

# Economia circular em empresas que adotaram tecnologias da indústria 4.0.

Giovana Dicara Giubine<sup>1</sup>, Flávio Luiz Rodrigues<sup>2</sup>, Geraldo Cardoso de Oliveira Neto<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia de Produção, Centro Universitário FEI

<sup>2</sup> Programa de Pós-Graduação em Administração e Engenharia de Produção, Centro Universitário FEI  
giovanaagiubine@gmail.com, rodriguesluizflavio@gmail.com, g.oliveiraneto@fei.edu.br

**Resumo:** A chegada da Indústria 4.0 marca uma nova Revolução Industrial, caracterizada por um processo produtivo evoluído que incorpora automação, integração, inteligência artificial, *big data*, internet das coisas e outras tecnologias avançadas. Contudo, ainda não se tem um entendimento claro dos impactos dessas tecnologias sobre a economia circular. Diante desse contexto, o objetivo principal deste estudo é analisar os benefícios ambientais resultantes da aplicação da Indústria 4.0 em conjunto com as práticas de produção mais limpa em um cenário industrial automobilístico.

## 1. Introdução

Nos dias atuais, as organizações buscam identificar práticas ligadas à implementação de processos com produção mais limpa (P+L), a fim de conceber abordagens que favoreçam a economia circular e a produção sustentável. Conforme a Organização das Nações Unidas para o desenvolvimento industrial [1], tais práticas visam a trilhar caminhos que permitam economizar recursos, maximizar a utilização dos insumos naturais e minimizar os impactos no meio ambiente. A partir disso, a meta a ser alcançada é o aprimoramento da produtividade, eficácia na manufatura, aumento de receita e fortalecimento da competitividade no mercado.

Atrelado a isso, as empresas de manufatura estão passando por grandes transformações em seus processos operacionais, graças à adoção de tecnologias relacionadas à Indústria 4.0. Essas inovações moldam um cenário de uma nova revolução Industrial que caracteriza a manufatura avançada por um ambiente saturado por informação computacional, altamente conectado à Internet e repleto de novas tendências [2]. Essas tecnologias estão sendo vistas como um fator fundamental e um capacitador chave para alcançar a sustentabilidade e para a implementação de P+L, com o objetivo de melhorar a qualidade de seus produtos e serviços [3].

A indústria automotiva, objeto de estudo deste artigo, é altamente competitiva e exige que as empresas sejam eficientes e produzam veículos com alta qualidade. Com isso, no setor existe um alto grau de investimento, proporcionando tecnologias de última geração nas máquinas do processo de fabricação. Além do investimento em tecnologias avançadas, o setor também está atrelado a estratégias de P+L para atender às demandas por um melhor desempenho ambiental nos processos produtivos. Essas estratégias visam agregar valor econômico para a empresa, além de aumentar a responsabilidade social e ecológica [4].

## 2. Indústria 4.0

A Indústria 4.0 representa uma revolução na produção industrial, ao incorporar avançadas tecnologias como a internet das coisas, sistemas cibernéticos, robôs autônomos, manufatura aditiva, análise de *big data*, computação em nuvem, simulação e realidade aumentada. Essas inovações estão reconfigurando os processos produtivos, permitindo a coleta instantânea de dados, tomada de decisões fundamentadas e um aumento geral na eficiência operacional. Esse paradigma está redefinindo a paisagem industrial, afetando variados setores, incluindo a indústria automotiva, que está buscando se adaptar para garantir maior competitividade e sustentabilidade. Portanto, a Indústria 4.0 não é apenas uma evolução tecnológica, mas uma transformação profunda que está remodelando as bases da produção e operação industrial [5].

## 3. Metodologia

Este estudo se insere na categoria de pesquisa aplicada, dada sua investigação de um problema concreto inserido no contexto real, com o propósito de gerar contribuições de ordem acadêmica e, simultaneamente, de impacto empresarial e social [6]. O cerne da pesquisa reside na análise dos efeitos de natureza econômica e ambiental decorrentes da confluência das tecnologias pertencentes à Indústria 4.0 com as práticas de produção mais limpa e os princípios da economia circular, tendo como cenário uma empresa do segmento automobilístico.

A pesquisa é embasada por uma abordagem metodológica de caráter combinado, reunindo, em sua estrutura, a abordagem qualitativa materializada por meio da revisão sistemática da literatura e a abordagem exploratória fundamentada no escopo de um estudo de caso centrado no contexto industrial. A revisão sistemática da literatura proporciona a identificação de tendências e padrões que permeiam investigações pgressas relacionadas às interseções entre economia circular e Indústria 4.0, viabilizando, por conseguinte, a extração de dados que reverberem no delineamento de futuras incursões investigativas. Do mesmo modo, o estudo de caso é prospero pois permite uma investigação detalhada e em profundidade de um fenômeno específico, possibilitando uma compreensão abrangente dos contextos, nuances envolvidos, relação entre as variáveis e as complexidades do ambiente [7].

