

IMPRESSÃO 3D COMO ARTEFATO TECNOLÓGICO NO PROCESSO DE ENSINO: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA NO CONTEXTO DA ALVENARIA ESTRUTURAL

*3D PRINTING AS A TECHNOLOGICAL ARTIFACT IN THE TEACHING
PROCESS: A SYSTEMATIC REVIEW OF THE LITERATURE IN THE
CONTEXT OF STRUCTURAL MASONRY*

*LA IMPRESIÓN 3D COMO ARTEFACTO TECNOLÓGICO EN EL
PROCESO DE ENSEÑANZA: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LA
LITERATURA EN EL CONTEXTO DE LA ALBAÑILERÍA
ESTRUTURAL*

RAMON GAMALHO COUTINHO

Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) – Santa
Maria – RS.

ramon.coutinho@acad.ufsm.br
<https://orcid.org/0009-0006-2772-8220>

GIHAD MOHAMAD

Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).
Professor de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) – Santa
Maria – RS.

gihad@ufsm.br
<https://orcid.org/0000-0002-6380-364X>

WILLIAN MAGALHÃES DE LOURENÇO

Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).
Professor de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)
– Santa Maria – RS.

willian.lourenco@ufsm.br
<https://orcid.org/0000-0002-2461-1469>

ALANA PAULA DA COSTA QUISPE

Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) – Santa
Maria – RS.

alana.quispe@acad.ufsm.br
<https://orcid.org/0000-0001-9138-2873>

Resumo

Essa pesquisa objetiva apresentar uma revisão sistemática da literatura sobre a utilização da impressão 3D como artefato tecnológico no processo de ensino de Engenharia, com foco no sistema construtivo em alvenaria estrutural, analisando suas contribuições para o ensino e a aprendizagem, metodologias aplicadas e os principais resultados obtidos pelo corpus de análise. Possui uma abordagem qualitativa de características descritivo-exploratórias, sendo a revisão sistemática da literatura realizada por meio da ferramenta *State of the Art through Systematic Review*. As bases de dados pesquisadas foram a *Science Direct*, *Scopus*, *Scielo*, *Web of Science* e *Springer*, nos últimos cinco anos, presumindo identificar e analisar parâmetros como excertos das metodologias, dos resultados e das discussões das publicações selecionadas. Assim, para o estudo, foi utilizada uma matriz analítica dos parâmetros supracitados, na qual foi aplicada a análise de conteúdo e a ferramenta de mineração de texto *Sobek*. Como resultados, foi identificada a ausência da tecnologia de impressão 3D no ensino do sistema construtivo em alvenaria estrutural, demonstrando uma lacuna significativa na formação de estudantes a respeito de tal aspecto. Esta tecnologia pode favorecer o ensino e a aprendizagem, e integrá-la ao currículo da Engenharia Civil pode não apenas enriquecer a compreensão dos estudantes sobre técnicas construtivas, mas também prepará-los melhor para o futuro da construção civil.

Palavras-chave: Análise de conteúdo; Metodologia; Tecnologia.

Abstract

This research aims to present a Systematic Literature Review on the use of 3D printing as a technological artifact in the Engineering teaching process, focusing on the structural masonry construction system, analyzing its contributions to teaching and learning, applied methodologies and the main results obtained by the corpus of analysis. It has a qualitative approach with descriptive-exploratory characteristics, and the Systematic Literature Review was carried out using the *State of the Art through Systematic Review* tool. The databases searched were *Science Direct*, *Scopus*, *Scielo*, *Web of Science* and *Springer*, in the last 5 years, presuming to identify and analyze parameters such as excerpts of the methodologies, results and discussions of the selected publications. Thus, for the study, an analytical matrix of the aforementioned parameters was used, in which content analysis and the *Sobek* text mining tool were applied. As a result, the absence of 3D printing technology in the teaching of the structural masonry construction system was identified, demonstrating a significant gap in the training of students regarding this aspect. This technology can favor teaching and learning, and integrating it into the Civil Engineering curriculum can not only enrich students' understanding of construction techniques, but also better prepare them for the future of civil construction.

Keywords: Content analysis; Methodology; Technology.

Resumen

Essa investigación tiene como objetivo presentar una Revisión Sistemática de Literatura sobre el uso de la impresión 3D como artefacto tecnológico en el proceso de enseñanza de la Ingeniería, centrándose en el sistema constructivo de mampostería estructural, analizando sus aportes a la enseñanza-aprendizaje, las metodologías aplicadas y los principales resultados obtenidos por el corpus de análisis. Tiene un enfoque cualitativo con características descriptivas-exploratorias, con Revisión Sistemática de Literatura realizada mediante la herramienta Estado del Arte mediante Revisión Sistemática. Las bases de datos investigadas fueron *Science Direct*, *Scopus*, *Scielo*, *Web*

of Science y Springer, durante los últimos 5 años, con el objetivo de identificar y analizar parámetros como extractos de las metodologías, resultados y discusiones de las publicaciones seleccionadas. Para ello, se utilizó para el estudio una matriz analítica de los parámetros antes mencionados, en la que se aplicó el análisis de contenido y la herramienta de minería de texto SOBEK. Como resultado, se identificó la ausencia de la tecnología de impresión 3D en la enseñanza del sistema constructivo de mampostería estructural, demostrando un vacío importante en la formación de los estudiantes respecto a este aspecto. Esta tecnología puede mejorar la enseñanza y el aprendizaje, e integrarla en el plan de estudios de Ingeniería Civil no sólo puede enriquecer la comprensión de los estudiantes sobre las técnicas de construcción, sino también prepararlos mejor para el futuro de la construcción civil.

Palabras clave: Análisis de contenido; Metodología; Tecnología.

1 Introdução

As novas tecnologias vêm demandando conhecimento multidisciplinar e atualizações das metodologias de ensino em Engenharia, de modo a estar em consonância com os avanços tecnológicos presentes nos diferentes ambientes da sociedade e favorecer o interesse dos estudantes na aprendizagem e o aperfeiçoamento de competências técnico-profissionais (Singhal *et al.*, 2023).

Para docentes e pesquisadores, as tecnologias em ascensão podem ser consideradas um grande desafio quando relacionadas ao campo educacional e às metodologias de ensino. O emprego de recursos como modelos práticos e teóricos adequados, o desenvolvimento da capacidade de abstração e a utilização de ferramentas de demonstrações tornam-se de grande valia para preparar os estudantes – em especial aos discentes de Engenharia – em relação às adversidades da era moderna (Tar *et al.*, 2022).

Nesse contexto, as instituições educacionais ligadas à Engenharia e à Tecnologia têm de proporcionar formações integrativas compostas por conhecimento, ação e execução. Estas devem ser estabelecidas através de componentes didáticos simples, voltados a extinguir a lacuna existente entre o conhecimento analítico e a aplicação do mesmo no ensino tecnológico, como a impressão 3D, integrando assim um conjunto de ações voltadas ao conhecimento (García, 2022).

O emprego da impressão 3D parece atrair os estudantes para as temáticas essenciais à formação profissional, e pode possibilitar uma melhora no aprendizado e no desenvolvimento de competências, assim como viabilizar um maior engajamento entre estudantes e docentes no ensino de determinado conteúdo (Jakovljević *et al.*, 2021).

Ainda, vale considerar que a utilização da impressão 3D, no âmbito educacional, de acordo com os especialistas, será amplamente difundida entre 2023 e 2028 (Menendez; Escobar; Menendez, 2020a).

