

Manufatura Aditiva: pandemia, redes sociais e comportamento do consumidor como vetores de popularização da impressão 3D

Artur Ribeiro Ferregueti Capellini

Resumo: A manufatura aditiva (impressão 3D) tem ampliado sua relevância no contexto da Indústria 4.0 ao possibilitar novos modelos de produção, personalização e gestão de operações. Nesse cenário, o presente estudo teve como objetivo analisar os fatores que contribuíram para a popularização da manufatura aditiva, com destaque para os impactos da pandemia de COVID-19, das redes sociais e das mudanças no comportamento do consumidor. Para tanto, realizou-se uma pesquisa qualitativa, de caráter exploratório, por meio de uma revisão sistemática da literatura, baseada em estudos publicados entre 2015 e 2025 e selecionados em bases científicas nacionais e internacionais. Os resultados indicam que a pandemia acelerou a adoção da impressão 3D ao evidenciar seu potencial para responder a falhas nas cadeias globais de suprimentos, especialmente por meio da produção descentralizada de itens essenciais. Além disso, verificou-se que as redes sociais e as comunidades maker desempenharam papel decisivo na disseminação do conhecimento técnico, na aprendizagem colaborativa e na democratização da tecnologia. A revisão também evidencia que a manufatura aditiva favorece a inovação em modelos de negócios, a produção sob demanda e a sustentabilidade, embora ainda existam desafios relacionados ao consumo energético, à padronização técnica e à proteção da propriedade intelectual. Conclui-se que a manufatura aditiva transcende sua dimensão tecnológica, configurando-se como um ecossistema sociotécnico capaz de transformar processos produtivos, cadeias de suprimentos e relações entre empresas e consumidores.

Palavras-chave: Manufatura Aditiva, Indústria 4.0, Resiliência, Sustentabilidade, Cadeia de Suprimentos Digital, Redes Sociais.

1 INTRODUÇÃO

A impressão 3D, também conhecida como manufatura aditiva (MA), é uma tecnologia que possibilita a criação de objetos tridimensionais através da sobreposição de camadas de materiais como plásticos, resinas e metais. Utilizando arquivos digitais para definir o formato e as dimensões do produto final, a impressão 3D vem sendo amplamente adotada em setores diversos, incluindo a indústria, a saúde, o design e a educação. Esse processo altamente personalizável permite a produção de peças únicas ou em pequenas quantidades, facilitando o desenvolvimento rápido e preciso de protótipos e a adaptação às demandas específicas de cada setor (GIBSON; ROSEN; STUCKER, 2015).

Com a chegada da pandemia de COVID-19, o isolamento social impôs mudanças significativas no comportamento das pessoas. A necessidade de permanência em casa intensificou o tempo de tela e fomentou o interesse por novos conteúdos de entretenimento, aprendizado e hobbies que pudessem ser praticados em ambiente doméstico (DONTU; GUSTAFSSON, 2020). Nesse contexto, a impressão 3D surgiu como uma alternativa

atraente, oferecendo às pessoas uma forma de explorar habilidades criativas, produzir itens personalizados e até mesmo suprir demandas específicas de maneira prática e acessível. A pandemia também gerou uma conexão inédita entre a impressão 3D e as necessidades urgentes por recursos personalizados. À medida que a crise de saúde pública interrompeu cadeias globais de suprimentos, houve uma escassez de produtos médicos essenciais, como máscaras e equipamentos de proteção individual. Como solução rápida e viável, a impressão 3D permitiu que empresas e até mesmo entusiastas criassem produtos críticos para suprir a demanda emergencial (TINO et al., 2020a). Muitas comunidades de "makers" e grupos de voluntários mobilizaram-se para imprimir peças de reposição e itens de proteção, aliviando a escassez e trazendo a impressão 3D para um papel de destaque em momentos de crise (ADVINCULA; DIZON; CHEN, 2020).

Além disso, o aumento do tempo em casa levou muitas pessoas a explorarem a impressão 3D como um hobby e uma nova forma de aprendizado. A tecnologia permitiu que usuários comuns, com pouca experiência prévia, criassem objetos úteis ou decorativos, exercitando a criatividade e, ao mesmo tempo, suprimindo necessidades do dia a dia. Esse fenômeno foi impulsionado pela abundância de tutoriais e projetos gratuitos disponíveis online e pelo desenvolvimento de impressoras 3D cada vez mais acessíveis ao consumidor doméstico. Assim, a pandemia acelerou a difusão da impressão 3D, destacando seu potencial de personalização e acessibilidade, e fortalecendo redes de compartilhamento de conhecimento em comunidades online (ANSARI; KHAN, 2020). Esse interesse crescente foi ainda reforçado por investimentos em pesquisa e desenvolvimento, que reduziram custos de equipamentos e materiais e ampliaram o acesso a recursos educacionais. Essa combinação de fatores econômicos e sociais impulsionou o desenvolvimento de impressoras 3D cada vez mais acessíveis ao consumidor geral (SAEED MUJAHID; MUBARIK, 2021; KLENAM et al., 2025).

Nesse sentido, compreender os fatores que impulsionaram o interesse popular pela impressão 3D é de grande relevância, particularmente para a Administração, pois permite explorar como essa tecnologia pode impactar práticas empresariais e estratégias de mercado. A manufatura aditiva apresenta contribuições significativas para as empresas, incluindo a redução de custos operacionais ao permitir produção sob demanda e eliminação de estoques elevados, a promoção da personalização em massa e a capacidade de atender de forma flexível às demandas do consumidor. Além disso, destaca-se por sua contribuição à sustentabilidade, reduzindo o desperdício de materiais e a necessidade de transporte de mercadorias, e pela possibilidade de estimular a inovação ao acelerar o desenvolvimento de protótipos e o lançamento de novos produtos.

Entender o crescimento desse interesse também permite aos gestores antecipar mudanças de mercado e integrar a impressão 3D às operações empresariais, proporcionando maior competitividade e alinhamento às demandas por práticas mais inovadoras e sustentáveis. Assim, este trabalho busca analisar os elementos internos, como avanços tecnológicos e redução de custos, e externos, como o contexto socioeconômico e as transformações no comportamento do consumidor, que contribuíram para o aumento do interesse popular por essa tecnologia. A análise desses fatores evidencia o papel central da impressão 3D no mercado contemporâneo e reforça sua relevância como objeto de estudo no campo da Administração.

