

## SUSTENTABILIDADE EM PROCESSOS DE FABRICAÇÃO MECÂNICA: Uma revisão sobre estratégias para redução de impactos ambientais

ALEX SANDRO ÁVILA DA SILVA<sup>1</sup>; CAROLINA PAZ DA CRUZ<sup>2</sup>; EMANUELE  
MORALES RHODEN<sup>3</sup>; GABRIELA RAMSON BLANK<sup>4</sup>; RAFAEL SALEH  
PODEWILS<sup>5</sup>; DANIEL DE CASTRO MACIEL<sup>6</sup>

<sup>1</sup>*Universidade Federal de Pelotas – alexpietro0913@gmail.com*

<sup>2</sup>*Universidade Federal de Pelotas – carolinapazc@outlook.com*

<sup>3</sup>*Universidade Federal de Pelotas – emanuele.mrhoden@gmail.com*

<sup>4</sup>*Universidade Federal de Pelotas – gabrielarblank@gmail.com*

<sup>5</sup>*Universidade Federal de Pelotas – rafaelpodewil@gmail.com*

<sup>6</sup>*Universidade Federal de Pelotas – daniel.maciel@ufpel.edu.br*

### 1. INTRODUÇÃO

A sustentabilidade é um tema central nas discussões industriais contemporâneas, especialmente em processos de fabricação, onde há um consumo elevado de recursos naturais e geração de resíduos. A adoção de práticas sustentáveis não só mitiga os impactos ambientais, mas também pode trazer benefícios econômicos, como a redução de custos operacionais e a melhora da competitividade no mercado. Os processos de manufatura, como a usinagem e a fundição, contribuem significativamente para a emissão de gases de efeito estufa e o esgotamento de recursos naturais (MEDEIROS; DURANTE; CALLEJAS, 2018). A crescente preocupação com as mudanças climáticas e a escassez de recursos levou à criação de políticas globais que visam mitigar os impactos ambientais associados à indústria. A busca por práticas sustentáveis é essencial para conter esses impactos e garantir o uso eficiente dos recursos, como evidenciado por WANG et al. (2022), que ressaltam a importância do uso de tecnologias para melhorar a eficiência energética e o emprego de materiais recicláveis.

Os processos de fabricação mecânica, reconhecidos por sua alta demanda de energia, água e matérias-primas, desempenham um papel crucial na sustentabilidade industrial. A usinagem, por exemplo, gera resíduos e consome uma quantidade significativa de energia elétrica, enquanto a fundição envolve altos gastos energéticos, principalmente no aquecimento e fusão de metais. Além disso, a pegada de carbono desses processos tem sido uma preocupação crescente, especialmente em países industrializados. De acordo com ALMEIDA et al. (2019), a adoção de tecnologias modernas, como automação e manufatura aditiva, pode reduzir drasticamente o consumo de energia e melhorar a eficiência dos processos.

Neste trabalho, revisamos o impacto ambiental de diversos processos de fabricação mecânica, incluindo a usinagem, a fundição e a fabricação aditiva. A usinagem é um processo de remoção de material que gera resíduos sólidos e consome uma grande quantidade de energia, enquanto a fundição envolve o derretimento e a moldagem de metais, demandando altos gastos energéticos e gerando emissões significativas. Por outro lado, a fabricação aditiva, também conhecida como impressão 3D, constrói objetos camada por camada e permite o uso de materiais recicláveis, como polímeros e metais. De acordo com DePalma et al. (2020), essa tecnologia não só reduz o desperdício de materiais, mas também diminui

os custos de produção. O estudo foi estruturado com base em análises de artigos científicos que examinam o uso de materiais recicláveis nesses processos, bem como a introdução de tecnologias emergentes, como a automação e o uso de IoT (Internet das Coisas), que promovem a eficiência energética. Citamos os trabalhos de Medeiros et al. (2018), Wang et al. (2022), DePalma et al. (2020) e Pimenta e Ball (2015), que discutem diferentes abordagens para a melhoria desses processos. Além disso, abordamos como a economia circular pode servir como uma alternativa viável para reduzir os impactos ambientais de longo prazo.

## 2. ATIVIDADES REALIZADAS

Este estudo realizou uma revisão sistemática da literatura científica, focando nas publicações relacionadas à sustentabilidade em processos de fabricação mecânica entre 2015 e 2023. As bases de dados consultadas incluem ScienceDirect, Google Scholar e Scopus, com a utilização de palavras-chave em português e inglês, como “sustentabilidade em manufatura”/“manufacturing sustainability”, “eficiência energética”/“energy efficiency” e “materiais recicláveis”/“recyclable materials”. O período de 2015 a 2023 foi selecionado por abranger publicações mais recentes, refletindo o avanço no desenvolvimento e na aplicação de tecnologias emergentes em processos de fabricação sustentável.