Os docentes devem estar atentos ao fato de não apenas desempenharem um papel de formadores de profissionais, mas também de serem educadores capazes de compreender quais ferramentas ou métodos de ensino serão mais eficientes para divulgar o conhecimento às novas gerações de estudantes (Popescu; Popa; Cotet, 2019). Branko *et al.* (2023) afirmam que, se compreendermos que a utilização de tecnologias na educação é dependente da concepção e percepção dos educadores, torna-se evidente analisar o entendimento referente à impressão 3D por parte deles.

Assim, a presente pesquisa tem como objetivo apresentar uma revisão sistemática da literatura sobre a utilização da impressão 3D como artefato tecnológico no processo de ensino de Engenharia, com foco no sistema construtivo em alvenaria estrutural, analisando suas contribuições para o ensino e a aprendizagem, metodologias aplicadas e os principais resultados obtidos pelo corpus de análise.

2 Definição da impressão 3D

A impressão 3D, também definida como fabricação aditiva, prototipagem rápida ou fabricação de forma livre, baseia-se na produção de elementos de modo somatório, em que o artefato final é originado a partir da adição de material camada sobre camada (Hidrogo *et al.*, 2020a). Tal tecnologia possibilita uma produção rápida, precisa e de modo econômico de elementos complexos (Schauer *et al.*, 2022).

O processo de fabricação 3D impulsionado pelo avanço técnico do início do século XXI, passou a ser considerado uma tecnologia de grande importância nos diversos ramos do setor produtivo, deixando de ser apenas um protótipo tecnológico (Sobral; Everling; Cavalcanti, 2020). Assim, é caracterizada como um dos pilares tecnológicos, aos quais a indústria 4.0 está ancorada, representando uma das mais inovadoras e promissoras tecnologias da atualidade (Motyl; Filippi, 2021).

Nesse sentido, a impressão 3D vem sendo amplamente utilizada em áreas como aeroespacial, bioengenharia, construção, muito em decorrência de seus benefícios relacionados ao baixo custo, consumo reduzido de recursos, flexibilidade para produção

de objetos complexos e produtividade (Geng *et al.*, 2023). Além desses, a personalização e a liberdade de *design* também fazem parte dos principais benefícios da impressão 3D (Tuan *et al.*, 2018).

A partir da celeridade do desenvolvimento e da redução significativa dos custos das impressoras 3D nos últimos anos, estas proporcionaram soluções, tanto diretamente relacionadas ao setor fabril industrial quanto aos consumidores de modo geral. Desta forma, as impressoras 3D, em especial as de pequeno porte, tornaram-se mais acessíveis e possibilitaram a personalização de elementos em massa (Cui *et al.*, 2022).

Um dos aspectos que propiciou uma maior acessibilidade a esta tecnologia está relacionado ao desenvolvimento de patentes, que posteriormente oportunizaram aos fabricantes o desenvolvimento de novos dispositivos de impressão 3D com custos reduzidos. Deste modo, contribuindo para ampliar a utilização destes elementos em locais de ensino como escolas, bibliotecas e laboratórios, além de ambientes residenciais (Tuan *et al.*, 2018).

Além disso, os processos de impressão 3D, os quais podem ser realizados na atualidade, podem divergir pelos princípios de funcionamento, tipo de material aplicado e técnicas de deposição das camadas (Pikkarainen; Piili, 2020). Neste contexto, a modelagem por deposição fundida, por exemplo – a qual engloba técnicas como fabricação de filamentos fundidos – e fusão seletiva a laser dão origem camadas de impressão fundindo materiais, em contrapartida à técnica de estereolitografia, baseia-se na fotopolimerização (Stern *et al.*, 2019).

Nesse contexto, a impressão 3D apresenta-se como uma boa alternativa para a impressão de objetos personalizados. A realização deste procedimento que pode variar em um período de tempo de horas a dias é dependente de aspectos como o tipo de impressora a ser utilizada, material, precisão definida, tamanho do objeto, entre outros (Mohora; Anghel; Iliasa, 2023).

2.1 Impressão 3D no ensino

No ambiente educacional, a interação por meio de artefatos geométricos tridimensionais por parte dos alunos possibilita extinguir as atitudes passivas encontradas com frequência no ensino acadêmico tradicional (Sampaio *et al.*, 2010). Deste modo, ao

tornar-se mais acessível e personalizável, o uso das impressoras 3D vem aumentando também em diferentes áreas da educação (Özeren *et al.*, 2023).

Quando vinculada ao processo educativo, a impressão 3D é empregada em diferentes áreas do conhecimento, desde a primeira infância e educação especial até áreas como Biologia, *Design* Gráfico, Educação Artística e Engenharia. Porém, seu emprego ainda é considerado baixo devido à ausência de educação tecnológica adequada, a qual torna-se um grande empecilho para adoção da impressão 3D (Üçgül; Altıok, 2023).

Nas universidades, a impressão 3D é utilizada como ferramenta em cursos de aprendizagem baseada em projetos. Esta tecnologia permite criar recursos visuais, como modelos de carros, exoesqueletos, foguetes, entre outros, os quais visam facilitar a compreensão de conceitos e permitem em pouco tempo um *feedback* do que está sendo analisado (Menendez; Díaz; Menendez, 2020b).

A utilização de objetos impressos em 3D nas aulas permite aos docentes integrar conceitos teóricos e práticos, fazendo com que os alunos possam observar o que estão aprendendo na teoria. Assim, as aulas, quando consideradas instigantes pelos alunos, favorecem o interesse dos mesmos em buscar o conhecimento sobre um determinado assunto (Jakovljević *et al.*, 2021).

Essa tecnologia permite aos educadores a criação de elementos que atraem a imaginação dos alunos e estimula o envolvimento ativo dos mesmos no processo de aprendizagem. Deste modo, tais aspectos despertam a curiosidade e a euforia na busca por explorar algo desconhecido (Antunes; Aguiar; Gaspar, 2023).

Quando há uma melhor compreensão sobre a tecnologia de impressão 3D por parte dos docentes, conseqüentemente aumenta-se a intenção de aplicação desta nas salas de aula. Contudo, os programas atuais de formação de professores não são suficientemente abrangentes em relação à formação sobre as competências necessárias para o emprego das tecnologias de fabricação digitais nas salas de aula 3D (Üçgül; Altıok, 2023).

Segundo Anđić *et al.* (2023), um dos principais aspectos para uma utilização bem sucedida desta tecnologia conforme pesquisas com professores de escolas e faculdades é a percepção destes sobre tal tecnologia. A impressão 3D, em suma, quando empregada em larga escala, pode ser utilizada para originar um ambiente promissor para

alunos, estudantes e professores, a fim de aplicar formas mais eficazes de ensino e aprendizagem, além de auxiliar na compreensão de diferentes conceitos (Suciu *et al.*, 2019).

A inserção da impressão 3D na educação de maneira correta depende de materiais de apoio adequados ao ensino, visando à utilização desta para a realização de projetos práticos, assim como possibilitar o compartilhamento de conhecimento sobre esta tecnologia com os alunos (Menendez; Díaz; Menendez, 2020a).

Nesse contexto, a utilização de modelos impressos em 3D favorece a compreensão de dados visuais por parte dos alunos, se comparado a outras técnicas de visualização (Özeren *et al.*, 2023). Além disso, a impressão 3D se apresenta como uma ferramenta capaz de proporcionar experiências teórico-práticas voltadas a potencializar a conexão entre pessoas videntes, não videntes ou com baixa visão (Sobral; Everling; Cavalcanti, 2020).

Quando vinculados ao espaço tridimensional o uso de modelos impressos em 3D, permitem integrar o sentido do tato ao processo de ensino e aprendizagem. Ainda, contribuem para o desenvolvimento de habilidades espaciais, e proporcionam o autoengajamento e entusiasmo dos alunos nas aulas (Herrera; Pérez; Ordóñez, 2019).

