

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

**ALEX SANDRO ÁVILA DA SILVA¹; CAROLINA PAZ DA CRUZ²; EMANUELE
MORALES RHODEN³; GABRIELA RAMSON BLANK⁴; RAFAEL SALEH
PODEWILS⁵; DANIEL DE CASTRO MACIEL⁶**

¹Universidade Federal de Pelotas – alexpietro0913@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – carolinapazc@outlook.com

³Universidade Federal de Pelotas – emanuele.mrhoden@gmail.com

⁴Universidade Federal de Pelotas – gabrielarblank@gmail.com

⁵Universidade Federal de Pelotas – rafaelpodewil@gmail.com

⁶Universidade 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 CO₂, 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 CO₂, 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 CO₂, 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

Concluimos 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.