2 EVOLUÇÃO E APLICAÇÕES DA IMPRESSÃO 3D NO CONTEXTO PRODUTIVO

A manufatura aditiva, popularmente conhecida como impressão 3D, tem se consolidado como uma das tecnologias emergentes mais disruptivas no cenário produtivo contemporâneo. Inicialmente restrita à prototipagem rápida em setores industriais de alta complexidade, como aeroespacial e automotivo, sua evolução nas últimas décadas viabilizou aplicações mais amplas, acessíveis e estratégicas. O avanço de materiais e equipamentos possibilitou que a impressão 3D extrapolasse os limites da engenharia e fosse incorporada a áreas como medicina, arquitetura, design, educação e até moda. Essa ampliação do escopo de uso está relacionada à sua capacidade de promover a personalização em massa, reduzir o tempo de desenvolvimento de produtos e eliminar etapas intermediárias na cadeia de produção (GEBLER; UITERKAMP; VISSER, 2014).

À medida que a impressão 3D se torna mais viável economicamente e tecnicamente, ela também passa a ser percebida pelas organizações como um recurso estratégico, capaz de impactar práticas empresariais fundamentais. A manufatura aditiva permite a transição de um modelo produtivo baseado em economias de escala para um paradigma centrado na flexibilidade e na personalização. Essa característica é especialmente relevante em contextos de incerteza ou ruptura, como observado durante a pandemia de COVID-19, quando empresas de diversos portes passaram a fabricar internamente peças de reposição, equipamentos de proteção individual e outros itens essenciais. Conforme argumentam Rayna e Striukova (2016), a impressão 3D oferece às organizações a possibilidade de inovar em múltiplas dimensões: não apenas no design de produtos, mas também em processos e modelos de negócios. Startups e pequenas empresas, por exemplo, utilizam a tecnologia para atender nichos altamente personalizados, enquanto grandes corporações a integram como ferramenta complementar em linhas de montagem ou centros de distribuição, viabilizando estratégias como co-criação com clientes e customização de última hora.

Outro aspecto amplamente discutido na literatura é o potencial da impressão 3D para reduzir custos operacionais. Um dos principais diferenciais da manufatura aditiva está na possibilidade de produção sob demanda, o que reduz significativamente a necessidade de manter estoques volumosos e evita perdas associadas à obsolescência de produtos. Além disso, ao eliminar etapas de montagem e minimizar o uso de ferramentas e moldes, a impressão 3D torna o processo produtivo mais enxuto e responsivo. Berman (2012) ressalta que a tecnologia permite não apenas a redução do tempo de produção, mas também uma economia de materiais, já que o método aditivo utiliza somente o insumo necessário para formar o objeto desejado. Isso contrasta com os processos tradicionais de manufatura subtrativa, que geram elevado volume de resíduos. A digitalização também oferece vantagens adicionais, pois os arquivos de projeto podem ser enviados eletronicamente para unidades descentralizadas de produção, reduzindo custos logísticos e o tempo entre o pedido e a entrega.

Nesse contexto, destaca-se ainda a contribuição da impressão 3D para a sustentabilidade empresarial e ambiental. A fabricação sob demanda, aliada ao uso

otimizado de materiais, favorece a redução do desperdício e do consumo energético. A possibilidade de produzir localmente diminui a dependência de cadeias logísticas longas e complexas, o que impacta positivamente a pegada de carbono associada ao transporte de mercadorias. Holmström et al. (2016) argumentam que a manufatura aditiva se alinha a princípios de economia circular ao permitir o reuso de materiais, a fabricação de peças de reposição sob demanda e a extensão do ciclo de vida de produtos. Essa compatibilidade com objetivos ambientais e regulatórios crescentes amplia o interesse empresarial na adoção da tecnologia, não apenas por seus benefícios operacionais, mas também por seu potencial de gerar valor ambiental e reputacional.

Desse modo, a impressão 3D não deve ser compreendida apenas como uma inovação técnica, mas como um vetor estratégico com múltiplas repercussões para o ambiente de negócios. Sua adoção afeta a forma como produtos são concebidos, produzidos, distribuídos e consumidos, impactando diretamente a competitividade das organizações em um cenário de rápidas transformações tecnológicas e socioeconômicas.

3 O IMPACTO DA PANDEMIA NO COMPORTAMENTO DO CONSUMIDOR E NA ADOÇÃO DE TECNOLOGIAS EMERGENTES

A pandemia de COVID-19 transformou radicalmente os hábitos de consumo e o relacionamento com tecnologias emergentes. Segundo Donthu e Gustafsson (2020), o confinamento levou consumidores a buscar soluções autônomas, criativas e digitais para suprir suas necessidades cotidianas, o que impulsionou a adoção de tecnologias como a impressão 3D. Em um momento de escassez de insumos industriais e falhas logísticas globais, a manufatura aditiva se destacou como uma alternativa viável e acessível para a produção descentralizada de itens de uso imediato, como equipamentos de proteção individual, válvulas hospitalares, suportes para máscaras e utensílios domésticos. A atuação de comunidades locais, hackerspaces e makers em resposta às carências provocadas pela crise sanitária evidenciou o potencial da impressão 3D como ferramenta de inovação social e resposta emergencial, promovendo um senso de autonomia produtiva e solidariedade tecnológica (TINO et al., 2020).

Paralelamente a esse movimento coletivo, o aumento do tempo em casa e o isolamento social levaram muitas pessoas a explorarem a impressão 3D como uma atividade de interesse pessoal, com motivações que variam entre entretenimento, aprendizado e experimentação tecnológica. A impressão 3D passou a ser incorporada como hobby em residências, escolas, laboratórios domésticos e até em oficinas improvisadas, integrando uma nova rotina que valorizava a criatividade, o fazer manual e a personalização de objetos. Essa adoção espontânea da tecnologia foi fortemente influenciada por um ecossistema digital em expansão, composto por repositórios de arquivos gratuitos (como Thingiverse, Printables e MyMiniFactory), tutoriais em vídeo, fóruns de suporte e comunidades ativas em redes sociais como Reddit, Facebook e YouTube. A disponibilidade de conteúdo acessível e didático reduziu as barreiras de entrada para iniciantes e estimulou a cultura do "faça você mesmo", reconfigurando o papel do consumidor como um agente ativo no processo de criação e produção.