3 Materiais e método

Para o presente estudo, definiu-se uma abordagem qualitativa de características descritivo-exploratórias. A natureza qualitativa refere-se ao fato de a coleta de dados ser utilizada a fim de determinar os aspectos e teorias de maior expressividade (Minayo, 2014). Além disso, a natureza descritiva tem como principal objetivo descrever as características de uma população ou fenômeno em específico, podendo estabelecer relações entre as variáveis (Gil *et al.*, 2002). Ainda, segundo Gil *et al.* (2002), a característica exploratória está relacionada, em especial, ao aprimoramento de ideias e à familiarização com o problema em análise.

Como método de coleta de dados, utilizou-se a revisão sistemática da literatura caracterizada pelo estabelecimento de protocolos específicos, visando à compreensão e organização de um conjunto documental, analisando o que é eficaz ou não para um determinado contexto (Galvão; Ricarte, 2019). Neste caso, para o presente estudo,

buscou-se analisar o emprego da impressão 3D no ensino do sistema construtivo em alvenaria estrutural.

A revisão sistemática da literatura foi realizada por meio da ferramenta *StArt* (*State of the Art through Systematic Review*), desenvolvida pelo Laboratório de Pesquisa em Engenharia de Software (LaPES), da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), um *software* de uso livre. Esta possibilita uma organização em três etapas: (i) o planejamento, caracterizado pela sistematização do protocolo; (ii) execução, a qual contribui para a condução, seleção e extração de informações; e (iii) sumarização, correspondendo à análise dos dados por meio de representações gráficas e relatórios (Hernandes *et al.*, 2010).

A partir do protocolo StArt estabelecido, previu-se responder à seguinte questão principal: Como a impressão 3D no processo de ensino de alvenaria estrutural tem se apresentado em publicações dos últimos 5 anos? Além disso, também se estabeleceram duas questões específicas: De que modo a impressão 3D tem sido empregada nos contextos de ensino? e Quais as possibilidades para o campo da Engenharia Civil, em especial na área de alvenaria estrutural?.

As bases de dados pesquisadas foram a *Science Direct*, *Scopus*, *Scielo*, *Web of Science* e *Springer*, num período de cinco anos (2019-2023). Os termos de buscas foram utilizados em língua inglesa e portuguesa, sendo eles: “Fabricação aditiva e alvenaria estrutural e ensino”; “Impressão 3D e alvenaria estrutural e ensino”; “Impressão 3D e arquitetura e alvenaria estrutural e educação”; “Ferramentas digitais e impressão 3D e ensino e alvenaria estrutural”; “Fabricação aditiva e Engenharia e educação e arquitetura”; “Impressão 3D e ferramentas digitais e ensino e Engenharia”; “Impressão 3D e ensino e educação”. Foram delimitados os critérios de inclusão e exclusão de trabalhos encontrados nas bases, sendo incluídos artigos de pesquisas nos idiomas inglês e português e publicações dos últimos cinco anos. Ainda, como critérios de exclusão, os artigos de mapeamento e revisão, dissertações e teses e outro contexto de aplicação. Os artigos duplicados também foram removidos.

A revisão sistemática da literatura presumiu identificar e analisar parâmetros como excertos das metodologias, dos resultados e das discussões das publicações selecionadas. Além destes, também foram obtidos o título, autor, ano de publicação, local

do estudo, área de ensino, método de fabricação, material utilizado para impressão e idioma. Assim, para o estudo, foi utilizada uma matriz analítica (Quadro 1) identificando os parâmetros investigados, à qual foi aplicada a análise de conteúdo caracterizada como um agrupamento de ferramentas metodológicas que são empregadas a discursos variados (Bardin, 2011).

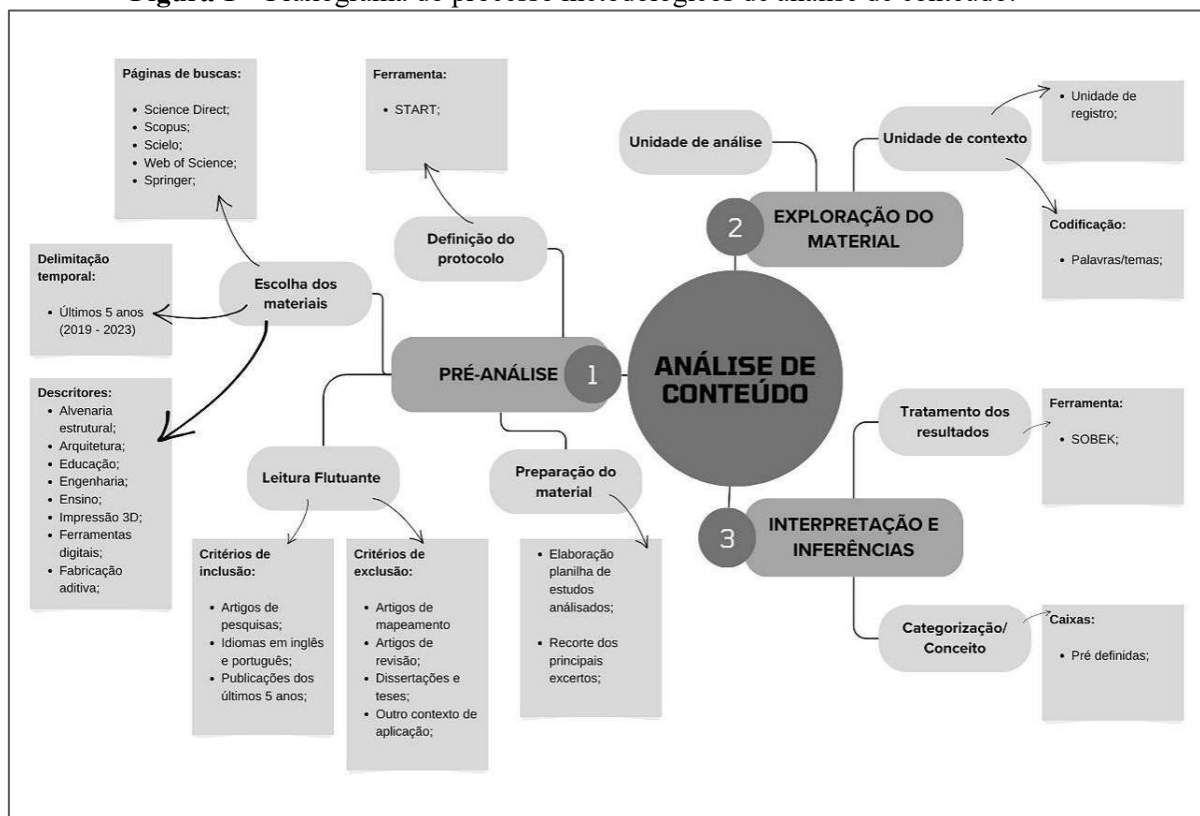
Quadro 1 – Matriz analítica.

Parâmetros	Núcleo de análise
Excertos	Principais aspectos analisados
Título	Título do artigo
Autor/ano	Ano de publicação e autoria
Local de estudo	Local em que foi realizado o estudo
Área de estudo	Campo do conhecimento
Método de fabricação/materiais	Métodos de fabricação e materiais empregados
Idiomas	Idioma de publicação

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Para análise de conteúdo (Figura 1), utilizou-se os pressupostos de Bardin (2011), através de análise de conteúdo, divididos em três etapas.

