

**PROMOVENDO A MANUFATURA SUSTENTÁVEL NA FABRICAÇÃO DE  
MÓVEIS POR MEIO DA MANUFATURA ADITIVA**

**PROMOTING SUSTAINABLE MANUFACTURING IN FURNITURE PRODUCTION  
THROUGH ADDITIVE MANUFACTURING**

Recebido em: 24/01/2026

Aceito em: 17/04/2026

Publicado em: 20/05/2026

Dusan Schreiber<sup>1</sup> 

Universidade FEEVALE

Jeferson Machado de Moura<sup>2</sup> 

Universidade FEEVALE

Alexandre André Feil<sup>3</sup> 

Universidade FEEVALE

Cristiane Froehlich<sup>4</sup> 

Universidade FEEVALE

**Resumo:** A indústria de móveis representa uma atividade econômica tradicional com relevante impacto ambiental, caracterizada também pelo ritmo lento na adoção de tecnologias avançadas. A literatura científica aponta que diversas tecnologias da indústria 4.0 podem contribuir para maior eficiência produtiva e mitigação do impacto ambiental. Este estudo teve como objetivo analisar as possibilidades de promover a manufatura sustentável na fabricação de móveis, por meio da manufatura aditiva. Para alcançar o referido objetivo optou-se pela estratégia de levantamento de campo, abordagem qualitativa, entrevistando 12 profissionais, ocupantes cargos de gestão operacional em indústrias de móveis, 10 do Brasil e 2 da Suécia. O conteúdo das entrevistas foi submetido à análise de conteúdo. Os resultados mostraram que a Manufatura Aditiva já se tornou realidade em diversas organizações industriais, com redução significativa do impacto ambiental, tanto no Brasil, como na Suécia. Maiores contribuições da Manufatura Aditiva, para promover a Manufatura sustentável, constatou-se na etapa inicial do processo de fabricação, ou seja, na concepção do produto, design, projeto, redução de desperdício de matéria prima, retrabalho, minimizar os deslocamentos internos, de movimentação de matéria prima e de produtos acabados, além de diminuição do consumo de energia elétrica.

**Palavras-chave:** Manufatura Sustentável; Manufatura Aditiva; Fabricação de Móveis; Brasil; Suécia.

**Abstract:** The furniture industry represents a traditional economic activity with a significant environmental impact, also characterized by a slow pace in the adoption of advanced technologies. Scientific literature indicates that various Industry 4.0 technologies can contribute to greater productive efficiency and mitigation of environmental impact. This study aimed to analyze the possibilities of promoting sustainable manufacturing in furniture production through additive manufacturing. To achieve this objective, a field survey strategy was chosen, employing a qualitative approach, interviewing 12 professionals holding operational management positions in

---

<sup>1</sup> Doutor em Administração. Professor titular e docente permanente do Mestrado em Administração, Programa em Qualidade Ambiental e Programa Profissional em Indústria Criativa, da Universidade FEEVALE, Novo Hamburgo, RS, Brasil. E-mail: [dusan@feevale.br](mailto:dusan@feevale.br)

<sup>2</sup> Mestre em Administração pela Universidade FEEVALE. Novo Hamburgo, RS, Brasil. E-mail: [jeferson.mooura@gmail.com](mailto:jeferson.mooura@gmail.com)

<sup>3</sup> Doutor em Qualidade Ambiental. Professor titular da Universidade UNIVATES. Lajeado, RS, Brasil. E-mail: [afeil@univates.br](mailto:afeil@univates.br)

<sup>4</sup> Doutora em Administração. Professora titular e docente permanente do Mestrado em Administração, da Universidade FEEVALE, Novo Hamburgo, RS, Brasil. E-mail: [cfroehlich@feevale.br](mailto:cfroehlich@feevale.br)



furniture industries, 10 from Brazil and 2 from Sweden. The content of the interviews was subjected to content analysis. The results showed that additive manufacturing has already become a reality in several industrial organizations, with a significant reduction in environmental impact, both in Brazil and Sweden. The greatest contributions of Additive Manufacturing to promoting sustainable manufacturing were observed in the initial stage of the manufacturing process, namely in product conception, design, project, reduction of raw material waste, rework, minimizing internal movements of raw materials and finished products, as well as decreasing electricity consumption.

**Keywords:** Sustainable Manufacturing; Additive Manufacturing; Furniture Manufacturing; Brazil; Sweden.

## INTRODUÇÃO

A fabricação de móveis, juntamente com elaboração de vestimentas, calçados e preparo de alimentos, é considerada uma das atividades econômicas mais tradicionais da humanidade, pois desde seus primórdios, o ser humano precisava adaptar o seu habitat, para sua melhor organização e assegurar sua sobrevivência (Litchfield, 2011). Mesmo que de maneira improvisada, o ser humano se adaptou ao contexto e desenvolveu a capacidade de reconhecer o valor de uso de materiais encontrados na natureza e transformá-los em objetos de uso pessoal (Montenegro, 1995). A madeira, encontrada em abundância na natureza, representou a matéria prima preponderante no referido processo de transformação (Lopes, 2004).

Ao longo do tempo, com o aumento exponencial da população humana, associada ao aprimoramento da capacidade cognitiva e avanços científicos e tecnológicos, a demanda do ser humano tanto por itens de consumo como por bens duráveis, como mobiliário, também cresceu, tensionando a relação do ser humano com o meio natural (Litchfield, 2011; Oates, 1981). A preocupação com o evidente agravamento da qualidade ambiental motivou o surgimento de iniciativas de articulação de grupos sociais para repercutir e visibilizar os riscos ao meio ambiente, decorrente de atividades antrópicas, bem como para pressionar os representantes legais, na maioria dos países, para promulgar legislação de proteção ao meio ambiente (Pang; Zhang, 2019).

Este processo de articulação da sociedade civil organizada se intensificou, especialmente nas últimas décadas, com resultados positivos (Freitas, 2012). Atualmente, a maioria dos países já possui legislação de proteção ambiental consistente e robusta, para regular tanto a vida de pessoas físicas, como a atuação de organizações, públicas ou privadas, que geram impacto ambiental (Schreiber, 2023).

Ao mesmo tempo, os avanços científicos e tecnológicos, notadamente nas últimas décadas, contribuíram, de forma relevante, para melhorar a condição de vida do ser humano, com a concepção e introdução de máquinas e equipamentos em atividades pesadas e insalubres, bem como para seu lazer, entretenimento, saúde e segurança (Roblek; Meško; Podbregar, 2021). Dentre dos mencionados avanços destaca-se a rede mundial de computadores, a internet,

em especial a democratização do acesso à mesma, nos últimos trinta anos, para empresas e pessoas físicas, tanto por meio de computadores, como pela utilização de aplicativos em equipamentos móveis, como celulares (Xu; Xu; Li, 2018; Zhong *et al.*, 2017).