Outro fator decisivo para a expansão do uso doméstico da impressão 3D durante o período pandêmico foi a evolução do mercado de impressoras 3D de baixo custo. Modelos mais compactos, silenciosos, fáceis de montar e operar, com interfaces intuitivas e suporte técnico acessível, contribuíram significativamente para ampliar o público consumidor da tecnologia. Conforme apontam Ford e Minshall (2018), o aperfeiçoamento do design das impressoras e o desenvolvimento de filamentos mais estáveis e seguros permitiram que mesmo usuários sem formação técnica conseguissem operar equipamentos e obter bons resultados. Essa transformação possibilitou que a impressão 3D deixasse de ser um domínio exclusivo de engenheiros e designers para se tornar uma prática difundida em lares e escolas, promovendo novas formas de aprendizado prático e interdisciplinar, especialmente no campo das ciências, tecnologia, engenharia, artes e matemática (STEAM)

Assim, a pandemia acelerou a difusão da impressão 3D ao ampliar seu alcance social e revelar seu potencial de personalização, acessibilidade e empoderamento do usuário final. O ambiente de crise, ao mesmo tempo em que impôs limitações severas ao consumo tradicional, criou espaço para a emergência de práticas alternativas de produção e resolução de problemas por meio da tecnologia. Essa experiência coletiva ampliou a visibilidade da manufatura aditiva e favoreceu sua legitimação como ferramenta educativa, criativa e funcional. Em um cenário pós-pandêmico, observa-se a consolidação de um novo perfil de usuário, mais autônomo, engajado e familiarizado com ferramentas digitais, o que tende a impactar positivamente a continuidade da adoção da impressão 3D em múltiplos contextos — doméstico, profissional, educacional e empreendedor.

4 O PAPEL DAS REDES SOCIAIS NA POPULARIZAÇÃO DE NOVAS TECNOLOGIAS

A compreensão dos fatores que impulsionaram o interesse popular pela impressão 3D durante a pandemia exige atenção não apenas aos aspectos tecnológicos, mas também aos canais sociais e culturais pelos quais esse conhecimento foi disseminado. Embora a crise sanitária tenha incentivado práticas de autonomia produtiva e a busca por soluções alternativas, como já discutido, a emergência da impressão 3D como fenômeno de massa só foi possível graças à atuação intensa das redes sociais como vetores de informação, aprendizagem e engajamento coletivo. Plataformas como YouTube, Instagram, Facebook, Reddit e TikTok funcionaram como espaços híbridos de socialização e educação, conectando makers experientes, curiosos iniciantes e profissionais de diversas áreas em torno de práticas compartilhadas de experimentação tecnológica.

As redes sociais não apenas ampliaram o alcance da impressão 3D, mas também redefiniram a forma como novas tecnologias são percebidas, aprendidas e adotadas pelo grande público. O conteúdo audiovisual, os tutoriais curtos, os vídeos de montagem acelerada e os fóruns interativos permitiram que usuários de diferentes níveis de conhecimento pudessem acompanhar, reproduzir e modificar projetos com base em instruções acessíveis e visualmente orientadas. Essa forma de aprendizagem informal e distribuída foi fundamental para desmistificar a tecnologia e integrá-la ao cotidiano de muitos usuários. Conforme argumentam Fauzi, Soin e Idris (2021), o engajamento em redes sociais digitais fortalece o aprendizado autodirigido e facilita a propagação de inovações

tecnológicas ao operar em rede, com múltiplos pontos de entrada e suporte mútuo entre os participantes.

Além disso, as redes sociais funcionaram como canais de validação social, promovendo o reconhecimento público de habilidades, criatividade e soluções práticas desenvolvidas com o uso da impressão 3D. Usuários que compartilhavam suas criações, adaptações ou mesmo falhas de impressão contribuíam para a construção de um repertório coletivo que impulsionava outros a experimentar. A lógica de viralização de conteúdos, os algoritmos de recomendação e os mecanismos de curtidas, comentários e compartilhamentos aumentaram exponencialmente a visibilidade da tecnologia e estimularam sua adoção entre diferentes perfis de usuários. Estudos como o de Zhang, Li e Huang (2021) indicam que a popularização de tecnologias emergentes nas redes sociais está profundamente associada à sua capacidade de gerar engajamento visual, narrativas pessoais e senso de pertencimento a uma comunidade inovadora.

Durante a pandemia, o uso contínuo das redes sociais intensificou esse processo, já que o tempo de exposição às plataformas aumentou significativamente. Em um contexto de isolamento físico, essas redes se tornaram os principais ambientes de circulação de informação, entretenimento e aprendizagem, assumindo funções que antes eram distribuídas entre instituições formais, espaços de convivência e redes presenciais. Esse uso contínuo e multifuncional fortaleceu o papel das redes sociais não apenas como ferramentas de comunicação, mas como infraestruturas sociais que moldam percepções, comportamentos e decisões tecnológicas. A impressão 3D foi uma das beneficiadas por esse ecossistema, pois se apresentava visualmente atraente, criativamente estimulante e adaptável às necessidades emergentes daquele período.

Desse modo, compreender o papel das redes sociais na difusão da impressão 3D permite perceber como tecnologias emergentes deixam de ser um privilégio de especialistas e passam a integrar repertórios culturais mais amplos. A força das redes sociais reside na sua capacidade de conectar pessoas, simplificar conhecimentos complexos, promover interações horizontais e estimular a experimentação prática, configurando-se como agentes fundamentais na formação de um ambiente favorável à inovação distribuída e participativa.

5 METODOLOGIA

Este estudo, de caráter qualitativo e exploratório, foi desenvolvido a partir de uma revisão sistemática, entendida como um método estruturado que utiliza a literatura científica como fonte de dados e aplica procedimentos explícitos, rigorosos e reproduzíveis para a busca, seleção, avaliação crítica e síntese das evidências disponíveis sobre o tema. Essa abordagem possibilitou integrar resultados de diferentes pesquisas, identificar convergências e divergências entre estudos, avaliar a consistência dos achados e reconhecer lacunas que merecem investigação adicional. A metodologia proposta busca garantir rigor, abrangência e relevância na seleção e análise dos estudos científicos incluídos, considerando as múltiplas dimensões sociais, comportamentais e tecnológicas associadas à adoção da manufatura aditiva. Conforme descrito por Sampaio e Mancini (2007), revisões sistemáticas oferecem uma visão abrangente e criteriosa da produção científica, permitindo a construção de conclusões mais robustas.