Figura 1 – Fluxograma do processo metodológicos de análise de conteúdo.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

As etapas estão organizadas em: (i) pré-análise, com a definição do protocolo e do software utilizado, pré-seleção nas bases de dados e seleção a partir dos títulos, resumos e palavras-chave; (ii) exploração do material, com a leitura integral dos artigos pré-selecionados e aplicação dos critérios de inclusão e exclusão; (iii) interpretação e inferências. Além disso, utilizou-se a ferramenta de mineração de texto Sobek, desenvolvido pelo GTech.Edu Research Group na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), para sistematização e elaboração de diagramas dos principais termos analisados.

4 Resultados e discussão

Na etapa de pré-análise, foram encontrados para as plataformas de buscas 826 estudos na *Science Direct*, 10 pesquisas na *Scielo*, 43 para *Scopus*, 138 na *Web of Science* e 215 na *Springer*, somando-se o total de 1.232 publicações. Assim, após a verificação dos critérios de inclusão e exclusão, leitura flutuante e exclusão das pesquisas duplicadas foram selecionados 38 estudos, no idioma em inglês que utilizaram a impressão 3D (Figura 2), das mais diferentes formas, em inúmeras áreas de estudo com predominância na grande área de concentração em Engenharia.

Figura 2 – Pesquisas selecionadas para análise disponíveis para acesso pelo *QR Code*



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Nesse sentido, estas pesquisas foram avaliadas a respeito dos temas analisados com intuito de identificar as potencialidades do emprego da tecnologia de impressão 3D no ensino e aprendizagem. Assim, na fase de exploração do material, foram analisados a metodologia, os resultados e a discussão de cada estudo, e realizada a extração de seus principais excertos, assim como categorizados em quatro diferentes aspectos de acordo com suas características (Quadro 2).

Quadro 2 – Categorização e conceito/definição.

Categoria		Conceito/Definição
(A1)	Impressão 3D como ferramenta para ensino	Utilização da impressão 3D como ferramenta principal de ensino para transmitir conhecimento sobre determinado assunto
(A2)	Ensino sobre impressão 3D	Ensino sobre as características, definições, materiais, entre outros da impressão 3D
(A3)	Análise do potencial uso da impressão 3D no ensino	Estudo sobre o potencial uso da impressão 3D como ferramenta de ensino
(A4)	Impressão 3D como ferramenta complementar	Utilização da impressão 3D de forma secundária/complementar

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Desse modo, do total de achados, estes distribuem-se em dez artigos para a impressão 3D como ferramenta para ensino, oito artigos para ensino sobre impressão 3D, 4 artigos para análise do potencial uso da impressão 3D no ensino e 16 artigos referentes à impressão 3D como ferramenta complementar. Contudo, entre os resultados, nenhuma das pesquisas observadas investigaram o emprego da tecnologia de impressão 3D para o ensino do sistema construtivo em alvenaria estrutural.

Assim, a partir das categorias listadas, foram unidos todos os códigos – unidades de contexto e de registro – referentes a cada uma delas. Deste modo, foi possível elencar a interpretação e inferências para cada excerto referentes à metodologia, aos resultados e à discussão.

4.1 Categorias e conceitos

4.1.1 Impressão 3D como ferramenta para o ensino

O artigo 33 indica que a tecnologia de impressão 3D vem sendo caracterizada como um importante recurso para o ensino, pois possibilita o aprendizado sobre outras temáticas através da criação de protótipos de maneira ágil (Seale *et al.*, 2023). Diferentes aplicações referentes à utilização da impressão 3D para o aprendizado na área da saúde são utilizadas como para anatomia, próteses e órteses, histologia, entre outros, como o estudo de Fleming *et al.*, (2022), artigo 22, o qual corrobora também com as pesquisas de Gallardo, Aliaga e Cortés (2022), Ordoñez *et al.* (2022) e Smith *et al.* (2018).

Na pesquisa 18, de Li *et al.* (2021), por exemplo, os autores avaliaram comparativamente a utilização de modelos impressos em 3D com modelos de ensino

digital 3D e os métodos de ensino tradicionais para a transmissão de conhecimento sobre as articulações do tornozelo para estudantes de medicina. Como resultados puderam observar que as médias dos testes práticos para os alunos que utilizaram os modelos impressos em 3D com os modelos de ensino digital 3D em relação aos demais foram superiores, assim como identificaram que estas tecnologias foram benéficas para o enriquecimento da experiência de aprendizagem e o aumento da interação entre docente e discente.

Pesquisas também abordam o emprego da tecnologia de impressão 3D voltada ao ensino de Matemática, como a de Asempapa e Love (2021), a pesquisa número 19 e García (2022). O estudo 2, de Herrera, Pérez e Ordóñez (2019), teve como intuito demonstrar como melhorar o processo de ensino e aprendizagem de Matemática com o aprimoramento de habilidades de visualização espacial e orientação dos discentes por meio do uso de ferramentas 3D, como a impressão 3D, realidade aumentada e ambientes virtuais. Os resultados demonstraram-se positivos quanto ao uso destas tecnologias em atividades pedagógicas para o desenvolvimento de habilidades matemáticas espaciais, sendo possível observar o aumento na motivação dos alunos em sala de aula.

Além dessas, no estudo 1, de Castelli e Giberti, (2019), visou-se descrever como a impressão 3D pode contribuir para o aperfeiçoamento de um curso de Robótica, possibilitando aos discentes a compreensão de todos os aspectos multidisciplinares envolvidos. Os autores identificaram uma melhora na abordagem de ensino da temática, permitindo o envolvimento dos alunos em relação aos conceitos sobre *design* mecânico, controle e programação. Ainda, estudos como os de Toyoda *et al.* (2020) e Suciu *et al.* (2019), números 13 e 4 respectivamente, também utilizaram a tecnologia de impressão 3D como ferramenta educacional para produção de mapas táteis buscando contribuir com diferentes experiências e possibilidades de estudos para discentes com deficiências visuais.

Nesse sentido, por meio dos estudos analisados e categorizados nesta pesquisa, pode-se perceber que um dos principais objetivos da utilização da tecnologia de impressão 3D no ensino foi utilizá-la como uma ferramenta didática. Esta, por sua vez, teve como propósito permitir aos discentes atividades experienciais, contribuindo para a compreensão e motivação dos mesmos. Assim, vale destacar que a tecnologia de impressão 3D possibilita criar diferentes estratégias de ensino e aprendizagem sobre

inúmeras áreas do conhecimento. Esta acaba servindo como uma ferramenta capaz de estimular a aprendizagem prática, habilidades espaciais, entre outras.

4.1.2 Ensino sobre impressão 3D

Inúmeras pesquisas analisadas tiveram como propósito o ensino sobre impressão 3D. A maior parte dos achados buscavam a formação sobre esta tecnologia através de uma familiarização com os conceitos e ferramentas empregadas nos processos. Dados em concordância com Mathur *et al.* (2023), pois o aprendizado sobre esta tecnologia contempla a compreensão a respeito do detalhamento funcional de tal processo. Ainda, possibilita aos projetistas a contemplação dos efeitos oriundos dos componentes sobre a fabricação de um elemento.

Dessa forma, grande parte destes estudos corroboram em relação ao enfoque para o ensino sobre impressão 3D, como 32 e 14 Özeren *et al.* (2023), Ostrander *et al.* (2020). Por exemplo, podemos citar a pesquisa de Kuzmanić *et al.* (2022), número 24, a qual visou a uma abordagem educacional de aprendizagem sobre impressão 3D baseada em problema, através da produção de peças de reposição de um navio impressas em 3D, buscando apresentar as possíveis aplicações desta tecnologia.