No âmbito empresarial os referidos avanços em eletrônica e computação embasaram o desenvolvimento de amplo leque de tecnologias direcionadas para a automação de processos operacionais, com aumento expressivo de níveis de produtividade, eficiência, redução de tempos de produção e de volumes de resíduos gerados (Wang *et al.*, 2016). A profusão de novas tecnologias, especialmente as digitais, motivou o grupo de pesquisadores alemães a propor, no ano 2011, o conceito da indústria 4.0; este reuniu o conjunto de nove tecnologias específicas, dentre as quais destaca-se Manufatura Aditiva (Ashima *et al.*, 2021). As organizações, especialmente as indústrias, analisaram e identificaram diversas funcionalidades da Manufatura Aditiva que poderiam contribuir para alcançar mais altos níveis de eficiência produtiva, bem como na adoção da Manufatura Sustentável, por meio de revisão e ajustes na organização e gestão de processos operacionais (Tavares *et al.*, 2023).

Nesta perspectiva, o objetivo da pesquisa foi analisar as possibilidades de promover a manufatura sustentável na fabricação de móveis, por meio da manufatura aditiva. A pesquisa se justifica na medida em que se constatou que há uma escassez de estudos que investiguem a contribuição da Manufatura Aditiva para mitigar os impactos ambientais na indústria moveleira, tanto no Brasil, como no exterior (Schreiber *et al.*, 2024). Assim, a questão de pesquisa, norteadora do estudo, foi formulada da seguinte forma: “De que forma a adoção da tecnologia da Manufatura Aditiva pode contribuir para promover o modelo da Manufatura Sustentável na fabricação de móveis?”

Para alcançar o referido objetivo optou-se pela estratégia de levantamento de campo, abordagem qualitativa, entrevistando 12 profissionais, ocupantes cargos de gestão operacional em indústrias de móveis, 10 do Brasil e 2 da Suécia. O conteúdo das entrevistas foi submetido à análise de conteúdo, seguindo as recomendações da literatura científica (Bardin, 2016) em etapas de codificação, categorização e inferência. Na pré-análise foi realizada a leitura flutuante do material coletado, de entrevistas transcritas, documentos consultados e observações presenciais, resultando na seleção dos elementos de análise à luz de categorias analíticas definidas a priori, compreendendo a etapa de exploração do material. Na etapa final, de interpretação, foi realizada leitura detida dos materiais selecionados e interpretados à luz de revisão teórica. O trabalho inicia com esta introdução, sendo sequenciado com a revisão teórica sobre Manufatura Verde e tecnologia Manufatura Aditiva. Em seguida, detalha-se o percurso

metodológico adotado na pesquisa. O tópico de Análise e discussão de resultados é apresentado na sequência, juntamente com as Considerações finais e Referências.

## MANUFATURA VERDE

De acordo com Bylinsky (1995), no final dos anos 80 foi estabelecido um padrão de manufatura sustentável, onde qualquer empresa que desejasse competir globalmente deveria começar a fabricar produtos que estivessem de acordo com a regulamentação sustentável do mercado europeu. A partir de então, as atividades de manufatura começaram a se concentrar na redução de resíduos na produção, para depois focarem na redução de recursos, energia e materiais tóxicos, bem como o desenvolvimento e uso de materiais renováveis. Atualmente, as empresas estão muito mais conscientes das preocupações ambientais e com objetivos mais claros de garantir a sustentabilidade para o crescimento futuro. A “produção verde” está se tornando uma estratégia vital adotada por várias indústrias através de processos, técnicas, práticas ou sistemas novos ou modificados (Thurner; Roud, 2015). A transição para uma nova economia mais sustentável e inclusiva implica ampliar o olhar sobre a manufatura, compreendendo os contextos locais e globais. O setor industrial brasileiro deve ser protagonista nesse processo de transformação do modelo de gestão, uma vez que é responsável por 23,4% do Produto Interno Bruto (PIB) e 24,3% dos empregos formais gerados no país (Aligleri *et al.*, 2016).

Outros fatores que vêm contribuindo para essa mudança são as regulamentações mais rígidas sobre o meio ambiente e aumento da pressão pública, que estão forçando os fabricantes a incluir fatores ambientais em suas estratégias de manufatura e a adotar sistemas de produção que minimizam os impactos negativos das operações no meio ambiente e recursos naturais (Kazancoglu *et al.*, 2018; Bai *et al.*, 2018). Com isso, é compreensível que haja uma continuidade de estudos que abordem a temática de uma manufatura sustentável e ligada a outros objetivos empresariais, que não sejam somente os econômicos. A indústria de manufatura, apesar de sua representatividade socioeconômica, é responsável por relevantes impactos ambientais (Silva *et al.*, 2015). Segundo a *Energy Information Administration* (2019), processos de manufatura ainda possuem altos níveis de consumo de energia e emissões de gases de efeito estufa (GEEs), e estes exercem uma influência direta na vida do planeta. Dessa forma, os estudos devem continuar sendo a pauta principal para auxiliar na resolução dos problemas ambientais causados pelas atividades de produção.

Pode-se afirmar que a manufatura sustentável tem como meta projetar e fornecer produtos que minimizem os efeitos negativos no meio ambiente por meio de sua produção, uso e descarte (Rehman; Shrivastava, 2013). De acordo com Bylinsky (1995), o conceito originou-se na Alemanha no final dos anos 80, através de uma norma de fabricação global eficaz, argumentando que qualquer empresa que deseje competir globalmente deve cumprir a regulamentação sustentável do mercado europeu. A orientação segue o entendimento de que a produção sustentável combina com as estratégias de manufatura que atualmente representam o *mainstream* na literatura científica, com destaque para o fornecimento global, design para manufatura, engenharia simultânea e qualidade total.

Desde então, as atividades de manufatura sustentável começaram a se concentrar na redução de resíduos na produção, alterando também sua orientação por processo para orientação para produto. Segundo Seliger *et al.* (2008), as atividades concentraram-se principalmente na redução de recursos, energia e materiais tóxicos, bem como o desenvolvimento e uso de materiais renováveis. Visão semelhante foi trazida por Li e Zhang (2018) que enumeraram casos em que organizações abordaram essas preocupações, poucas delas são projetadas para reutilização e reciclagem, minimizando o desperdício, as emissões e o consumo de matéria-prima. Segundo esses autores, as legislações estão cada vez mais exigentes, e o público consumidor mais atento em relação à procedência dos produtos. A manufatura sustentável, portanto, se refere aos sistemas de produção que minimizam os impactos negativos das operações sobre o meio ambiente e os recursos naturais.