Esse tipo de revisão é particularmente importante porque permite integrar informações de diversos estudos independentes, muitas vezes com resultados conflitantes, possibilitando ao leitor uma visão consolidada da evidência científica disponível. Ao reunir e comparar achados de forma estruturada, as revisões sistemáticas ajudam a avaliar a consistência e a generalização dos resultados, além de identificar lacunas de conhecimento que podem orientar pesquisas futuras (SAMPAIO; MANCINI, 2007, p. 84).

Na área da Administração, a Revisão Sistemática da Literatura (RSL) tem sido progressivamente adaptada para responder à complexidade, interdisciplinaridade e diversidade metodológica que caracterizam o campo. Diferentemente de sua aplicação original em áreas como a medicina, a RSL em Administração demanda maior flexibilidade epistemológica, permitindo a integração de estudos qualitativos, quantitativos e de métodos mistos, sem abrir mão do rigor, da transparência e da replicabilidade. Essa adaptação se manifesta tanto na formulação das questões de pesquisa — por meio do uso de modelos como PICO e SPIDER, ajustados aos fenômenos organizacionais — quanto na adoção de protocolos robustos, como o PRISMA, aplicados de forma contextualizada (SAMPAIO; MANCINI, 2007). Além disso, o uso de ferramentas tecnológicas e de inteligência artificial tem ampliado a eficiência do processo, especialmente na triagem, organização e análise de grandes volumes de dados, reforçando o papel da RSL como um instrumento central para a síntese de evidências, identificação de lacunas teóricas e fortalecimento da tomada de decisão baseada em evidências na Administração.

A revisão sistemática também representa uma ferramenta central para a prática baseada em evidências (PBE). O aumento contínuo de informações na área da saúde dificulta que profissionais se mantenham atualizados, e esse tipo de estudo oferece um meio seguro, crítico e ordenado de acessar o que há de melhor em termos de evidência científica. Revisões sistemáticas — com ou sem meta-análise — ocupam os níveis mais altos na hierarquia de evidência quando se busca avaliar a eficácia de intervenções (SAMPAIO; MANCINI, 2007, p. 85). Para que esses estudos sejam confiáveis, o processo inclui: definição da pergunta norteadora; busca estruturada em diversas bases de dados; seleção dos estudos por dois avaliadores independentes; análise criteriosa da qualidade metodológica e síntese crítica dos resultados (SAMPAIO; MANCINI, 2007, p. 86–87).

A busca bibliográfica foi realizada em bases de dados amplamente reconhecidas na comunidade científica, incluindo Web of Science, Scopus, ScienceDirect, PubMed e Google Scholar. Essas plataformas foram escolhidas por sua diversidade temática e cobertura de periódicos com elevado fator de impacto nas áreas de inovação, tecnologia, comportamento do consumidor, educação e gestão. A inclusão do Google Scholar teve como objetivo complementar a amostragem, permitindo o acesso a literatura cinzenta e a relatórios técnicos relevantes que, por vezes, não estão indexados nas bases tradicionais.

Foram utilizados descritores relacionados à impressão 3D ("impressão 3D", "manufatura aditiva" / "3D printing", "additive manufacturing"), à pandemia ("COVID-19", "pandemia", "pandemic"), ao comportamento do consumidor ("comportamento do consumidor", "adoção tecnológica" / "consumer behavior", "technology adoption"), às redes sociais ("redes sociais", "plataformas digitais" / "social media", "digital platforms") e às tecnologias emergentes ("tecnologias emergentes", "inovação tecnológica" / "emerging technologies", "technological innovation"), combinados entre si e adaptados às

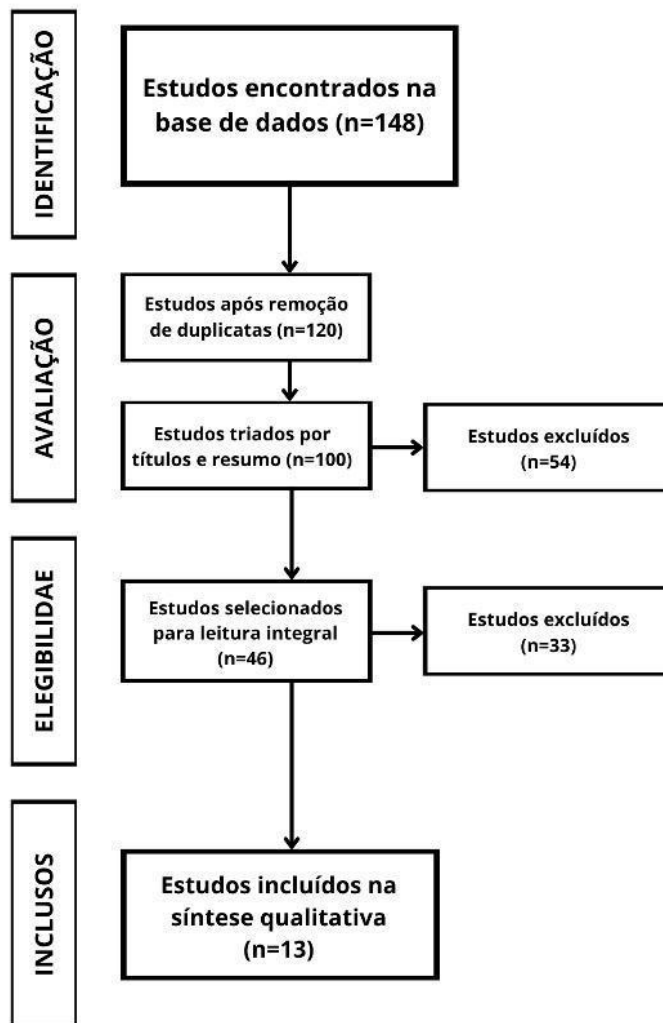
especificidades de cada base de dados consultada. A definição dos descritores baseou-se na leitura preliminar de artigos-chave e em estudos prévios que abordam a temática de forma integrada, considerando tanto os aspectos técnicos quanto os sociais envolvidos no processo.

A seleção dos estudos seguiu critérios de inclusão específicos: (i) publicações compreendidas entre os anos de 2015 e 2025; (ii) artigos redigidos em português ou inglês; (iii) estudos com foco na impressão 3D associada a contextos de inovação, comportamento, aprendizagem informal ou impacto social; (iv) disponibilidade do texto completo para leitura e análise; e (v) publicação em periódicos científicos, capítulos de livros ou relatórios técnicos com reconhecida qualidade editorial.

