

UM ESTUDO SOBRE OS BENEFÍCIOS, DESAFIOS E MATURIDADE DA INDÚSTRIA 4.0

A STUDY ON THE BENEFITS, CHALLENGES, AND MATURITY OF INDUSTRY 4.0

Raquel Cristina Nogueira - raquel.nogueira01@fatec.sp.gov.br
 Fatec Taquaritinga “Marlene Maria Miletta Servidoni” – Taquaritinga – São Paulo – Brasil

Luis Fernando Terazzi – luis.terazzi@fatec.sp.gov.br
 Fatec Taquaritinga “Marlene Maria Miletta Servidoni” – Taquaritinga – São Paulo – Brasil

DOI: 10.31510/infa.v22i1.2205
 Data de submissão: 06/04/2025
 Data do aceite: 26/06/2025
 Data da publicação: 30/06/2025

RESUMO

Este estudo analisa os benefícios, desafios e o nível de maturidade da Indústria 4.0 a partir da realidade de uma multinacional de grande porte do setor de borracha automotiva, localizada no interior de São Paulo. A Indústria 4.0 representa a integração de tecnologias avançadas, como Internet das Coisas, *Big Data*, Inteligência Artificial e computação em nuvem, que transformam processos produtivos e a dinâmica organizacional. O objetivo é compreender como essas tecnologias impactam a operação industrial, identificando avanços, obstáculos e o estágio de maturidade tecnológica. A metodologia adotada é qualitativa, com estudo de caso e realização de entrevistas semiestruturadas com três colaboradores diretamente envolvidos com a implementação da Indústria 4.0. Os resultados revelam ganhos em produtividade, eficiência e tomada de decisão, mas também apontam dificuldades, como resistência à mudança, necessidade de capacitação e altos investimentos iniciais. Conclui-se que, apesar dos benefícios evidentes, a plena integração das tecnologias ainda demanda tempo, adaptação cultural e estratégica. A maturidade tecnológica da empresa estudada está em desenvolvimento, com avanços consistentes, mas com desafios a serem superados.

Palavras-chave: Eficiência. Tecnologia. Transformação digital.

ABSTRACT

This study analyzes the benefits, challenges, and maturity level of Industry 4.0 based on the reality of a large multinational company in the automotive rubber sector, located in the countryside of São Paulo, Brazil. Industry 4.0 represents the integration of advanced technologies such as the Internet of Things, Big Data, Artificial Intelligence, and cloud

computing, which are transforming production processes and organizational dynamics. The aim is to understand how these technologies impact industrial operations by identifying progress, obstacles, and the stage of technological maturity. The adopted methodology is qualitative, based on a case study and semi-structured interviews conducted with three employees directly involved in the implementation of Industry 4.0. The results reveal gains in productivity, efficiency, and decision-making, but also highlight challenges such as resistance to change, the need for professional training, and high initial investments. It is concluded that, despite evident benefits, full integration of these technologies still requires time, as well as cultural and strategic adaptation. The technological maturity of the studied company is under development, with consistent progress, but with challenges yet to be overcome.

Keywords: Efficiency. Technology. Digital transformation

1. INTRODUÇÃO

Segundo Alqudhaibi *et al.* (2025), a Indústria 4.0 constitui a base da quarta revolução industrial, sendo marcada pela integração de tecnologias inovadoras nos processos produtivos, o que aprimora a automação, a análise de dados e a tomada de decisão autônoma por meio da interconexão e troca eletrônica de dados. Dessa forma, Bueno *et al.* (2025) indicam que a rápida transformação impulsionada pela Indústria 4.0 tem levado as empresas a adotar e implementar iniciativas tecnológicas de forma acelerada, resultando em melhorias significativas no desempenho e na dinâmica operacional da indústria de manufatura. Entretanto, essa revolução também impõe desafios, exigindo que as empresas superem barreiras relacionadas à adaptação tecnológica, qualificação da mão de obra e integração eficiente dessas novas práticas digitais (Bueno *et al.*, 2025).

Com isso, a conectividade entre sistemas, pessoas e máquinas é ampliada, o que resulta em um aumento significativo na interação entre os elementos de produção e tecnologias. Essa evolução traz uma maior conexão entre os sistemas de manufatura, contribuindo para a criação de um ambiente mais ágil e eficiente (Caiado *et al.*, 2021). Neste contexto, conforme Strazzullo (2024), as tecnologias da Indústria 4.0, como, por exemplo, a Internet das Coisas (IoT), *Big Data*, Computação em Nuvem, Inteligência Artificial (IA), automação avançada e análise de dados em tempo real, oferecem inovações significativas que podem aumentar drasticamente a produtividade das organizações. No entanto, como destacado por Strazzullo (2024), a implementação dessas tecnologias pode gerar dificuldades dentro das empresas, o desafio é disseminar o aprendizado ao colaborador e estabelecer confiança entre as partes interessadas, facilitando a integração eficiente dessas tecnologias.

Deste modo, Kiran (2019) indica que, independentemente do tamanho da organização, muitas enfrentam dificuldades na adoção dos conceitos e tecnologias da Indústria 4.0, o que

torna necessário um processo constante de adaptação às inovações trazidas por esse novo modelo de produção. Além disso, para Müller, Buliga e Voigt (2020) as empresas de médio porte, geralmente, não dedicam tanta atenção aos conceitos da Indústria 4.0, o que leva a um grau de maturidade mais baixo em comparação às grandes empresas. Por outro lado, as grandes corporações conseguem aproveitar melhor os conceitos dessa nova era industrial. No entanto, independentemente do porte, todos enfrentam os desafios significativos que surgem ao tentar adotar esse novo modelo de manufatura (Müller; Buliga; Voigt, 2020). Sendo assim, este estudo se justifica, pois busca compreender de forma mais aprofundada os benefícios e as dificuldades enfrentadas pelas organizações durante a implementação da Indústria 4.0, identificando os pontos críticos que precisam ser superados para alcançar uma integração mais eficiente das novas tecnologias.