Diante deste contexto, de regulamentações mais rígidas sobre o meio ambiente e aumento da pressão pública, fabricantes passaram a incluir fatores ambientais em suas estratégias de manufatura e a adotar a manufatura sustentável, que se refere aos sistemas de produção que minimizam os impactos negativos das operações no meio ambiente e recursos naturais (Kazancoglu *et al.*, 2018; Bai *et al.*, 2018).

De acordo com Cortellini (2001), a Manufatura sustentável é um método de fabricação que minimiza o desperdício e a poluição, diminui o esgotamento dos recursos naturais e reduz as quantidades relevantes de lixo que entram em aterros sanitários. Já para Dubey *et al.* (2015), é a eliminação de desperdícios e a redefinição do processo existente para minimizar as emissões de carbono durante cada processo, sem aumentar os custos e afetar as metas de produção. Essa definição é complementada por Paul *et al.* (2014): os autores inferem que a manufatura sustentável é método sustentável que regula eficazmente a evolução da indústria com as

questões ambientais e a necessidade da população, ou seja, é a união de técnicas que promulgam a redução dos impactos negativos do sistema produtivos.

Trata-se, portanto, de um novo paradigma de manufatura que emprega várias estratégias verdes (objetivos e princípios) e técnicas (tecnologia e inovações) para se tornar mais ecoeficiente. São processos que consomem menos material e energia, substituindo materiais de entrada, reduzindo saídas indesejadas e convertendo saídas em insumos, como a reciclagem (Deif, 2011). Um conceito ainda mais completo foi trazido por Susanty *et al.* (2016), quando o mesmo afirmou ser o projeto de produtos usando os princípios de *design for environment* (DfE), fabricando-os com processos ecoeficientes, entregando-os ao cliente com o menor impacto ambiental e aplicando a abordagem “do berço ao berço” (lógica circular) e lidar com produtos no fim de sua vida útil. É uma filosofia que não pode ser considerada independente dos sistemas ambientais e socioeconômicos. É uma tarefa desafiadora, uma vez que os impactos ambientais são resultantes dos resíduos que processos e sistemas de manufatura empregam para converter matérias-primas em produtos acabados (Paul *et al.*, 2014).

Oferecendo uma contribuição ainda mais ampla, o artigo de Rehman e Shrivastava (2013) apresenta uma análise de conteúdo dos principais termos nas definições, onde os termos chave mais citados são: minimizar o impacto ambiental, minimizar desperdícios, poluição, tóxicos e energia, design para o meio ambiente, otimização do uso de matéria-prima e energia. Paul *et al.* (2014) levantam muitos aspectos desse problema, incluindo; materiais tóxicos, resíduos, emissões, gases de efeito estufa, uso de energia e reciclagem de produtos, defendendo inclusive a necessidade de um programa de ação eficaz. Seliger *et al.* (2008) defende que todos esses tópicos são questões muito importantes para governos e indústrias em todo o mundo, afinal esse conceito está emergindo rapidamente como a solução de manufatura sustentável que tem o potencial de resolver a maioria dos problemas que o mundo enfrenta atualmente.

Ainda justificando esse processo evolutivo, a Agência de Proteção Ambiental Americana (*United States Environmental Protection Agency – EPA*) reforça as razões para as empresas estarem aderindo a esse padrão: a) Aumentar a eficiência operacional, reduzindo custos e desperdícios; b) Responder ou alcançar novos clientes e aumentar a vantagem competitiva; c) Proteger e fortalecer a marca e a reputação e construir confiança para o público; d) Construir viabilidade e sucesso de negócios de longo prazo; e) Responder a restrições regulatórias e oportunidades. Diante disso, as empresas engajadas em esforços de sustentabilidade pertencem a todos os tamanhos, tempo de existência e setores. As empresas

avançam no caminho da sustentabilidade, melhorando o desempenho e reduzindo sua pegada de recursos.

Contudo, apesar de ser constatado, nessa revisão, que a Manufatura Sustentável tem significados diferentes para pessoas diferentes, e que depende de uma série de variáveis, pode-se afirmar que tornar-se sustentável deve ser considerado uma jornada, não um destino ou estado estático (Pojasek, 2008). Ademais, Rehman e Shrivastava (2013) fizeram um compilado dos principais objetivos da Manufatura Verde, sendo os principais: a) Minimizar o impacto ambiental; b) Minimizar o desperdício, poluição, tóxicos e energia; c) Retardar o esgotamento dos recursos naturais; d) Reduzir, reciclar, reutilizar; e) Design para o meio ambiente; f) Otimizar o uso de matéria-prima e energia; g) Aumentar a produtividade e maximizar o lucro; h) Aplicar tecnologias de fim de tubo (*end-of-life*), berço a berço (*cradle to cradle*) e abordagem de ciclo fechado (economia circular).

A partir da discussão anterior, portanto, conclui-se que a Manufatura Sustentável é um processo que minimiza o impacto ambiental ao minimizar resíduos, poluição e tóxicos durante a produção. Ele otimiza o uso de matéria-prima e energia através da implementação de design para o meio ambiente (*Dfe – Design for the Environment*), retarda o esgotamento dos recursos naturais, aplicando tecnologias fim de tubo, de berço a berço e abordagem de ciclo fechado e, portanto, aumentando a produtividade e maximizando os lucros.

## MANUFATURA ADITIVA

A Manufatura aditiva é reconhecida como uma tecnologia inovadora com potencial de mitigar os impactos ambientais negativos decorrentes dos processos operacionais (Laureijs *et al.*, 2017; Priyadarshini *et al.*, 2023). A ISO 52900, de 2015, descreve a referida tecnologia, como o método de produção baseado na integração de camadas de um material específico, de forma tridimensional, orientado por informações transmitidas por um equipamento de informática. Para Lee (2023) esta tecnologia, que pertence ao grupo de tecnologias da indústria 4.0, apresenta o potencial de revolucionar diversos processos operacionais, em diferentes setores da economia.

Dentre os atributos e benefícios proporcionados pela Manufatura Aditiva destacam-se a minimização de perdas e desperdícios de insumos ao longo do processo fabril, possibilidade de construir estruturas geométricas complexas, viabilizar a customização em massa, reduzir os “lead times”, bem como diminuir volumes de produtos em estoque, por meio de produção

descentralizada (Gholami *et al.*, 2023). Além disso, a Manufatura Aditiva facilita o reparo de peças danificadas (Priarone *et al.*, 2021).