Foram excluídos da revisão estudos com foco exclusivamente técnico-industrial sem interface com o comportamento de usuários finais, artigos sem fundamentação metodológica, resumos simples, apresentações, duplicações nas bases e documentos indisponíveis na íntegra. Após a triagem inicial com base nos títulos e resumos, os textos selecionados foram avaliados de forma integral com base em critérios de qualificação científica, que incluíram: clareza e pertinência dos objetivos; fundamentação teórica adequada; consistência metodológica; relevância dos resultados para os objetivos da pesquisa; discussão crítica com base na literatura; explicitação das limitações e sugestões de continuidade; e contribuição efetiva para o campo da Administração e inovação tecnológica.

Esta revisão concentrou-se na perspectiva social e comportamental da adoção da impressão 3D, especialmente no contexto da pandemia, priorizando estudos que abordam o uso da tecnologia por consumidores, educadores, comunidades online e *makers*. Embora estudos com abordagem técnica tenham sido considerados para contextualização, a análise priorizou trabalhos que tratam da popularização, acessibilidade e apropriação da impressão 3D em ambientes não industriais. Como limitação, destaca-se a escolha de bases específicas, o que pode ter restringido o acesso a publicações regionais ou de menor circulação, sugerindo possibilidades de aprofundamento em futuras pesquisas.

Figura 1 – Fluxograma PRISMA da seleção dos estudos



A seleção foi guiada pelos critérios definidos previamente e segue os princípios metodológicos da revisão sistemática, com foco em relevância científica e alinhamento com os objetivos da pesquisa.

Quadro 1 – Textos selecionados para a síntese qualitativa

Autores	Ano	Revista / Editora	Contexto Socioeconômico / Tecnologia	Aplicações da Impressão 3D	Impactos Previstos/Propostos	Conceito Central	Contribuição
Berman, B.	2012	Business Horizons	Global; Setor Industrial; Manufatura Aditiva.	Peças de reposição, próteses, protótipos e coroas dentárias.	Redução de estoques físicos; personalização em massa viável.	Nova Revolução Industrial.	Analisa a viabilidade econômica da MA frente à produção em massa tradicional.
Gebler et al.	2014	Energy Policy	Global; Aeroespacial e Médico; Sustentabilidade.	Componentes de aeronaves, implantes médicos e ferramentas.	Redução de até 525 Mt de CO2 e economia de energia até 2025.	Sustentabilidade e Global.	Modela o impacto ambiental da MA em larga escala global.
Arora et al.	2020	J. of Ind. Integration & Mgmt.	Global; Saúde; Resposta à Pandemia.	Válvulas de oxigênio, protetores faciais, ventiladores.	Flexibilidade da cadeia de suprimentos em crises; produção regional rápida.	Cadeia de Suprimentos Digital.	Demonstra a eficácia da MA na mitigação de rupturas logísticas durante a COVID-19.
Gibson et al.	2015	Springer (Livro)	Acadêmico/Industrial; Múltiplas Tecnologias.	Prototipagem, aeroespacial, automotiva e bioimpressão.	Padronização de processos (ASTM/ISO) e terminologia técnica.	Fundamentos da MA.	Define os padrões técnicos e a base educacional para o campo da MA.
Klenam et al.	2025	Applications in Eng. Science	África; Agenda 2063; Industrialização.	Saúde, construção civil, setor aeroespacial na África.	Soberania tecnológica; redução do desemprego e "leapfrogging" industrial.	Soberania e Desenvolvimento.	Posiciona a MA como ferramenta para o desenvolvimento sustentável africano.
Waeterloos et al.	2021	Technology in Society	Bélgica; Participação Social/Digital.	Mídias Sociais (infraestrutura digital).	Identificação de perfis de participação que sustentam redes de design.	Participação Política Digital.	Valida escalas de engajamento que explicam como comunidades "Maker" operam.

Donthu; Gustafsson	2020	Journal of Business Research	Global; Comportamento do Consumidor; Crise.	Impacto em serviços e negócios físicos.	Mudança drástica nos hábitos de consumo; falências de empresas tradicionais.	Impacto da COVID-19 nos Negócios.	Contextualiza a necessidade de novas tecnologias (como MA) para resiliência empresarial.
Ansari; Khan	2020	Smart Learning Environments	Índia; Ensino Superior.	Aprendizagem Colaborativa via Redes Sociais.	Melhoria no desempenho acadêmico e na troca de conhecimento técnico.	Aprendizagem Colaborativa.	Analisa como ferramentas digitais facilitam a educação necessária para a MA.
Rayna; Striukova	2016	Tech. Forecasting & Social Change	Global; Modelos de Negócio.	Da prototipagem rápida à fabricação doméstica por consumidores.	Desintermediação da indústria; democratização da criação de valor.	Inovação de Modelo de Negócio.	Explora como a MA desloca o valor da manufatura para o design digital.
Shuaib et al.	2021	Sustainable Oper. & Computers	Global; Manufatura Sustentável.	Peças complexas de metal e polímero.	Redução de resíduos (90%); alerta para alto consumo de energia em certas máquinas.	Sustentabilidad e Ambiental.	Compara o consumo de energia e resíduos entre MA e manufatura subtrativa.
Ford; Minshall	2018	Additive Manufacturin g	Global; Educação; Escolas e Universidades.	Modelos anatômicos, kits de robótica, auxílio tátil.	Engajamento estudantil; inclusão de alunos com deficiência visual.	3D na Educação.	Sistematiza seis casos de uso da MA como ferramenta pedagógica.
Mavri et al.	2023	J. of Science & Tech. Policy Mgmt.	Grécia; Percepção do Consumidor.	Objetos domésticos, joias, brinquedos.	Identificação do perfil do "prosumidor" (produtor + consumidor).	Adoção de Tecnologia.	Classifica os usuários em cinco grupos (inovadores, ecologistas, etc.) por atitude.
Holmström et al.	2016	Operations Management Research	Global; Gestão de Operações.	Peças finais industriais e reposição local.	Encurtamento das cadeias de suprimento; redução de estoques parados.	Gestão de Operações DDM.	Propõe uma agenda de pesquisa para integrar a MA na estratégia de operações global.

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

A partir dos textos selecionados foi realizada a síntese qualitativa. Os resultados dessa etapa são apresentados a seguir.