Além desse, o estudo 5, de Stern *et al.* (2019), visou ensinar os fundamentos da impressão 3D a estudantes de Engenharia Mecânica, referente às aplicações, às propriedades mecânicas, às tecnologias de impressão 3D, aos materiais, ao projeto e à produção com enfoque na criação de ferramentas para pessoas com deficiências. Os autores observaram como resultados que esta tecnologia apresenta potencialidades a respeito de inovação, e contribui para a transformação de concepções em objetos físicos.

4.1.3 Análise do potencial uso da impressão 3D no ensino

Os métodos educacionais de aprendizagem predominantes na atualidade englobam aspectos relacionados a conceitos teóricos, resolução de problemas e representações bidimensionais, com uma carência em relação a experiências práticas (Singhal *et al.*, 2023), artigo número 31.

Ambientes como os FabLabs e makerspaces, conhecidos como áreas de oficinas de pequena escala, permitem o desenvolvimento de ideias originais e resoluções de problemas a partir da fabricação digital e prototipagem rápida. Estes possibilitam

promover experiências inovadoras de aprendizagem, estimulamos alunos a desenvolverem habilidades criativas, resolução de problemas e investigação etc. (Nieto *et al.*, 2020).

Nesse sentido, segundo 31, Singhal *et al.* (2023), a tecnologia de impressão 3D vem como um auxílio para os professores no processo de aprendizagem a partir da produção de modelos físicos em escala para demonstrações, assim como para a impressão de peças para trabalhos dos alunos. Tal estudo vem em concordância com a pesquisa de Jakovljević *et al.* (2021), o qual observou que, na Engenharia, por exemplo, a impressão 3D vem demonstrando ser benéfica para a produção de elementos educacionais de baixo custo, os quais permitem alterações de fácil modo.

Assim, as pesquisas analisadas no presente estudo retratam que a impressão 3D pode ser uma ferramenta com potencial para a utilização no processo de ensino. Esta é considerada uma tecnologia rápida e econômica que permite diferentes experiências para a aprendizagem.

4.1.4 Impressão 3D como ferramenta complementar

Os ambientes educacionais vêm se conscientizando de que o emprego das tecnologias emergentes oportuniza uma melhora nas experiências de aprendizagem. Desta forma, universidades estão elaborando espaços inovadores a fim de incorporar e promover tecnologias entre discentes, docentes e funcionários (Hidrogo *et al.*, 2020b).

Através do uso das tecnologias, torna-se possível enriquecer as experiências de ensino e aprendizagem, o que permite aos alunos explorar diferentes recursos durante o processo acadêmico. Deste modo, estas possibilitam o desenvolvimento de habilidades e competências que impulsionam a motivação e o comprometimento dos estudantes (Menendez; Díaz; Menendez, 2020b).

De acordo com Nithyanandam, Munguia e Marimuthu (2022), instituições de ensino técnico e superior vêm em um crescente no desenvolvimento de fábricas de aprendizagem, caracterizadas como células industriais reproduzidas em um espaço acadêmico com intuito de replicar as tecnologias industriais relacionadas, em especial, com a indústria 4.0. Aspectos estes demonstrados, por exemplo, na pesquisa 27, de Krushnan e Schrödel (2022), a qual visou descrever a configuração de uma planta de referência da indústria 4.0 em escala de laboratório através do emprego de diferentes

tecnologias avançadas, com o intuito de auxiliar a compreensão dos componentes envolvidos. Apesar da impressão 3D fazer parte do estudo, esta ficou limitada apenas a uma das etapas para a fabricação de peças.

Além dessa, o estudo 34, de Antunes, Aguiar e Gaspar (2023), teve como propósito apresentar uma abordagem pedagógica inovadora a qual busca aperfeiçoar o ensino de robótica nos diferentes segmentos da educação contemplando ciência, Engenharia, Matemática e tecnologia. De acordo com os autores, o emprego da tecnologia de impressão 3D, apesar de não ser o enfoque da pesquisa, utilizado para a produção de componentes secundários que compunham o elemento principal do estudo (os robôs), pode ser empregada para ampliar a motivação dos alunos durante o processo.

Em conformidade com Menendez, Díaz e Menendez (2020b), as tecnologias influenciam o processo educacional de diferentes modos, como estratégias de ensino e pesquisa inovadoras, desenvolvimento de programas inovadores, e por meio de distintas maneiras de contribuição sendo estas presenciais, virtuais e remotas. Deste modo, para que sejam caracterizadas como relevantes tanto para indústria quanto para o meio acadêmico, estas devem apresentar aspectos como a inclusão de processos autênticos, ser reconfiguráveis, produzir produtos físicos e apresentar um elemento pedagógico que contribua com a aprendizagem (Nithyanandam; Munguia; Marimuthu, 2022).

Dessa forma, a partir das categorias elencadas, pode-se observar que a tecnologia de impressão 3D vem se destacando como uma ferramenta inovadora no processo de ensino, além de servir como um recurso complementar que potencializa a aprendizagem em diferentes áreas. Assim, esta permite aos docentes estimular a criatividade e o pensamento crítico dos alunos, proporcionando experiências práticas que facilitam a compreensão de conceitos complexos, além de tornar as aulas mais dinâmicas e interativas, preparando os estudantes para um futuro cada vez mais tecnológico e colaborativo.

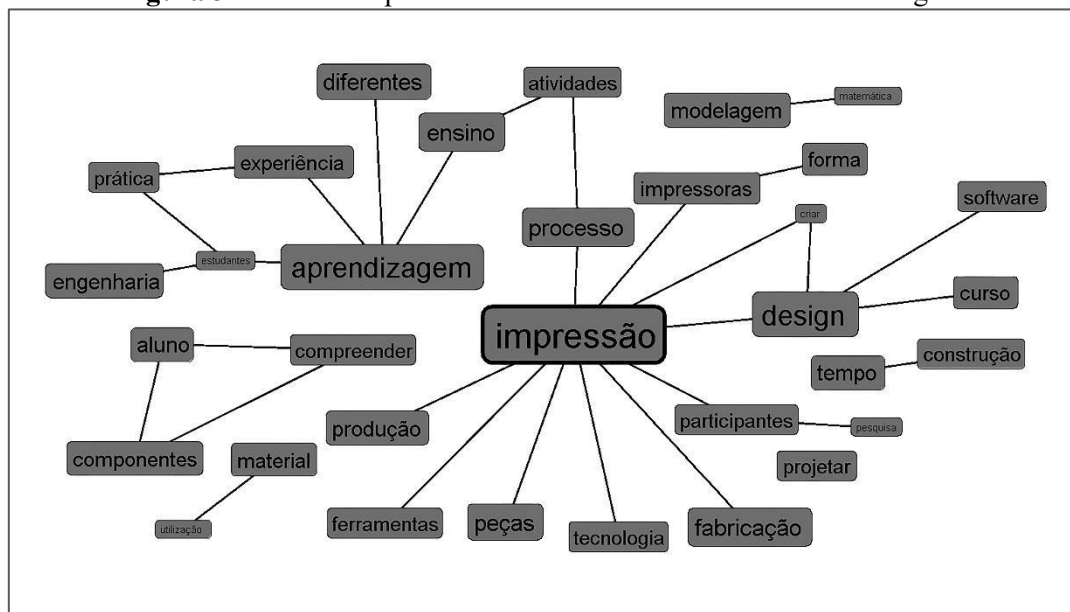
4.2 Interpretação e inferências

4.2.1 *Excertos da metodologia*

Ao analisarmos os excertos dos principais aspectos que objetivaram o desenvolvimento das pesquisas, a partir da metodologia aplicada, pode-se observar que, apesar das divergências existentes em cada estudo – em especial o foco e o contexto de

pesquisa –, para ambos os casos, há uma conexão entre os propósitos a serem atingidos. Deste modo, a Figura 3 retrata, a partir de uma nuvem de palavras extraída destes excertos, as principais características enquanto metodologia da pesquisa utilizada pelos autores.