Para poder atrelar a indústria 4.0 a economia circular e produção mais limpa, o objeto de estudo desta pesquisa é uma indústria multinacional automobilística,

atuando no Brasil desde 1925. Neste contexto, está em andamento um minucioso levantamento de dados a partir da análise in loco da empresa, reconhecida por investir cerca de R\$ 13 bilhões na concretização de conceitos ligados à tecnologia 4.0. Atualmente, seus investimentos primordiais concentram-se em sistemas de rastreabilidade do processo, propiciando o monitoramento completo da produção para identificar falhas e otimizar a eficiência. Adicionalmente, a empresa incorpora impressão 3D para prototipagem complexa e robôs inteligentes, interconectados por meio de uma rede integrada para operações autônomas.

O estudo de campo delimita a análise ao setor de funilaria da empresa, que é responsável por estruturar as carrocerias por meio do processo de solda ponto. O setor de funilaria foi escolhido para o estudo de caso por apresentar um alto grau de automação com a inserção da tecnologia 4.0, com 90% do processo de solda realizado por robôs. Esse processo, passou por diversas transformações e investimentos em automação e tecnologia, elevando o nível de automação para quase todo o processo, com exceção apenas de algumas áreas em que a automação não era viável ou poderia gerar problemas de qualidade.

#### 4. Resultados Parciais

Devido à grande diversidade de modelos de carros produzidos na área de estruturação da linha final "Respot", conforme demonstrado na Figura 1; o processo de solda é considerado crítico, já que qualquer interrupção ou falha na soldagem pode causar atrasos e impactar a linha de produção. Além disso, as falhas de solda geram grandes desperdícios de materiais, o que aumenta os custos de produção e afeta a sustentabilidade ambiental da empresa.



Figura 1 – Linha de Produção Respot

Foi desenvolvida uma abordagem para lidar com os desperdícios na produção, usando tecnologias da Indústria 4.0 em robôs de solda, chamada *Resistance Adaptive Feedback Technology* (RAFT). O sistema tem duas partes principais: o AdaptQ, um componente adaptativo que automatiza a soldagem ajustando o processo por meio de um algoritmo controlado pelo robô; e o SoftQ, um componente de software integrado ao RAFT que monitora a máquina, identifica áreas críticas, avalia o desempenho e antecipa correções. A implementação da tecnologia RAFT integrou os *autonomous robots*, que permitem às máquinas tomarem decisões durante a soldagem, impulsionando a economia circular e reduzindo o consumo de energia em

cerca de 11,2%. Além disso, eliminou a necessidade do fluido antirrespingo, diminuiu o uso de água e lixas abrasivas. Na indústria automotiva, trocadores automáticos de eletrodos foram introduzidos no setor de funilaria. O processo ocorre sem parar a produção, utilizando cada eletrodo até seu fim de vida. Isso reduziu as trocas diárias e diminuiu o consumo de eletrodos em 34% anualmente.

#### 5. Conclusões

O presente estudo está atualmente em desenvolvimento, com foco na análise dos resultados obtidos em campo e na sua correlação com a literatura pertinente à Indústria 4.0 e Economia Circular. Os passos subsequentes visam a construção de um artigo que explore os benefícios da Indústria 4.0 no contexto de uma produção mais sustentável e ecologicamente responsável. O objetivo é identificar e ressaltar práticas e tecnologias inovadoras que possam catalisar a adoção de um modelo de produção industrial mais consciente.

#### 6. Referências

- [1] Unido, *Cleaner production toolkit*, Introduction in the cleaner production, **1** (2002).
- [2] W. Wang et al., *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, **31** (2017) 362-379
- [3] M. Shayganmehr et al., *Journal of Cleaner Production*, 2020.
- [4] S. Weyer et al., *IFAC-Papers OnLine*, **49** (2016) 97–102
- [5] M. Rübmann et al., *Journal of Cleaner Production*, **142** (2015) 956-964
- [6] C. Karlsson, *Researching Operations Management*, Routledge, 2009.
- [7] R. K. Yin, *Case study research: design and methods*, SAGE, 2015.

#### Agradecimentos

Ao Centro Universitário FEI pelo fornecimento das literaturas acadêmicas essenciais contribuintes para a elaboração desse estudo. À Indústria Automobilística que autorizou o estudo de campo, possibilitando uma análise mais abrangente de todos os fatores fundamentais para a empresa.

<sup>1</sup> Aluno de IC do Centro Universitário FEI. Projeto com vigência de 02/2023 a 01/2024.