6. EVOLUÇÃO E APLICAÇÕES DA IMPRESSÃO 3D NO CONTEXTO PRODUTIVO

A base técnica fundamental desta área é estabelecida por Gibson, Rosen e Stucker (2015). Os autores fornecem um mapeamento exaustivo das sete categorias de processos reconhecidas pelas normas ASTM/ISO, detalhando a evolução do conceito de "What You See Is What You Build" (WYSIWYB). A obra descreve meticulosamente a cadeia de processo em oito etapas: (1) criação do modelo CAD, (2) conversão para o formato STL (Stereolithography), (3) transferência e manipulação do arquivo no software da máquina, (4) configuração dos parâmetros do equipamento, (5) construção camada a camada, (6) remoção do objeto, (7) pós-processamento necessário e (8) aplicação final. Um ponto crítico abordado é a "complexidade de graça", permitindo geometrias que métodos tradicionais não conseguem replicar sem custos proibitivos. Os autores discutem as limitações de precisão e a necessidade de suporte em tecnologias como SLA e FDM, além de explorarem a transição histórica da Prototipagem Rápida (RP) para a Manufatura Digital Direta (DDM). O texto destaca que a MA permite a consolidação de peças, reduzindo o número de componentes em montagens complexas, o que tem impactos diretos na confiabilidade e redução de peso em setores como aeroespacial e médico. Além disso, a obra explora o "haptic-based CAD", sugerindo que as ferramentas de design precisam evoluir para permitir uma expressão criativa mais intuitiva, superando as restrições dos softwares de engenharia tradicionais.

Complementando a visão estratégica, Berman (2012) caracteriza a tecnologia como o motor de uma nova revolução industrial. O autor argumenta que a MA elimina a "tirania das economias de escala", tornando a produção de um único item tão barata, por unidade, quanto a produção de milhares. Berman (2012) foca na desintermediação logística, onde o "estoque físico" é substituído pelo "inventário digital", reduzindo drasticamente o capital imobilizado. Ele ilustra casos onde entusiastas compartilham designs online e usuários em continentes diferentes os fabricam em horas. Berman (2012) prevê que países com altos salários poderão repatriar indústrias, pois o custo da mão de obra direta torna-se secundário em relação à automação e flexibilidade da MA. O texto também levanta questões sobre a proteção da propriedade intelectual, comparando a ameaça da impressão 3D para fabricantes de bens físicos ao que o Napster representou para a indústria fonográfica.

A integração da MA na estratégia de operações é aprofundada por Holmström et al. (2016). Os autores definem uma agenda de pesquisa focada em como a DDM reconfigura as fábricas e as cadeias de suprimentos. No nível da fábrica, eles questionam as práticas tradicionais de agendamento e lotes, visto que a MA permite fabricar "kits" de peças diferentes em uma única bandeja de construção, eliminando setups de ferramentas. O conceito central é a transição para o "indivíduo produto", onde cada peça possui uma identidade digital única e histórico desde a fabricação. No nível da cadeia de suprimentos, o estudo prevê o colapso de níveis inteiros de fornecedores, pois as peças de reposição podem

ser fabricadas localmente, eliminando a necessidade de grandes armazéns de peças obsoletas e reduzindo os tempos de espera de meses para dias. Holmström et al. (2016) destacam que a MA não substituirá a produção em massa convencional de imediato, mas criará soluções híbridas onde a MA apoia a manufatura baseada em ferramentas ou substitui produtos onde a personalização agrega valor crítico.

A disrupção nos modelos de negócios é o foco de Rayna e Striukova (2016). Os autores propõem que a MA força as empresas a repensar a criação e a captura de valor. Eles identificam quatro fases de evolução: prototipagem, ferramentaria rápida, manufatura direta e fabricação doméstica. O maior desafio identificado é a "desmaterialização" dos produtos físicos. À medida que os consumidores se tornam "prosumidores" (produtores e consumidores simultâneos), o valor migra da fabricação para o design e a curadoria de arquivos digitais. O artigo alerta que as empresas que dependem de modelos de negócios "baseados em ativos" enfrentarão crises existenciais, comparáveis às indústrias de mídia, pois o controle sobre a distribuição física é perdido. A captura de valor passará por plataformas que gerenciam o crowdsourcing de designs e garantem a qualidade e a segurança jurídica (IP) das impressões locais.

A viabilidade de sustentabilidade global é modelada quantitativamente por Gebler, Uiterkamp e Visser (2014). Este é o primeiro estudo a oferecer uma análise top-down do impacto ambiental da MA em larga escala. Os autores projetam que, até 2025, a tecnologia poderia reduzir as emissões globais de CO₂ em até 525 milhões de toneladas e economizar até 5% da energia primária total consumida pela indústria global. O impacto mais significativo ocorre no setor aeroespacial, onde o "lightweighting" (redução de peso através de design otimizado) gera economias massivas de combustível durante a fase de uso da aeronave. Além disso, o estudo aponta que a redução de resíduos (buy-to-fly ratio) na produção de metais é um driver crítico de sustentabilidade, embora advirta que o alto consumo energético das impressoras em si precisa ser mitigado pela transição para matrizes energéticas limpas.

Entretanto, Shuaib et al. (2021) introduzem uma nota necessária de cautela através de uma análise de ciclo de vida (LCA). Eles demonstram que a Manufatura Subtrativa (SM) pode ser mais eficiente energeticamente do que a MA para geometrias simples e grandes volumes de produção. O estudo fornece fórmulas para medir a "Process Productivity" (PP) e a "Energy Consumption Rate" (ECR), revelando que o consumo específico de energia (SEC) em máquinas de MA de metal e polímero é frequentemente ordens de grandeza superior ao de tornos e fresas convencionais. Shuaib et al. (2021) concluem que a vantagem ambiental da impressão 3D não é inerente à máquina, mas sim ao design: a redução de 70% a 90% no desperdício de material bruto e a capacidade de fabricar peças ocas e complexas compensam o alto gasto energético da fusão a laser se o ciclo de vida total do produto for considerado.

Por fim, a perspectiva geográfica e social de desenvolvimento é trazida por Klenam et al. (2025). Os autores posicionam a MA como uma ferramenta para o "leapfrogging" industrial do continente africano. Eles ligam a tecnologia à Agenda 2063 da União Africana, vendo nela uma solução para o desemprego jovem e para a dependência de importações de baixo valor agregado. O texto defende a criação de centros de excelência regionais que utilizem a riqueza mineral da África para criar pós metálicos localmente,

alimentando cadeias de valor soberanas. Além disso, destacam que a natureza descentralizada da MA é ideal para ambientes com infraestrutura logística precária, permitindo que vilas isoladas fabriquem ferramentas agrícolas ou componentes de saúde localmente.