Os benefícios citados, a partir da adoção da tecnologia de Manufatura Aditiva, estimularam a sua rápida disseminação em diversos setores industriais, incluindo a indústria aeroespacial, automotiva, construção e saúde (Naghshineh *et al.*, 2021; Tavares *et al.*, 2023). No entanto, de acordo com Kokare *et al.* (2023) e Lee *et al.* (2023), apesar das citadas contribuições potenciais para a redução do impacto ambiental, a tecnologia Manufatura Aditiva não pode ser considerada uma tecnologia ambientalmente “limpa” ou “verde”. Kellens *et al.* (2017) analisaram a utilização de MA em diversas operações industriais, e evidenciaram que o consumo de energia elétrica pode ser superior em várias aplicações, baseadas em tecnologias tradicionais, como serviço de torno, por exemplo. Desta forma, no tocante à análise do impacto Ambiental, recomenda-se considerar três dimensões: i) consumo de energia elétrica; ii) perda do material e iii) poluição decorrente do processo (Hegab *et al.*, 2023).

Attaran (2017) recomendam incluir na análise acerca dos impactos gerados pela Manufatura Aditiva, também aspectos logísticos, de pegada de carbono de transporte, além de outros custos associados ao sistema logístico, bem como os benefícios decorrentes da minimização de estoques e a redução do tempo de entrega. Inicialmente a tecnologia era utilizada basicamente para construção de protótipos, conforme evidenciaram Delic *et al.* (2017) e Delic e Eyers (2020), mas, atualmente seu uso foi disseminado, sendo empregado para fabricação de ferramentas, peças e componentes de máquinas (Beltrametti; Gasparre, 2018).

Recentes avanços em Manufatura aditiva reduziram as restrições geométricas relacionadas com as atividades direcionadas ao processo de reparo e conserto, especialmente de peças e componentes. Trata-se de tecnologias como i) deposição direta de energia (DED), que permite a fabricação de componentes metálicos e cerâmicos com alta densidade sem a necessidade de etapas posteriores, como sinterização ou infiltração, ii) Fabricação Aditiva por Arco de Fio (WAAM), para a fabricação de peças metálicas com eficiência e sustentabilidade, e iii) processos híbridos aditivo-subtrativos, que permitem gerar formas complexas com o mínimo de material (Aziz *et al.*, 2021; Kanishka; Acherjee, 2023).

Apesar do crescente interesse dos pesquisadores e das organizações pela tecnologia da manufatura aditiva, especialmente em relação aos impactos ambientais gerados por ela, ainda se percebe número reduzido de pesquisas científicas sobre o assunto. Os estudos que analisaram a contribuição da tecnologia para a sustentabilidade focaram no consumo de insumos e de

energia elétrica, evidenciando a que a manufatura aditiva era mais sustentável do que os processos operacionais tradicionais (Han *et al.*, 2023; Le *et al.*, 2017; Wurst *et al.*, 2023).

A partir da perspectiva sistêmica, estudos demonstram que a tecnologia de MA facilita a manufatura descentralizada, viabilizando serviços de manufatura na nuvem, que facilita o gerenciamento de pedidos de clientes geograficamente distantes entre si, constituindo a capacidade compartilhada de manufatura (Wang *et al.*, 2019). Este atributo da MA beneficia especialmente as empresas de pequeno e médio porte, quando é demandado o serviço de reparo ou remanufatura, pois por meio da Manufatura Aditiva é possível prestar o referido serviço, remotamente e de forma similar à operação internalizada (Son *et al.*, 2021).

Tran *et al.* (2023) analisaram o impacto Ambiental em Manufatura descentralizada e evidenciaram que a rede de Manufatura Aditiva compartilhada na nuvem gera significativa redução do consumo de energia e encurtamento das cadeias de suprimento, na comparação com o Sistema tradicional da manufatura e distribuição logística. Desta forma os autores comprovaram que a Manufatura Aditiva compartilhada representa uma solução viável para “outsourcing” de reparo de peças e componentes, que integra o sistema de logística reversa. No entanto, destacam os diversos desafios para a sua operacionalização, com destaque para o investimento inicial e custos fixos de manutenção do sistema. Portanto recomendam a adoção de um modelo robusto de controle e gestão de custos e de processos embarcados.

Os estudos conduzidos sobre a Manufatura Aditiva evidenciaram o robusto suporte para o modelo a Economia Circular, pois com o aperfeiçoamento da referida tecnologia, é viável uso de insumos reciclados. A referida viabilidade é tanto técnica, como econômica. Testes e experimentos comprovaram a inviabilidade, tanto técnica, como econômica, em processos de manufatura tradicional (Javaid *et al.*, 2021).

Além disso, o uso, cada vez mais intensivo de Manufatura Aditiva, contribuiu para o desenvolvimento de novos insumos e materiais, mais leves e resistentes, na comparação com os originais, produzidos de maneira tradicional. Desta forma é possível realizar o transporte com mais peças/ unidades, reduzindo a pegada de carbono no sistema logístico (Majeed *et al.*, 2021).

Vale destacar, também, que a Manufatura aditiva permite a produção no modelo on-demand, minimizando substancialmente a necessidade de manutenção de estoques de insumos, ao longo da cadeia de produção. Destaca-se, nesta perspectiva, a redução do risco de perda financeira decorrente de produtos acabados não comercializados, estocados em volume excessivo, decorrente do processo de manufatura seriada e empurrada (push) (Ghobadian *et*

*al.*, 2020). Com a adoção da Manufatura Aditiva os produtos podem ser customizados para atender as especificidades da demanda de consumidores, que eu seria inviável (seja técnica ou economicamente) em sistema de manufatura tradicional.

Manufatura aditiva pode ser mais eficiente, sob a perspectiva de consumo energético, na comparação com os processos operacionais tradicionais, principalmente em casos de volumes de produtos com menor quantidade ou quando o nível de complexidade for mais elevado. O potencial de redução do consumo de energia elétrica também se verifica em processos operacionais que demandam menor quantidade de atividades relacionadas com o processamento/ tratamento de materiais/ insumos (Machado *et al.*, 2020). Manufatura aditiva se destaca, também, por facultar a utilização de polímeros biodegradáveis, resinas bio-baseadas e compósitos, de menor impacto ambiental (Liu *et al.*, 2020).

Analisando a Manufatura aditiva à luz da Visão Baseada em Recursos, percebe-se a contribuição da tecnologia para aumento da eficiência, redução de perdas na produção e estímulo ao processo de inovação. Para potencializar os benefícios que a tecnologia proporciona, sugere-se adoção de design sustentável de produtos. Desta forma será viabilizada a operação nos moldes de metodologia ágil e flexibilidade (Machado *et al.*, 2020; Ashima *et al.*, 2021).

## PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para alcançar o objetivo da pesquisa, que é analisar as possibilidades de promover a manufatura sustentável na fabricação de móveis, por meio da manufatura aditiva, os autores optaram pela pesquisa descritiva, abordagem qualitativa, empregando a técnica de coleta de dados por meio de questionários, com perguntas abertas, elaboradas a partir da revisão teórica sobre dois temas específicos: Manufatura Sustentável e Manufatura Aditiva, direcionados para os gestores operacionais de 22 indústrias moveleiras do Brasil e 9 da Suécia. Esta estratégia de coleta de dados encontra suporte em autores seminais que versam acerca dos procedimentos metodológicos de pesquisas qualitativas (Demo, 2022; Flick, 2012; Marconi; Lakatos, 2017; Gil, 2010; Cerro, 2007).

As indústrias moveleiras brasileiras foram identificadas a partir do cadastro disponibilizado pela MOVERGS (Associação das Indústrias de Móveis do Estado do Rio Grande do Sul) no mês de fevereiro de 2024. Já as indústrias moveleiras da Suécia foram indicadas pelo gestor comercial da maior rede de varejo de móveis do mundo, a partir do contato de um dos autores da pesquisa, em outubro de 2024.

Em relação às indústrias moveleiras, obtidas a partir do cadastro da MOVERGS, foi solicitado suprimir das perguntas iniciais do roteiro as questões que pudessem identificar as indústrias e os respondentes, por entender que ao questionar acerca da adoção de uma das tecnologias da indústria 4.0, aquelas indústrias que ainda não realizaram investimentos relacionados, poderiam ter sua imagem impactada, de forma negativa. A exigência similar foi também formulada pelo contato na empresa de varejo sueca, como condição *sine qua non*, para mediar o contato com as indústrias da Suécia.

O envio do questionário para as indústrias brasileiras foi realizado na primeira metade do mês de março de 2024. Já o questionário, traduzido para o inglês, por um tradutor nativo no idioma estrangeiro, foi enviado no mês de novembro de 2024. A data-limite, de recepção de questionários preenchidos, das indústrias brasileiras, foi definida, pelos autores da pesquisa, em 30 de junho de 2024. Os esforços dos pesquisadores para maximizar o número de respondentes, resultaram no retorno de 12 questionários respondidos, 10 das indústrias moveleiras do Brasil e 2 da Suécia.

Não foi possível identificar número de indústrias às quais os respondentes estavam vinculados, devido à já mencionada exigência da MOVERGS e da empresa de varejo sueca, de omitir dados que pudessem revelar a identidade tanto de respondentes, como das organizações.

Desta forma, no início do questionário constaram dados como porte de empresa e cargo ocupado pelo respondente na organização. No Quadro 1 constam os referidos detalhes dos respondentes e das indústrias moveleiras.

Quadro 1 – Perfil dos respondentes.

Respondentes	País	Porte da empresa	Cargo do respondente
R1	Brasil	Grande	Gestor operacional
R2	Brasil	Grande	Gerente
R3	Brasil	Grande	Supervisor de produção
R4	Brasil	Grande	Diretor
R5	Brasil	Grande	Gestor operacional
R6	Brasil	Grande	Analista II
R7	Brasil	Grande	Chefe da produção
R8	Brasil	Grande	Técnico
R9	Brasil	Grande	Coordenador
R10	Brasil	Grande	Coordenador técnico
R11	Suécia	Grande	Supervisor
R12	Suécia	Grande	Supervisor

Fonte: dados da pesquisa.

Os questionários recebidos foram submetidos à análise de conteúdo, seguindo as recomendações da Bardin (2016). São elas: i) pré-análise (leitura do material coletado, seleção de textos alinhados com o objetivo da pesquisa); ii) exploração do material (codificação, categorização e enumeração); e iii) tratamento dos dados empíricos por meio de inferência e interpretação (atribuição de significado relacionando com as categorias analíticas). Todas as etapas foram realizadas pelos pesquisadores, sem auxílio de software, por entender que havia necessidade de apropriação de conteúdo do material coletado, o que facultou a identificação de categorias de análise, a priori, bem como as que emergiram, ao longo da interpretação e inferência, como a compreensão do processo operacional, por meio de combinação de atividades e tarefas, executadas por pessoas e por máquinas e equipamentos.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A indústria do mobiliário é considerada uma das mais antigas e tradicionais da humanidade. De forma similar à indústria do vestuário, que visava atender à necessidade de proteger o corpo humano de temperaturas baixas ou do sol escaldante, a fabricação de móveis também procurou suprir um conjunto de necessidades básicas do ser humano, no caso, de organização do seu habitat e oferecer o mínimo de conforto e comodidade (Litchfield, 2011).

Para tanto o ser humano primitivo se valia de ferramentas rústicas, para realizar o processo fabril de forma artesanal. Como nas demais atividades humanas, também esta atividade laboral passou, ao longo dos milênios e séculos, por mudanças substanciais e significativas, em decorrência dos avanços científicos e tecnológicos, cujo ritmo acelerou, principalmente, a partir da primeira revolução industrial (Lopes, 2004).

Ao longo dos quase trezentos anos, desde a primeira revolução industrial, tanto as técnicas de produção, como as máquinas e equipamentos embarcados em processos operacionais, da maioria das atividades industriais, foram aprimorados, visando atualmente, adoção de tecnologias digitais e de conectividade, autônomas ou com autonomia máxima, proporcionada por conjunto de tecnologias da indústria 4.0 (Mahmood; Mubarik, 2020).

Algumas atividades industriais se destacaram na velocidade do ritmo de adoção das referidas tecnologias I4.0, mas muitas outras, mais tradicionais, que se caracterizam pela utilização intensiva do trabalho humano, em tarefas e procedimentos estruturantes do processo operacional, resistiram, com ritmo bem mais lento de adoção de novas tecnologias (Pagliosa; Tortorella; Ferreira, 2019). A fabricação do mobiliário pertence ao segundo grupo de atividades industriais, refratárias à mudança, tanto de natureza tecnológica, como de processo.

A trajetória, cheia de percalços e resistências, para adotar novas tecnologias, assemelha-se, com algumas diferenças, à caminhada das referidas organizações industriais, para se tornarem mais sustentáveis. As referidas diferenças remetem ao passado, de séculos atrás, com a natureza exuberante, abundante em recursos naturais, que pareciam ser infinitos. A comprovação da finitude dos recursos naturais, pela ciência, é relativamente recente, o que tem municiado muitas organizações industriais, notadamente as mais tradicionais, com argumentos contrários à mudança de processos operacionais, bem como de substituição do seu parque fabril, para atender os requisitos e instrumentos legais e regulamentares, que visam atender aos princípios de sustentabilidade (Schreiber *et al.*, 2024).