Figura 3 – Nuvem de palavras extraídas dos excertos das metodologias.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

A palavra “impressão” é a mais recorrente interligando os aspectos de “aprendizagem” de forma indireta e, ainda, demonstrando uma possível dissociação destes conceitos; e “design”, contemplando o processo de criação diretamente relacionado a impressão 3D, assim como os softwares e cursos correlacionados. Em conformidade com Dart e Lim (2023), por meio do advento da impressão 3D como uma tecnologia acessível e econômica, esta permite a criação de modelos personalizados pelos estudantes, possibilitando a estes uma interação física e visual dos conceitos de Engenharia. Neste sentido, devido à eficácia em relação à rapidez de construção, à precisão e à personalização dos elementos, a tecnologia de impressão 3D ocasionou em avanços na eficiência e diminuição dos custos em diferentes áreas como a Arquitetura, Educação, Saúde (Waqar *et al.*, 2024).

Segundo Menendez, Díaz e Menendez (2020a), a impressão 3D pode ser caracterizada como um processo que no qual objetos são construídos por meio de um modelo digital, adicionando material em camadas até a formação do produto final. Ainda, esta pode contribuir com uma produção econômica e a ampliação da velocidade de

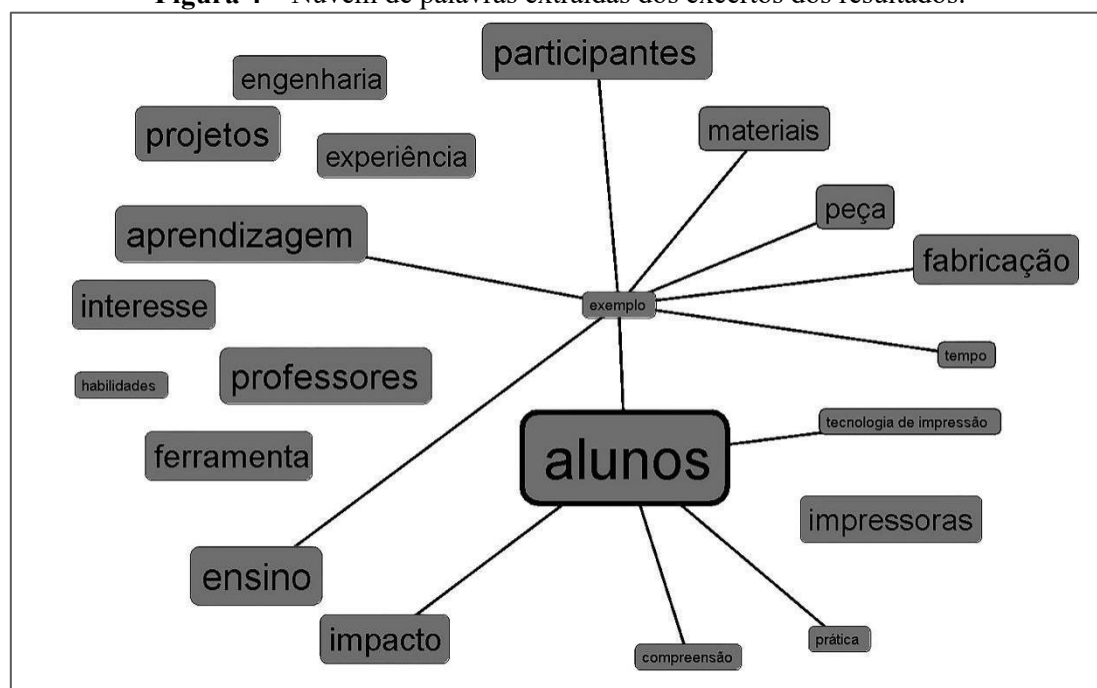
fabricação dos produtos, e permite a construção de peças complexas e a redução de materiais tanto para fabricação dos elementos quanto dos resíduos gerados (Holzmann; Schwarz; Audretsch, 2020). Além disso, esta tecnologia contribui para análise espacial, manutenção, assim como para o design (Hidrogo *et al.*, 2020b).

4.2.2 Excertos dos resultados

Os principais excertos extraídos referentes aos resultados das pesquisas (Figura 4) trazem a palavra de destaque “alunos” como ponto focal. Esta integra as conexões com os aspectos relacionados à tecnologia de impressão 3D como ferramenta de impressão de modelos, a qual propicia experiências de ensino e aprendizagem.

Segundo Çelik e Özdemir (2020), a impressão 3D permite aos alunos projetar objetos físicos de modo simples e rápido. Desta forma, possibilita atividades de experimentação, fortalecendo as habilidades relacionadas, por exemplo, à Engenharia e à Matemática.

Figura 4 – Nuvem de palavras extraídas dos excertos dos resultados.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

A utilização de ferramentas e equipamentos de impressão 3D oriunda dos processos de fabricação digital e movimentos *makers* vem ganhando espaço em atividades de ensino com os mais variados objetivos (Çelik; Özdemir, 2020). (Stern *et al.*,

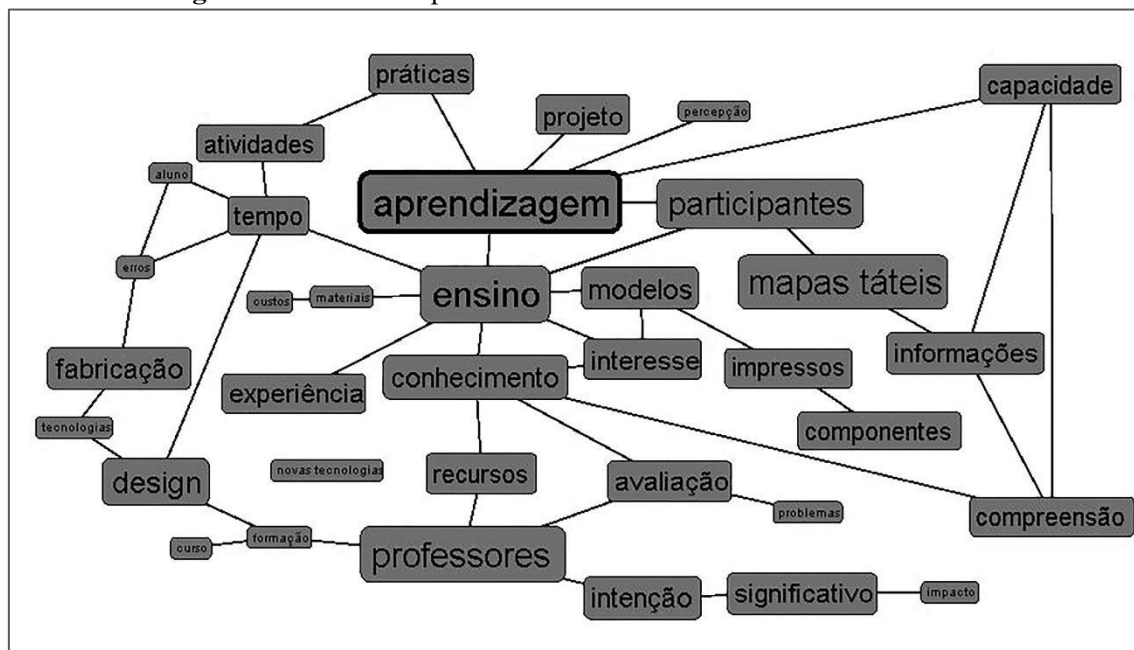
2019) ambientes inovadores que modificam conceitos e ideias em objetos físicos acabam motivando os alunos a terem interesse sobre teorias complexas entre outros aspectos.