7. O IMPACTO DA PANDEMIA NO COMPORTAMENTO DO CONSUMIDOR E NA ADOÇÃO DE TECNOLOGIAS EMERGENTES

A resposta imediata da MA à crise é documentada por Arora et al. (2020). O artigo detalha como a interrupção das cadeias de suprimentos globais forçou hospitais e governos a adotar a MA para suprir a escassez de EPIs, válvulas de ventiladores e swabs para testes. A grande inovação demonstrada foi a "Cadeia de Suprimentos Ativada por MA", caracterizada pela flexibilidade extrema: um design digital desenvolvido na Itália podia ser validado clinicamente e impresso na Índia ou nos EUA em poucas horas. Os autores enfatizam que a pandemia validou a MA não apenas como uma ferramenta de prototipagem, mas como uma infraestrutura de resiliência nacional capaz de fabricar dispositivos médicos complexos em ambientes não industriais.

O contexto macroeconômico desta transformação é fornecido por Donthu e Gustafsson (2020). Os autores analisam como a pandemia alterou permanentemente o comportamento do consumidor, citando fenômenos como o "hoarding" (estocagem por pânico) e a privação sensorial do isolamento social. Donthu e Gustafsson (2020) argumentam que a crise forçou uma "transformação digital radical" em setores antes resistentes, como a educação e o pequeno varejo. A digitalização deixou de ser uma vantagem competitiva para tornar-se uma necessidade de sobrevivência. Este cenário preparou o mercado para aceitar bens "desmaterializados" e modelos de produção sob demanda, pois a conveniência e a resiliência tornaram-se mais valorizadas do que o custo mínimo de produção em massa em países distantes.

A percepção e a prontidão do consumidor para estas novas tecnologias são medidas por Mavri et al. (2023). Em um estudo conduzido na Grécia, os pesquisadores classificam os usuários em cinco perfis psicológicos: "inovadores", "informados", "ecologistas", "engenheiros" e "re-usuários". Os dados revelam que quase 80% dos participantes acreditam que a MA mudará profundamente suas vidas cotidianas. Um achado crucial é que a consciência ambiental (perfil "ecologista") é um dos maiores drivers para a adoção doméstica, pois os consumidores preferem produtos feitos de filamentos reciclados e com menor pegada de transporte. O estudo conclui que a educação superior é o fator que mais correlaciona positivamente com a intenção de compra de uma impressora 3D pessoal, indicando que a democratização da tecnologia depende diretamente da literacia técnica e digital.

8. O PAPEL DAS REDES SOCIAIS NA POPULARIZAÇÃO DE NOVAS TECNOLOGIAS.

A base do aprendizado colaborativo mediado pelas redes sociais é explorada por Ansari e Khan (2020). Utilizando modelagem de equações estruturais (SEM), os autores provam que o uso de plataformas digitais (LinkedIn, YouTube, Facebook) para fins educacionais aumenta significativamente a interação entre pares e mentores. No contexto

da MA, esta descoberta é vital, pois a tecnologia prospera em ecossistemas de código aberto e compartilhamento de arquivos CAD. O estudo quantifica que o engajamento dos estudantes através das mídias sociais leva a uma melhoria direta na performance acadêmica, facilitando a troca de conhecimentos técnicos complexos que seriam inacessíveis em currículos fechados. As redes sociais atuam, portanto, como o "espaço de treinamento" informal que sustenta o Movimento Maker global.

A estrutura sociológica deste engajamento online é validada por Waeterloos et al. (2021). Embora o estudo foque na participação política, sua aplicação na tecnologia reside na validação de uma escala que diferencia formas "latentes" e "expressivas" de participação online. O perfil do "participante latente" (que consome conteúdo e busca informações) e do "participante expressivo" (que cria e compartilha posts/designs) descreve perfeitamente o ciclo de vida de um entusiasta de impressão 3D em comunidades como Thingiverse ou Reddit. A escala validada permite entender como as redes de design aberto se organizam e como indivíduos se movem da periferia do conhecimento para se tornarem criadores ativos (prosumidores), o que é essencial para a massa crítica da inovação distribuída em MA.

Finalmente, a síntese entre educação formal e popularização tecnológica é realizada por Ford e Minshall (2018). Esta revisão sistemática de 280 artigos identifica seis categorias de uso da MA na educação, indo do ensino "sobre" a tecnologia ao uso de objetos impressos como "auxílios táteis" para o aprendizado de química, biologia e matemática. Os autores destacam o papel das bibliotecas e dos "makerspaces" como novos centros comunitários de inclusão digital e social. O uso da MA para criar tecnologias assistivas (próteses customizadas para alunos com deficiência) é citado como um catalisador de empatia e engajamento social que humaniza a engenharia. Ford e Minshall (2018) alertam que o sucesso da popularização da MA não depende apenas de máquinas mais baratas, mas de currículos que capacitem os professores a utilizar a tecnologia de forma pedagógica, superando a barreira de ver a impressão 3D apenas como um "gadget" tecnológico.

9. CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A trajetória da Manufatura Aditiva — da prototipagem rápida à Manufatura Digital Direta (DDM) — representa uma inflexão estrutural na lógica industrial contemporânea. A pesquisa evidenciou que a vantagem central desta tecnologia não reside apenas na velocidade de produção, mas em uma propriedade mais profunda: a complexidade geométrica deixa de ter custo. Isso viabiliza a consolidação de componentes, a otimização topológica e a redução de peso em peças críticas — avanços que redefinem os paradigmas de projeto nos setores aeroespacial, médico e de defesa.

A pandemia de COVID-19 funcionou como um experimento de estresse para as cadeias de suprimentos globais e, ao mesmo tempo, como uma prova de conceito da MA como ferramenta de resiliência sistêmica. A substituição do "estoque físico" pelo "inventário digital" demonstrou que a produção localizada e sob demanda não é apenas uma alternativa logística, mas uma estratégia de soberania produtiva. Paralelamente, as comunidades maker e as redes de compartilhamento open-source revelaram-se agentes

ativos de democratização tecnológica, operando em um ecossistema de inovação distribuída que nenhum laboratório centralizado poderia replicar com a mesma velocidade.