No entanto, na última década, diversos estudos científicos evidenciaram que algumas tecnologias da indústria 4.0, como a Manufatura Aditiva, podem contribuir para a sustentabilidade nas organizações industriais, em amplo espectro de atividades econômicas (Singh *et al.*, 2023). Maioria destes estudos foi conduzida em países da Europa e Ásia. Apenas um reduzido número de pesquisas foi conduzido nos países da América Latina (Schreiber, 2023). Além disso, analisando a referida produção científica, percebe-se que a adoção das tecnologias da indústria 4.0, como a Manufatura Aditiva, para promover a sustentabilidade em operações industriais, ocorreu em contextos industriais mais adiantados, tanto na adoção de novas tecnologias, como no alinhamento operacional aos ditames legais e regulamentares, que visam a sustentabilidade (Schneider; Clauß, 2020).

Neste estudo, analisou-se a possibilidade de promover a manufatura sustentável na fabricação de móveis, por meio da manufatura aditiva, e contribuir, desta forma, explorar a referente lacuna na produção científica, ao coletar dados empíricos tanto no Brasil, como na Suécia. Foi solicitado aos entrevistados identificar processos operacionais, vinculados à fabricação de móveis, que poderiam ser beneficiados com a tecnologia da Manufatura Aditiva, facultando, assim, o alinhamento com o modelo de Manufatura Sustentável. Com o intuito de nivelar o conceito de Manufatura Aditiva, foi inserido, no início do questionário uma síntese do processo operacional de fabricação de móveis, desde o recebimento do pedido, até a entrega do produto acabado ao consumidor final ou no ponto de venda.

Foi constatado consenso entre os entrevistados dos dois países em relação ao potencial da Manufatura Aditiva, em propiciar o alinhamento dos processos operacionais ao modelo de manufatura Sustentável em: i) Redução de desperdício de matérias primas utilizadas na produção e ii) Redução de retrabalho; iii) Redução de uso de matérias primas não recicláveis; iv) Redução de quantidade de graxa utilizada para lubrificar as máquinas e v) Uso mais racional

do espaço de armazenamento interno. Já em relação às demais atividades operacionais os entrevistados divergiram ou se manifestaram contrariamente à viabilidade, seja técnica ou econômica, de ser influenciada pela tecnologia de Manufatura Aditiva.

As atividades operacionais em que houve divergência são: i) Redução de consumo de água; ii) Redução de consumo de energia elétrica; iii) Redução de movimentação interna; iv) Redução de transporte externo; v) Redução de volume de produtos utilizados para limpeza predial; vi) Redução de volume de produtos utilizados para limpeza das máquinas e vii) Redução de emissões atmosféricas. Nestas atividades os entrevistados da Suécia percebem que a tecnologia de Manufatura Aditiva pode contribuir para adoção e operacionalização da Manufatura Sustentável. Os entrevistados do Brasil divergiram. A referida divergência de percepção pode estar baseada na diferente estrutura regulatória dos dois países, conforme já foi identificado por outros pesquisadores sobre o tema (Tavares *et al.*, 2023).

Já as atividades operacionais que tanto os entrevistados do Brasil, como da Suécia, perceberam que não seriam impactados positivamente pela adoção da tecnologia de Manufatura Aditiva, são: i) Redução de utilização de produtos químicos e tóxicos; ii) Redução de volume de efluentes líquidos a serem tratados; iii) Uso mais racional do espaço de containers e de caminhões; iv) Redução de volume de embalagens plásticas e de embalagens cartonadas e de madeira; v) Redução de volume de resíduos transportados para aterro sanitário e vi) Aumento de volume de materiais reciclados e reutilizados. Algumas pesquisas que foram realizadas sobre o tema, confirmam a percepção dos entrevistados (Tran *et al.*, 2023).

Ao analisar as atividades operacionais em relação às quais houve consenso entre os entrevistados dos dois países, a primeira é a redução de desperdício de matérias primas utilizadas na produção. A percepção dos entrevistados está alinhada com a literatura científica que versa sobre o tema, em virtude das características da tecnologia que viabiliza “imprimir” em 3D cada vez maior número de objetos e com crescentes níveis de complexidade (Son; Kim; Jeong, 2021). Desta forma, a depender do tipo de produto fabricado, seria factível alcançar o objetivo de desperdício zero, no uso de insumos (Schreiber *et al.*, 2024).

A redução do retrabalho, com uso da Manufatura Aditiva, também seria viabilizada em decorrência das características já mencionadas, ou seja, com os cuidados necessários na etapa do planejamento prévio da atividade, a execução teria a parametrização e execução exata, reduzindo os riscos de retrabalho (Priyadarshini *et al.*, 2023). Redução de uso de matérias primas não recicláveis, por meio Manufatura Aditiva, também é facultada devido à

possibilidade de seleção de insumos para impressão, permitindo optar por aqueles de origem reciclável (Priarone *et al.*, 2021).

A tecnologia Manufatura Aditiva também contribui para a redução de quantidade de graxa utilizada para lubrificar as máquinas, por minimizar uso de infraestrutura tradicional (Lee *et al.*, 2023). No que se refere à possibilidade de uso mais racional do espaço de armazenamento interno, tanto para insumos como para produtos em elaboração e acabados, a Manufatura Aditiva, devido suas características, faculta a fabricação customizada, reduzindo a necessidade de uso de espaços internos, bem como, ao usar reduzido número de insumos, apropriados para a impressão de produtos, resulta na otimização do uso do espaço interno disponível (Laureijs *et al.*, 2017).

À guisa de conclusão, pode se afirmar que a tecnologia Manufatura Aditiva, quando adotada em processo de fabricação de móveis, faculta, tanto na percepção de entrevistados do Brasil, como da Suécia, amplo leque de aplicações, que viabilizam a operacionalização da Manufatura Sustentável. É claro, que para alcançar níveis mais elevados de sustentabilidade na manufatura, em processos operacionais de móveis, as organizações não podem se restringir apenas à adoção da tecnologia da Manufatura Aditiva, sendo necessário implementar outras práticas sustentáveis, com destaque para a revisão de estratégia de produção e capacitação de colaboradores.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo da pesquisa foi analisar as possibilidades de promover a manufatura sustentável na fabricação de móveis, por meio da manufatura aditiva. Para alcançar o referido objetivo os autores optaram pela estratégia de levantamento de campo, abordagem qualitativa, entrevistando 12 profissionais, ocupantes cargos de gestão operacional em indústrias de móveis, 10 do Brasil e 2 da Suécia.

Dentre os processos operacionais específicos, da fabricação de móveis, que, na percepção unânime dos entrevistados do Brasil e da Suécia, poderiam ser mais beneficiados com a tecnologia da Manufatura Aditiva, com o propósito de viabilizar a implementação da Manufatura Sustentável, destacaram-se: i) Redução de desperdício de matérias primas utilizadas na produção e ii) Redução de retrabalho, iii) Redução de uso de matérias primas não recicláveis, iv) Redução de quantidade de graxa utilizada para lubrificar as máquinas e v) Uso mais racional do espaço de armazenamento interno.