A revisão identificou estudos que abordam tanto o impacto ambiental dos métodos tradicionais de fabricação quanto o potencial das tecnologias emergentes para mitigar esses efeitos. Medeiros et al. (2018) discutem a quantificação dos impactos ambientais, como o consumo de energia e as emissões geradas por processos como usinagem e fundição. DePalma et al. (2020) avaliaram o uso de polímeros recicláveis na impressão 3D, destacando como essa tecnologia pode reduzir o desperdício de materiais e os custos de produção. Já Prado et al. (2022) exploram tecnologias voltadas para a mitigação de emissões de CO<sub>2</sub>, com foco no coprocessamento de resíduos sólidos na indústria cimenteira. Esses estudos demonstram que a adoção de materiais recicláveis e a melhoria da eficiência energética podem contribuir significativamente para a sustentabilidade nos processos de fabricação mecânica.

Entre os principais métodos de mitigação identificados está o uso de tecnologias de automação, que melhoram a eficiência energética nas linhas de produção. Quando integrados com a Internet das Coisas (IoT), os sistemas automatizados permitem o monitoramento em tempo real do consumo de energia, otimizando processos e identificando ineficiências que poderiam ser negligenciadas em operações manuais.

No que diz respeito ao uso de materiais recicláveis, observou-se que a fabricação aditiva (impressão 3D) tem possibilitado a utilização crescente de polímeros reciclados, reduzindo a dependência de materiais virgens. O estudo mostrou que o uso de materiais reciclados não só diminui o impacto ambiental, como também reduz os custos de produção em alguns casos. Tecnologias de recuperação de calor também foram analisadas como uma solução eficaz para reduzir o consumo de energia em processos de alta intensidade, como fundição e forjamento.

Além disso, a revisão constatou diferenças entre os processos de fabricação tradicionais e aqueles que utilizam tecnologias sustentáveis. Observou-se que essas

tecnologias têm o potencial de reduzir significativamente o consumo de energia e as emissões de CO<sub>2</sub>, como demonstrado em diversos setores industriais. Embora o estudo de Prado et al. (2022) tenha foco na indústria cimenteira, especificamente no coprocessamento de resíduos sólidos para mitigação de emissões de CO<sub>2</sub>, ele é relevante para a discussão devido às práticas de sustentabilidade que podem ser aplicadas a outros setores, incluindo a fabricação mecânica. Tecnologias de mitigação de emissões, como as descritas por Prado et al., são um objetivo comum em diferentes processos de produção e apresentam desafios similares em termos de custo e viabilidade técnica, o que pode dificultar sua adoção em larga escala nas indústrias. Portanto, essas práticas exemplificam como soluções sustentáveis podem ser adaptadas e implementadas em outros contextos industriais, apesar das barreiras existentes.

A revisão sistemática também identificou desafios recorrentes, como a dificuldade de implementar tecnologias sustentáveis em indústrias que ainda operam com maquinário antigo e a resistência cultural à adoção de novas práticas. Essas observações apontam para a necessidade de um acompanhamento mais rigoroso por parte das empresas na fase inicial de implementação, garantindo a adaptação dos trabalhadores e maximizando os benefícios dessas tecnologias.

### **3. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Concluímos que, embora os avanços nas tecnologias sustentáveis aplicadas aos processos de fabricação mecânica tenham mostrado resultados promissores, a urgência em implementar essas inovações é evidente diante das crescentes preocupações com as mudanças climáticas. Entre os principais desafios estão os altos custos iniciais de implementação dessas tecnologias e a resistência à adoção de novos métodos por indústrias que ainda operam com maquinário obsoleto. Para que essas inovações possam se consolidar em larga escala, é imprescindível que as empresas, em parceria com governos e instituições acadêmicas, intensifiquem os investimentos em pesquisa e desenvolvimento. Essa colaboração será essencial para promover uma transformação mais ampla e sustentável na indústria. Apenas com esse esforço conjunto será possível construir um futuro menos dependente de recursos naturais e com impactos ambientais reduzidos, garantindo a competitividade e sustentabilidade a longo prazo.

#### 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- MEDEIROS, L. M.; DURANTE, L. C.; CALLEJAS, I. J. A. **Contribuição para a avaliação do ciclo de vida na quantificação de impactos ambientais de sistemas construtivos.** Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, v. 18, n. 2, p. 365-385, 2018.
- WANG, K. et al. **Economia circular como estratégia climática: conhecimento atual e chamadas para ação.** 2022.
- OBERČ, B. et al. **Rumo a uma economia circular que começa e termina na natureza.** 2022.
- DEPALMA, K. et al. **Avaliação da impressão 3D usando modelagem de deposição fundida e sinterização seletiva a laser para uma economia circular.** Elsevier BV, v. 264, p. 121567, 2020.
- PRADO, J. E. A. et al. **Análise das emissões de gases do efeito estufa pelo coprocessamento de resíduos sólidos na indústria cimenteira.** Universidade Tecnológica Federal do Paraná, v. 18, n. 53, p. 154, 2022.
- PIMENTA, H. C. D.; BALL, P. **Análise de práticas de sustentabilidade ambiental em toda a gestão da cadeia de suprimentos upstream.** Elsevier BV, v. 26, p. 677-682, 2015.