9.1 Desafios Críticos para a Expansão

O potencial disruptivo da MA não elimina suas contradições internas e pelo menos três tensões estruturais merecem atenção. A primeira é o paradoxo da sustentabilidade: embora a MA reduza o desperdício de material em até 90% em relação a processos subtrativos, o consumo energético por quilograma fabricado pode superar o de métodos convencionais na fase de construção. O benefício ambiental real depende, portanto, de uma análise de ciclo de vida completo — e não apenas do processo produtivo isolado. A segunda tensão envolve propriedade intelectual e governança. A desmaterialização de produtos físicos em arquivos digitais dissolve as fronteiras tradicionais entre fabricante e consumidor, criando lacunas regulatórias na proteção de designs, na rastreabilidade de itens críticos e na responsabilização jurídica por falhas. A fabricação não regulamentada de peças funcionais — incluindo armas e dispositivos médicos — representa um vetor de risco social ainda sem resposta institucional adequada. A terceira limitação é técnica e operacional: build rates insuficientes para produção de alto volume, variabilidade dimensional entre lotes e a necessidade de pós-processamento intensivo continuam a restringir a adoção plena em ambientes industriais de alta exigência.

9.2 Implicações para a Gestão e as Operações

Para a Ciência da Administração, a MA não é uma ferramenta incremental — é um vetor de reconfiguração organizacional que precisa levar em consideração alguns movimentos especialmente relevantes. Dentre eles, destaca-se o colapso de elos na cadeia de suprimentos: a produção no ponto de consumo elimina intermediários logísticos, reduz estoques físicos e encurta os ciclos de resposta ao mercado. Merece destaque também a emergência do modelo prosumidor: o valor migra da posse de ativos industriais para a capacidade de gerenciar ecossistemas de design e curadoria digital — um deslocamento que exige novas competências organizacionais e novos modelos de captura de valor. Além disso, tem-se o potencial de leapfrogging em economias emergentes: ao viabilizar redes descentralizadas de micro-produção, a MA oferece a países como os do continente africano uma rota de industrialização que não replica a trajetória histórica do Ocidente, mas a contorna.

9.3 Agenda Futura

No que se refere aos desenvolvimentos futuros, a consolidação da MA como infraestrutura produtiva de referência depende de três convergências: a integração de Inteligência Artificial para monitoramento em tempo real e controle adaptativo de processos; o desenvolvimento de novos materiais metálicos e poliméricos com propriedades funcionais ampliadas; e, sobretudo, a construção de um arcabouço normativo internacional robusto — baseado nos frameworks ISO/ASTM — capaz de certificar peças

críticas e habilitar a adoção massiva em setores altamente regulados como saúde, aviação e energia. O que este conjunto de pesquisas revela, em última análise, é que a Manufatura Aditiva não é apenas uma nova forma de fabricar objetos. É uma tecnologia de redistribuição de poder produtivo — que comprime a distância entre a ideia e o artefato, entre o centro e a periferia, entre o grande fabricante e o pequeno empreendedor. Ao tornar a fabricação local, digital e acessível, ela não apenas transforma processos industriais: reconfigura quem tem o direito de produzir, onde e para quem. Esse é o seu alcance mais profundo — e o horizonte que justifica a atenção crescente da teoria administrativa ao tema

10 REFERENCIAS

- ADVINCULA, R. C.; DIZON, J. R. C.; CHEN, Q.; et al. *Additive manufacturing for COVID-19: Devices, materials, prospects, and challenges*. MRS Communications, v. 10, p. 413–427, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1557/mrc.2020.57>
- ANSARI, Jamal Abdul Nasir; KHAN, Nawab Ali. *Exploring the role of social media in collaborative learning – the new domain of learning*. Smart Learning Environments, v. 7, n. 9, 2020. Disponível em: SpringerOpen. Acesso em: 21 out. 2025.
- BERMAN, B. *3-D printing: The new industrial revolution*. Business Horizons, v. 55, n. 2, p. 155–162, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2011.11.003>
- BEZERRA, Claudia Maria da Silva; RAMOS, Heidy Rodriguez; RIBEIRO, Ivano. *Revisão sistemática da literatura: fundamentos, desafios e contribuições para a pesquisa em Administração*. Iberoamerican Journal of Strategic Management (IJSM), São Paulo, v. 24, n. 1, p. 1–17, e28731, jan./abr. 2025. DOI: 10.5585/2025.28731.
- DONTHU, N.; GUSTAFSSON, A. *Effects of COVID-19 on business and research*. Journal of Business Research, v. 117, p. 284–289, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.06.008>
- FORD, S.; MINSHALL, T. *Invited review article: Where and how 3D printing is used in teaching and education*. Additive Manufacturing, v. 25, p. 131–150, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.addma.2018.10.028>
- GEBLER, M.; SCHOOT UITERKAMP, A. J. M.; VISSER, C. *A global sustainability perspective on 3D printing technologies*. Journal of Cleaner Production, v. 182, p. 976–985, 2018b. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.317>
- GIBSON, I.; ROSEN, D. W.; STUCKER, B. *Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing*. 2. ed. New York: Springer, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2113-3>
- HOLMSTRÖM, J. et al. *The direct digital manufacturing (r)evolution: Definition of a research agenda*. Journal of Manufacturing Technology Management, v. 21, n. 4, p. 546–567, 2010. DOI: 10.1007/s12063-016-0106-z

KLENAM, Desmond; MCBAGONLURI, F.; ASUMADU, Tabiri Kwayie; OSAFO, Sarah Akua; et al. *Additive manufacturing: shaping the future of the manufacturing industry – overview of trends, challenges and opportunities*. Applications in Engineering Science, abr. 2025. DOI: 10.1016/j.apples.2025.100224.

MAVRI, Mania; FRONIMAKI, Evgenia; KADREFI, Athanasia. *Survey analysis for the adoption of 3D printing technology: consumers' perspective*. Journal of Science and Technology Policy Management, ahead-of-print, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1108/JSTPM-02-2020-0023>

RAYNA, T.; STRIUKOVA, L. *From rapid prototyping to home fabrication: How 3D printing is changing business model innovation*. Technological Forecasting and Social Change, v. 102, p. 214–224, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2015.07.023>

SAEED MUJAHID, Muhammad; MUBARIK, Muhammad Shujaat. *The Bright Side of Social Media: Social Media Platforms Adoption and Start-Up Sustainability*, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.661649>

SAMPAIO, Rosana F.; MANCINI, Maria C. *Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica*. Revista Brasileira de Fisioterapia, São Carlos, v. 11, n. 1, p. 83–89, jan./fev. 2007.

SHUAIB, M.; HALEEM, A.; KUMAR, S.; JAVAID, M. *Impact of 3D Printing on the environment: A literature-based study*. Sustainable Operations and Computers, v. 2, p. 57–63, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.susoc.2021.04.001>.