Já, devido a diferença substancial de estruturas legais e regulatórias, dos dois países, em diversos processos operacionais a Manufatura Aditiva foi percebida com potencial de contribuir para a implementação da Manufatura Sustentável, apenas pelos entrevistados da Suécia, mas não pelos entrevistados do Brasil. São eles: i) Redução de consumo de água; ii) Redução de consumo de energia elétrica; iii) Redução de movimentação interna; iv) Redução de transporte externo; v) Redução de volume de produtos utilizados para limpeza predial; vi) Redução de volume de produtos utilizados para limpeza das máquinas e vii) Redução de emissões atmosféricas.

Pode-se afirmar, com base nos resultados do estudo, que a tecnologia de Manufatura Aditiva foi percebida com potencial em contribuir para a implementação da Manufatura Sustentável. Também foi evidenciado que na percepção dos entrevistados da Suécia, a referida tecnologia poderia oferecer mais benefícios para a redução do impacto ambiental, do que foi interpretado pelos entrevistados do Brasil.

Apesar das limitações concernentes ao tamanho amostral de entrevistados e de fontes de obtenção de dados empíricos, os autores entendem que a pesquisa contribui para o avanço do conhecimento científico acerca da adoção da tecnologia de Manufatura Aditiva para operacionalizar a Manufatura Sustentável no ambiente fabril de móveis.

## REFERÊNCIAS

ALIGLERI, L.; ALIGLERI, L. A.; KRUGLIANSKAS, I. **Gestão industrial e produção sustentável**. São Paulo: Saraiva, 2016.

ASHIMA, R. *et al.* Automation and manufacturing of smart materials in Additive manufacturing technologies using the Internet of Things towards the adoption of Industry 4.0. **Materials Today: Proceedings**, [s. l.], v. 45, p. 5081–5088, 2021.

ATTARAN, M.; ATTARAN, M. Additive manufacturing: the most promising technology to alter the supply chain and logistics. **Journal of Service Science and Management**, [s. l.], v. 10, n. 3, p. 189–206, 2017.

AZIZ, N. A. *et al.* Component design optimisation based on artificial intelligence in support of additive manufacturing repair and restoration: current status and future outlook for remanufacturing. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 296, p. 126401, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126401>.

BAI, C. *et al.* Green product deletion decisions: An integrated sustainable production and consumption approach. **Industrial Management & Data Systems**, [s. l.], v. 118, n. 2, p. 349–389, 2018.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2016.

BELTRAMETTI, L.; GASPARRE, A. Industrial 3D printing in Italy. **International Journal of Manufacturing Technology and Management**, [s. l.], v. 32, n. 1, p. 43, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1504/IJMTM.2018.089467>.

BYLINSKY, G. Manufacturing for reuse. **Fortune**, [s. l.], v. 131, n. 2, p. 102–112, fev. 1995. Disponível em: [http://archive.fortune.com/magazines/fortune/fortune\\_archive/1995/02/06/201830/index.htm](http://archive.fortune.com/magazines/fortune/fortune_archive/1995/02/06/201830/index.htm).

CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A.; SILVA, R. **Metodologia científica**. 6. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.

CORTELLINI, R. **Green manufacturing**. Operations and Information Systems Management OISM, 2021. Disponível em: <http://www.freequality.org/documents/knowledge/greenmanufacturing.doc>.

DEIF, A. M. A system model for green manufacturing. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 19, n. 14, p. 1553–1559, set. 2011.

DELIC, M.; EYERS, D. R. The effect of additive manufacturing adoption on supply chain flexibility and performance: an empirical analysis from the automotive industry. **International Journal of Production Economics**, [s. l.], v. 228, p. 107689, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107689>.

DELIC, M.; KNEZEVIC, B.; SKROBOT, P. Additive manufacturing technologies adoption in automotive supply chains – the theoretical review. **Business Logistics in Modern Management**, [s. l.], v. 17, p. 421–436, 2017.

DEMO, P. **Avaliação qualitativa**. 1. ed. Campinas: Autores Associados, 2022. (E-book).

DUBEY, R. *et al.* Building Theory of Green Supply Chain Management using Total Interpretive Structural Modeling (TISM). **IFAC-PapersOnLine**, [s. l.], v. 48, n. 3, p. 1688–1694, 2015.

FLICK, U. **Introdução à Metodologia de Pesquisa**. Porto Alegre: Penso, 2012. (E-book).

FREITAS, J. **Sustentabilidade: Direito ao futuro**. Belo Horizonte: Editora Fórum, 2012.

GHOBIAN, A. *et al.* Examining legitimization of additive manufacturing in the interplay between innovation, lean manufacturing and sustainability. **International Journal of Production Economics**, [s. l.], v. 219, p. 457–468, 2020.

GHOLAMI, H.; LEE, J. K. Y.; ALI, A. Big data analytics for sustainable products: A state-of-the-art review and analysis. **Sustainability**, [s. l.], v. 15, n. 17, art. 12758, 2023.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

HAN, M.; YUN, L.; LI, L. Deep reinforcement learning-based approach for dynamic disassembly scheduling of end-of-life products with stimuli-activated self- disassembly.

**Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 423, p. 138758, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138758>.

HEGAB, H.; KHANNA, N.; MONIB, N.; SALEM, A. Design for sustainable additive manufacturing: A review. **Sustainable Materials and Technologies**, [s. l.], art. 00576, 2023.

JAVAID, M. *et al.* Role of additive manufacturing applications towards environmental sustainability. **Advanced Industrial and Engineering Polymer Research**, [s. l.], v. 4, n. 4, p. 312–322, 2021.

KANISHKA, K.; ACHERJEE, B. A systematic review of additive manufacturing-based remanufacturing techniques for component repair and restoration. **Journal of Manufacturing Processes**, [s. l.], v. 89, p. 220–283, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2023.01.034>.

KAZANCOGLU, Y.; KAZANCOGLU, I.; SAGNAK, M. Fuzzy DEMATEL-based green supply chain management performance: Application in cement industry. **Industrial Management & Data Systems**, [s. l.], v. 118, n. 2, p. 412–431, 12 mar. 2018.

KELLENS, K. *et al.* Environmental impact of additive manufacturing processes: Does AM contribute to a more sustainable way of part manufacturing? **Procedia CIRP**, [s. l.], v. 61, p. 582–587, 2017.

KOKARE, S.; OLIVEIRA, J. P.; GODINA, R. Life cycle assessment of additive manufacturing processes: A review. **Journal of Manufacturing Systems**, [s. l.], v. 68, p. 536–559, 2023.