De acordo com 4 (Suciu *et al.*, 2019), a tecnologia de impressão 3D possibilita aos alunos um aprimoramento de suas habilidades de comunicação através da integração entre ferramentas tradicionais de escrita e impressão e diferentes meios de comunicação como imagens, software CAD, vídeos, entre outros. Além disso, esta oportuniza aos alunos o favorecimento das condições de aprendizagem experiências táteis e visuais sobre aspectos a serem estudados (Jakovljević *et al.*, 2021).

4.2.3 Excertos da discussão

Entre as principais palavras extraídas dos excertos da discussão das pesquisas analisadas (Figura 5), podemos destacar a “aprendizagem” e o “ensino” como pontos ligantes para as demais expressões que mais aparecem nos diferentes trechos. Deste modo, é possível observar que os conceitos referentes ao ensino e à produção de protótipos se unem em prol de um objetivo de contribuir com a educação.

Figura 5 – Nuvem de palavras extraídas dos excertos das discussões.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Em conformidade com Jakovljević *et al.* (2021), no ensino, a impressão 3D concentra-se em onde os discentes estão utilizando esta tecnologia para o aprendizado de diferentes assuntos. De acordo com 31 (Singhal *et al.*, 2023), as inúmeras possibilidades

de aplicação e o interesse em explorar esta tecnologia deram origem a uma ampla utilização da mesma como ferramenta de inovação em instituições educacionais, tanto por alunos quanto por professores.

A tecnologia de impressão 3D, além de suas aplicações benéficas nos ambientes industriais, demonstrou um impacto educacional positivo nas salas de aula. Esta, por sua vez, possibilita a detecção de erros de design, corrobora para a colaboração de trabalhos em grupos e incentiva a aprendizagem transformando o papel do docente em facilitador (Ostrander *et al.*, 2020).

Nesse sentido, conforme o estudo 2, tanto alunos quanto professores demonstram grande interesse pela tecnologia de impressão 3D, sendo esta uma ferramenta inspiradora para educadores de diferentes áreas, fazendo com que estes incorporem a mesma nas salas de aula para ensinar inúmeros conceitos (Herrera; Pérez; Ordóñez, 2019). Segundo Nieto *et al.* (2020), a crescente demanda pelas competências transferíveis e disciplinares em ciência e tecnologia das próximas gerações de profissionais estão impulsionando a educação a criar experiências de aprendizado inovadoras.

5 Conclusão

A impressão 3D representa uma ferramenta inovadora e transformadora no ensino, proporcionando oportunidades únicas para o aprendizado prático e a visualização de conceitos complexos. Entre os principais aspectos que beneficiam a educação através da utilização da impressão 3D, estão inclusos o entusiasmo, as novas possibilidades de aprendizagem e as habilidades de resolução de problemas.

A ausência desta tecnologia no ensino do sistema construtivo em alvenaria estrutural é notável de acordo com os achados no presente estudo, demonstrando uma lacuna significativa na formação dos alunos a respeito de tal aspecto. Neste sentido, de acordo com as análises realizadas, esta tecnologia pode favorecer o ensino e aprendizagem, e integrá-la ao currículo da Engenharia Civil pode não apenas enriquecer a compreensão dos estudantes sobre técnicas construtivas, mas também prepará-los melhor para o futuro da construção civil.

Sugere-se que as instituições de ensino considerem a inclusão da impressão 3D como uma ferramenta essencial para o desenvolvimento das habilidades dos futuros profissionais dessa área. Pois, integrá-la ao ensino do sistema construtivo em alvenaria estrutural, possibilitaria um processo de ensino e aprendizagem com uma abordagem inovadora e prática estimulando novas experiências.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Referências

- ANĐIĆ, B. *et al.* A phenomenography study of STEM teachers' conceptions of using three-dimensional modeling and printing (3DMP) in teaching. **Journal of Science Education and Technology**, Berlin, v. 32, n. 1, p. 45-60, 2023.
- ANTUNES, R.; AGUIAR, M. L.; GASPAR, P. D. A dynamic STEM-Driven approach through mobile robotics to enhance critical thinking and interdisciplinary skills for empowering industry 4.0 Competencies. **Technologies**, Basel, v. 11, n. 6, p. 170, 2023.
- ASEMPAPA, R. S.; LOVE, T. S. Teaching math modeling through 3d-printing: Examining the influence of an integrative professional development. **School Science and Mathematics**, Hoboken, v. 121, n. 2, p. 85-95, 2021.
- BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. São Paulo: Edições, 2011.
- BRANKO, A. *et al.* A phenomenography study of STEM teachers' conceptions of using three-dimensional modeling and printing (3DMP) in teaching. **Journal of Science Education and Technology**, Berlin, v. 32, n. 1, p. 45-60, 2023.
- CASTELLI, K.; GIBERTI, H. Additive manufacturing as an essential element in the teaching of robotics. **Robotics**, Basel, v. 8, n. 3, p. 73, 2019.
- ÇELİK, A.; ÖZDEMİR, S. Tinkering learning in classroom: an instructional rubric for evaluating 3D printed prototype performance. **International Journal of Technology and Design Education**, Berlin, v. 30, n. 3, p. 459-478, 2020.
- CUI, J. *et al.* 3D printing in the context of cloud manufacturing. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, Amsterdam, v. 74, p. 102256, 2022.
- DART, S.; LIM, J. B. P. Three-Dimensional printed models for teaching and learning structural engineering concepts: Building intuition by physically connecting theory to real life. **Journal of Civil Engineering Education**, Reston, v. 149, n. 2, p. 05022004, 2023.

FLEMING, C. *et al.* Effectiveness of a conceptual three-dimensionally printed model of the middle ear in teaching complex neuroanatomy to radiology trainees. **Annals of 3D Printed Medicine**, Amsterdam, v. 7, p. 100070, 2022.

GALLARDO, C. F. P.; ALIAGA, E. A. H.; CORTÉS, M. E. C. Impresión en tres dimensiones: estudio descriptivo de la percepción estudiantil en una experiencia de enseñanza en Terapia Ocupacional. **Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas**, La Habana, v. 41, e1223, 2022.

GALVÃO, M. C. B.; RICARTE, I. L. M. Revisão sistemática da literatura: conceituação, produção e publicação. **Logeion: Filosofia da informação**, Rio de Janeiro, v. 6, n. 1, p. 57-73, 2019.

GARCÍA, F. C. Integración de la impresión 3D en la educación tecnológica. **Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo**, Guadalajara, v. 12, n. 24, e336, 2022.

GENG, S. *et al.* Research status and prospect of machine learning in construction 3D printing. **Case Studies in Construction Materials**, Amsterdam, v. 18, e01952, 2023.

GIL, A. C. *et al.* **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2002.

HERNANDES, E. *et al.* Avaliação da ferramenta StArt utilizando o modelo TAM e o paradigma GQM. In: **Proceedings of 7th Experimental Software Engineering Latin American Workshop (ESELAW 2010)**. 2010.

HERRERA, L. M.; PÉREZ, J. C.; ORDÓÑEZ, S. J. Developing spatial mathematical skills through 3D tools: augmented reality, virtual environments and 3D printing. **International Journal on Interactive Design and Manufacturing**, Berlin, v. 13, p. 1385-1399, 2019.

