o que oferece uma oportunidade para futuras pesquisas abordarem casos reais.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente Revisão Sistemática da Literatura e Análise Bibliométrica proporcionaram uma visão abrangente do estado da arte da Objetos de Aprendizagem no ensino aprendizagem da Impressão 3D na era da Indústria 4.0, demonstrando que a uma forte tendência da integração de tecnologias inovadoras e metodologias ativas no ensino, com uma ênfase

significativa no uso de Objetos de Aprendizagem (OAs) como ferramentas essenciais para melhorar a compreensão, o envolvimento e o desempenho dos alunos em diversas áreas do conhecimento.

A impressão 3D, em particular, é repetidamente mencionada como um OA crucial que oferece uma maneira tangível e visual de ensinar conceitos complexos, tornando a educação mais acessível e eficaz. Destaca-se a importância de explorar as interseções entre a Indústria 4.0, a Manufatura Aditiva e os Objetos de Aprendizagem, reconhecendo o papel fundamental que esses elementos desempenham na formação de profissionais de engenharia com destaque para Engenheiros de Produção.

Sugere-se que futuros estudos preencham as lacunas da pesquisa existente, particularmente através da realização de estudos de caso detalhados e exemplos práticos que demonstrem como os OAs estão sendo utilizados com sucesso no ensino da Manufatura Aditiva. Em última análise, esse estudo contribui para o avanço do conhecimento neste campo dinâmico e em constante evolução. Almejamos que nossas descobertas inspirem pesquisas futuras e práticas educacionais que promovam o desenvolvimento de profissionais preparados para os desafios do futuro da manufatura.

REFERÊNCIAS

ARTHA, EMILY A ULLY; WIDIYANTO, ANDI; PRABOWO, NUGROHO AGUNG. **The Readiness of Learning Object Materials During the COVID-19 Pandemic.** Commit (Communication and Information Technology) Journal, v. 15, n. 1, p. 25-30, 2021.

AUDINO, D. F., & NASCIMENTO, R. S. (2010). **Objetos de aprendizagem – diálogos entre conceitos e uma nova proposição aplicada à educação.** Revista Contemporânea de Educação, 10(5), pp. 128-148.

BLANC, S. ET AL. **Collaborative learning. A project on digital learning object production.** In: 2012 International Symposium on Computers in Education (SIE). IEEE, 2012. p. 1-6.

BONILLA, S. H., SILVA, H. R., TERRA DA SILVA, M., FRANCO GONÇALVES, R., & SACOMANO, J. B. (2018). **Industry 4.0 and sustainability implications: A scenario-based analysis of the impacts and challenges.** Sustainability, 10(10), 3740.

CHEN, YANG-HUI; CHANG, PAI-LING. **3D printing assisted in art education: Study on the effectiveness of visually impaired students in space learning.** In: 2018 IEEE International Conference on Applied System Invention (ICASI). IEEE, 2018. p. 803-806.

DA SILVA, MARIANA CUNHA ET AL. **Job organization requirements as constituent elements of the new work environment within the scope of industry 4.0.** Brazilian Journal of Development, v. 8, n. 6, p. 45441-45465, 2022.

GORKHALI, ANJEE. **Industry 4.0 and enabling technologies: Integration framework and challenges.** Journal of Industrial Integration and Management, v. 7, n. 03, p. 311-348, 2022.

HAGEMANN, BJÖR; OLIVEIRA, RAFAEL. (2018, September). **O desafio de produzir mais.** Mckinsey Global Institute. <https://www.mckinsey.com/br/our-insights/blog-made-in-brazil/o-desafio-de-produzir-mais>

INÁCIO, DANILO ET AL. **A importância da manufatura aditiva como tecnologia digital para a indústria 4.0: uma revisão sistemática.** Revista Competitividade e Sustentabilidade, v. 7, n. 3, p. 653-667, 2020.

LATILLA, VITO MARIA MANFREDI ET AL. **Organizational re-design for business model innovation while exploiting digital technologies: A single case study of an energy company.** International journal of innovation and technology management, v. 18, n. 02, p. 2040002, 2021.

OKOLI, C. (2015). **A Guide to Conducting a Standalone Systematic Literature Review.** Communications of the association for information systems, 879 - 810.

ORRILL, C. H. **Learning objects to support inquiry-based on-line learning.** In: WILEY D. (Ed.). The instructional use of learning objects: on-line version. 2000.

PALOS-SANCHEZ, PEDRO R.; SAURA, JOSE RAMON; VELICIA-MARTIN, FELIX. **A case study on a hedonic-motivation system adoption model in a game-based student**

response system. International Journal of Human–Computer Interaction, v. 40, n. 3, p. 701-718, 2024.

PETTICREW, M., & ROBERTS, H. (2008). Systematic reviews in the social sciences: A practical guide. Malden, MA: Blackwell.

ROSITO, FERNANDO COVOLAN; SOARES, ELIANA MARIA SACRAMENTO; WEBBER, CARINE GELTRUDES. Tecnologias emergentes da indústria 4.0: considerações para o redimensionamento dos currículos de engenharia. Acta Scientiarum. Education, v. 42, 2020.

SCHWAB, KLAUS. "A Quarta Revolução Industrial". Ed. Edipro, 2016.

VILALTA-PERDOMO, ELISEO; MICHEL-VILLARREAL, ROSARIO; THIERRY-AGUILERA, RICARDO. Integrating industry 4.0 in higher education using challenge-based learning: An intervention in operations management. Education Sciences, v. 12, n. 10, p. 663, 2022.

WIBAWA, BASUKI ET AL. Use of 3D printing for learning science and manufacturing technology. In: AIP Conference Proceedings. AIP Publishing, 2021.

YANG, T.-C., CHEN, Y.-L., & CHEN, N.-S. (2018). The Development of 3D Printing Learning System and Its Effectiveness. Educational Technology & Society, 21(1), 100–113.

ZHONG, R. Y., XU, X., KLOTZ, E., & NEWMAN, S. T. (2017). Intelligent manufacturing in the context of industry 4.0: a review. Engineering, 3(5), 616-630.