LAUREIJS, R. E. *et al.* Metal additive manufacturing: Cost competitive beyond low volumes. **Journal of Manufacturing Science and Engineering**, [s. l.], v. 139, n. 8, art. 081010, 2017.

LE, V. T.; PARIS, H.; MANDIL, G. Environmental impact assessment of an innovative strategy based on an additive and subtractive manufacturing combination. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 164, p. 508–523, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.204>.

LEE, J. K. Y. Sustainable manufacturing in industry 4.0: Pathways and practices: A book review. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 430, art. 139458, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139458>.

LEE, J. K. Y.; GHOLAMI, H.; MEDINI, K.; SALAMEH, A. A. Hierarchical analysis of barriers in additive manufacturing implementation with environmental considerations under uncertainty. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], art. 137221, 2023.

LI, Y.; ZHANG, M. Green manufacturing and environmental productivity growth. **Industrial Management & Data Systems**, [s. l.], v. 118, n. 6, p. 1303–1319, 9 jul. 2018.

LITCHFIELD, F. H. **A history of furniture**. Bremen: Dogma, 2011.

LIU, Y. *et al.* How can smart technologies contribute to sustainable product lifecycle management? **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 249, p. 119423, 2020.



LOPES, C. S. **Estudos de história do mobiliário**. Porto: Gabinete de Estudos de Artes Decorativas da Universidade Católica Portuguesa, 2004.

MACHADO, C. G.; WINROTH, M. P.; RIBEIRO DA SILVA, E. H. D. Sustainable manufacturing in Industry 4.0: an emerging research agenda. **International Journal of Production Research**, [s. l.], v. 58, n. 5, p. 1462–1484, 2020.

MAJEED, A. *et al.* A big data-driven framework for sustainable and smart additive manufacturing. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, [s. l.], v. 67, p. 102026, 2021.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

MONTENEGRO, R. **Guia da história do Mobiliário**. Lisboa: Editorial Presença, 1995.

NAGHSHINEH, B. *et al.* Social impacts of additive manufacturing: A stakeholder-driven framework. **Technological Forecasting and Social Change**, [s. l.], v. 164, art. 120368, 2021.

OATES, P. B. **História do mobiliário ocidental**. Lisboa: Editorial Presença, 1981.

PANG, R.; ZHANG, X. Achieving Environmental Sustainability in Manufacture: A 28-Year Bibliometric Cartography of Green Manufacturing Research. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 233, p. 84-99, 2019.

PAUL, I. D.; BHOLE, G. P.; CHAUDHARI, J. R. A Review on Green Manufacturing: It's Important, Methodology and its Application. **Procedia Materials Science**, [s. l.], v. 6, p. 1644–1649, 2014. Disponível em: <http://doi.org/10.1016/j.mspro.2014.07.149>.

POJASEK, R. B. Quality Toolbox: Risk Management 101. **Environmental Quality Management**, [s. l.], v. 17, p. 95-101, 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1002/tqem.20180>.

PRIARONE, P. C. *et al.* Life-cycle energy and carbon saving potential of wire arc additive manufacturing for the repair of mold inserts. **CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology**, [s. l.], v. 35, p. 943–958, 2021.

PRIYADARSHINI, J. *et al.* Application of additive manufacturing for a sustainable healthcare sector: Mapping current research and establishing future research agenda. **Technological Forecasting and Social Change**, [s. l.], v. 194, art. 122686, 2023.

REHMAN, M. A. A.; SHRIVASTAVA, R. L. Green manufacturing (GM): past, present and future (a state of art review). **World Review of Science, Technology and Sustainable Development**, [s. l.], v. 10, n. 1/2/3, p. 17, 2013.

ROBLEK, V.; MEŠKO, M.; PODBREGAR, I. Mapping of the Emergence of Society 5.0: A Bibliometric Analysis. **Organizacija**, [s. l.], v. 54, n. 4, p. 293–305, 2021.

SCHREIBER, D. Technologies of Industry 4.0 to Foster Green Manufacturing in Footwear Production in Brazil. **International Journal of Business Innovation and Research**, [s. l.], v. 1, p. 1-21, 2023.

SCHREIBER, D. *et al.* Industry 4.0 technologies in a brazilian furniture industry. **Revista de Administração da UFSM**, Santa Maria, v. 17, n. 2, e2, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1983465974934>.

SELIGER, G. *et al.* Approaches to sustainable manufacturing. **International Journal of Sustainability Manufacturing**, [s. l.], v. 1, n. 1/2, p. 58–77, 2008.

SILVA, D. A. L.; SILVA, E. J. DA; OMETTO, A. R. Green manufacturing: uma análise da produção científica e de tendências para o futuro. **Production**, [s. l.], v. 26, n. 3, p. 642–655, 23 fev. 2015.

SON, D.; KIM, S.; JEONG, B. Sustainable part consolidation model for customized products in closed-loop supply chain with additive manufacturing hub. **Additive Manufacturing**, [s. l.], v. 37, p. 101643, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.addma.2020.101643>.

SUSANTY, A. *et al.* Improving Green Supply Chain Management in Furniture Industry Through Internet Based Geographical Information System for Connecting the Producer of Wood Waste with Buyer. **Procedia Computer Science**, [s. l.], p. 734–741, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.procs.2016.04.161>.

TAVARES, T. M. *et al.* The benefits and barriers of additive manufacturing for circular economy: A framework proposal. **Sustainable Production and Consumption**, [s. l.], v. 36, p. 369–388, 2023.

THURNER, T.; ROUD, V. Greening strategies in Russia's manufacturing - From compliance to opportunity. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], 2015. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.09.126.

TRAN, C.; DUENAS, L.; MISRA, S.; CHAITANYA, V. Specific energy consumption based comparison of distributed additive and conventional manufacturing: from cradle to gate partial life cycle analysis. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 425, p. 138762, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138762>.

WANG, S. *et al.* Towards smart factory for industry 4.0: a self-organized multi-agent system with big data based feedback and coordination. **Computer Networks**, [s. l.], v. 101, p. 158–168, 2016.

WANG, Y.; LIN, Y.; ZHONG, R. Y.; XU, X. IoT-enabled cloud-based additive manufacturing platform to support rapid product development. **International Journal of Production Research**, [s. l.], v. 57, p. 3975–3991, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1516905>.

WURST, J. *et al.* Assessment of the ecological impact of metal additive repair and refurbishment using powder bed fusion by laser beam based on a multiple case study. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 423, p. 138630, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138630>.

XU, L. D.; XU, E. L.; LI, L. Industry 4.0: State of the Art and Future Trends. **International Journal of Production Research**, [s. l.], v. 56, n. 8, p. 2941–2962, 2018.