HIDROGO, I. *et al.* Mostla for engineering education: Part 2 emerging technologies. **International Journal on Interactive Design and Manufacturing**, Berlin, v. 14, p. 1461-1473, 2020a.

HIDROGO, I. *et al.* Mostla for engineering education: Part 1 initial results. **International Journal on Interactive Design and Manufacturing**, Berlin, v. 14, n. 4, p. 1429-1441, 2020b.

HOLZMANN, P.; SCHWARZ, E. J.; AUDRETSCH, D. B. Understanding the determinants of novel technology adoption among teachers: the case of 3D printing. **The Journal of Technology Transfer**, Abingdon-on-Thames, v. 45, p. 259-275, 2020.

JAKOVLJEVIĆ, P. *et al.* Experiences in 3D printing applied in education. **Structural Integrity and Life**, Belgrade, v. 22, n. 1, p. 43-47, 2021.

KRUSHNAN, J.; SCHRÖDEL, F. Development of a Modern, Low Cost, Lab Scale Industry 4.0 Plant for Education. **IFAC-PapersOnLine**, Amsterdam, v. 55, n. 17, p. 156-161, 2022.

- KUZMANIĆ, I. *et al.* Additive manufacturing in marine engineering education. **Progress in Additive Manufacturing**, Berlin, v. 7, n. 3, p. 521-530, 2022.
- LI, X. *et al.* Application of 3D printing and WebGL-based 3D visualisation technology in imaging teaching of ankle joints. **Journal of Shanghai Jiaotong University (Science)**, Shanghai, v. 26, n. 3, p. 319-324, 2021.
- MATHUR, J. *et al.* Designing immersive experiences in virtual reality for design for additive manufacturing training. **Additive Manufacturing**, Amsterdam, v. 78, p. 103875, 2023.
- MENENDEZ, M. H.; DÍAZ, C. E.; MENENDEZ, R. M. Technologies for the future of learning: state of the art. **International Journal on Interactive Design and Manufacturing**, Berlin, v. 14, n. 2, p. 683-695, 2020a.
- MENENDEZ, M. H.; DÍAZ, C. A. E.; MENENDEZ, R. M. Educational experiences with Generation Z. **International Journal on Interactive Design and Manufacturing**, Berlin, v. 14, n. 3, p. 847-859, 2020b.
- MINAYO, M. C. S. **O desafio do conhecimento**. 14. ed. São Paulo: Hucitec, 2014.
- MOHORA, I. S.; ANGHEL, A. A.; ILIASA, F. M. F. Photogrammetry as a digital tool for joining heritage documentation in architectural education and professional practice. **Buildings**, Basel, v. 13, n. 2, p. 319, 2023.
- MOTYL, B.; FILIPPI, S. Trends in engineering education for additive manufacturing in the industry 4.0 era: a systematic literature review. **International Journal on Interactive Design and Manufacturing**, Berlin, v. 15, n. 1, p. 103-106, 2021.
- NIETO, N. A. G. *et al.* FabLabs in vulnerable communities: STEM education opportunities for everyone. **International Journal on Interactive Design and Manufacturing**, Berlin, v. 14, n. 4, p. 1535-1555, 2020.
- NITHYANANDAM, G.; MUNGUIA, J.; MARIMUTHU, M. “Digital literacy”: Shaping industry 4.0 engineering curriculums via factory pilot-demonstrators. **Advances in Industrial and Manufacturing Engineering**, Amsterdam, v. 5, p. 100092, 2022.
- ORDOÑEZ, I. T. *et al.* Diseño y fabricación de modelos impresos en 3D como complemento para las clases prácticas de histología médica. **International Journal of Morphology**, Temuco, v. 40, n. 2, p. 355-359, 2022.
- OSTRANDER, J. K. *et al.* Evaluating the use of virtual reality to teach introductory concepts of additive manufacturing. **Journal of Mechanical Design**, New York, v. 142, n. 5, p. 051702, 2020.
- ÖZEREN, Ö. *et al.* Learning-by-Doing using 3D printers: Digital fabrication studio experience in architectural education. **Journal of Engineering Research**, Lausanne, v. 11, n. 3, p. 1-6, 2023.

- PIKKARAINEN, A.; PIILI, H. Implementing 3D Printing Education Through Technical Pedagogy and Curriculum Development. **International Journal of Engineering Pedagogy**, Frankfurt, v. 10, n. 6, p. 95-119, 2020.
- POPESCU, D.; POPA, D. M.; COTET, B. G. Getting ready for Generation Z students-considerations on 3D printing curriculum. **Propósitos y Representaciones**, Lima, v. 7, n. 2, p. 240-268, 2019.
- SAMPAIO, A. Z. *et al.* 3D and VR models in Civil Engineering education: Construction, rehabilitation and maintenance. **Automation in construction**, v. 19, n. 7, p. 819-828, 2010.
- SEALE, L. E. J. T. *et al.* Teaching design for additive manufacturing: efficacy of and engagement with lecture and laboratory approaches. **International Journal of Technology and Design Education**, Berlin, v. 33, n. 2, p. 585-622, 2023.
- SINGHAL, I. *et al.* Augmenting mechanical design engineering with additive manufacturing. **Progress in Additive Manufacturing**, Berlin, v. 8, n. 5, p. 819-841, 2023.
- SCHAUER, A. M. *et al.* Comparing the effect of virtual and in-person instruction on students' performance in a design for additive manufacturing learning activity. **Research in Engineering Design**, Berlin, v. 33, n. 4, p. 385-394, 2022.
- SMITH, C. F. *et al.* Take away body parts! An investigation into the use of 3D-printed anatomical models in undergraduate anatomy education. **Anatomical Sciences Education**, Hoboken, v. 11, n. 1, p. 44-53, 2018.
- SOBRAL, J. E. C.; EVERLING, M. T.; CAVALCANTI, A. L. M. S. Ver com as mãos e dar à luz um mundo: a Tecnologia 3D e suas possibilidades cognitivas para pessoas cegas. **Cuadernos del Centro de Estudios en Diseño y Comunicación**, Buenos Aires, n. 83, p. 162-175, 2020.
- STERN, A. *et al.* Additive manufacturing: An education strategy for engineering students. **Additive Manufacturing**, Amsterdam, v. 27, p. 503-514, 2019.
- SUCIU, A. *et al.* Pedagogical methods for teaching the use of prototyping by 3D printers. **Procedia Manufacturing**, Amsterdam, v. 32, p. 356-359, 2019.
- TAR, J. *et al.* Abstraction in teaching ways of control engineering to support the understanding of mathematics behind Industry 4.0—a Hungarian approach. **IFAC-PapersOnLine**, Amsterdam, v. 55, n. 17, p. 230-235, 2022.
- TOYODA, W. *et al.* Effects of environmental explanation using three-dimensional tactile maps for orientation and mobility training. **Applied Ergonomics**, Amsterdam, v. 88, p. 103177, 2020.
- TUAN, D. N. *et al.* Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges. **Composites Part B: Engineering**, Amsterdam, v. 143, p. 172-196, 2018.

ÜÇGÜL, M.; ALTIOK, S. The perceptions of prospective ICT teachers towards the integration of 3D printing into education and their views on the 3D modeling and printing course. **Education and Information Technologies**, Basel, v. 28, n. 8, p. 10151-10181, 2023.

WAQAR, A. *et al.* Overcoming implementation barriers in 3D printing for gaining positive influence considering PEST environment. **Ain Shams Engineering Journal**, Amsterdam, v. 15, n. 3, p. 102517, 2024.