Portanto, este artigo tem como objetivo analisar os benefícios, desafios e o nível de maturidade na aplicação da Indústria 4.0 a partir da perspectiva de uma multinacional, localizada no interior de São Paulo, de grande porte, industrializadora de borracha para empresas automobilística. Para isso, será realizada uma pesquisa com abordagem qualitativa, utilizando o método de estudo de casos, por meio de três entrevistas semiestruturadas com profissionais que vivenciam a implementação e o desenvolvimento dessas tecnologias no ambiente industrial.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Aspectos da Indústria 4.0

Segundo Lassen e Larsen (2025), a Quarta Revolução Industrial, também chamada de Indústria 4.0, representa uma transformação profunda nos sistemas de manufatura. Esse avanço impulsiona a interligação entre tecnologias, a cooperação entre diferentes agentes e a integração em nível global. Como resultado, os processos produtivos passam a ser planejados, operados e executados de maneira autônoma, atingindo níveis inéditos de eficiência e flexibilidade (Lassen; Larsen, 2025). De acordo com Alquidhaibi *et al.* (2025), essa revolução redefine a interação entre máquinas, sistemas e pessoas, tornando os ambientes de produção mais inteligentes e conectados.

Desse modo, é notório que os benefícios da Indústria 4.0 são amplos, desde a melhoria da eficiência operacional e a redução de custos com a automação, até a possibilidade de oferecer personalização em massa e garantir uma qualidade superior e mais confiabilidade por meio de análises preditivas e dados mais assertivos, sendo que o que realmente impulsiona essa

transformação é a digitalização, que acontece de forma integrada, impactando processos, tecnologias e unidades, tanto dentro quanto fora das organizações (Lassen; Larsen, 2025).

Para complementar a discussão sobre os aspectos da Indústria 4.0, é essencial considerar as transformações profundas que essa revolução tem causado não apenas nos processos produtivos, mas também na organização do trabalho e na sociedade como um todo. Nesse sentido, Dirik (2022) destaca que a Indústria 4.0 e seus componentes de ponta estão redefinindo todos os aspectos das empresas e da vida humana, gerando amplas repercussões para o gerenciamento da produção e da força de trabalho na era digital. Com as constantes inovações tecnológicas, as definições tradicionais de emprego formal e informal tornam-se cada vez menos aplicáveis, uma vez que interrupções de diversas naturezas desafiam os modelos convencionais de trabalho (Dirik, 2022). Como aponta Bueno *et al.* (2025), as empresas precisam superar desafios estruturais, como falta de mão de obra especializada, os elevados custos de investimento e a necessidade de adaptação a novas tecnologias.

Dessa forma Lassen e Larsen (2025) denotam que a Indústria 4.0, ao transformar processos produtivos e o mercado de trabalho, exige das empresas adaptação tanto tecnológica quanto no desenvolvimento de competências da força de trabalho pois a transformação digital e as novas demandas trazidas pela Indústria 4.0 exigem que as empresas invistam no desenvolvimento de habilidades e competências da força de trabalho, já que as soluções avançadas frequentemente requerem conhecimento técnico especializado e adaptação ao novo ambiente de trabalho mais automatizado e integrado.

2.2. Principais Tecnologias da Indústria 4.0

A Indústria 4.0 não seria possível sem o avanço de diversas tecnologias que permitem sua implementação e progresso (Strazzulli, 2024). Assim, para Pereira e Simonetto (2018) a introdução das tecnologias é frequentemente vista como a base fundamental para a Indústria 4.0. Embora muitas das tecnologias que possibilitam essa transformação já estejam disponíveis, elas são, em grande parte, aplicadas em outras áreas antes de serem integradas aos processos industriais (Pereira; Simonetto, 2018). Segundo Rüßmann *et al.* (2015), Santos e Deschamps (2024) e Schwab (2019) a Indústria 4.0 é sustentada por alguns pilares tecnológicos, sendo alguns deles:

- **Big Data:** o uso do *Big Data* na manufatura tem se destacado pela capacidade de otimizar processos, reduzir falhas e melhorar a qualidade da produção. Com a análise de grandes volumes de dados, empresas podem correlacionar

informações de diferentes etapas do processo produtivo, possibilitando a identificação imediata de falhas e a tomada de decisões em tempo real (Rüßmann *et al.*, 2015, Santos; Deschamps, 2024);

- **Internet das Coisas (IoT):** na indústria o IoT permite a coleta e análise de dados de maneira instantânea por meio de sensores e dispositivos conectados. Essa tecnologia não apenas monitora a posição e o funcionamento de máquinas, peças e produtos, mas também possibilita a geolocalização de pessoas e veículos industriais. Dessa forma, a IoT contribui para a automação e otimização dos processos produtivos, levando a manufatura para um novo nível de inteligência e eficiência operacional, alinhado ao conceito de fábrica inteligente (Santos; Deschamps, 2024);
- **Manufatura Aditiva:** a Indústria 4.0 permitirá a produção descentralizada de itens personalizados, reduzindo custos com estoque por meio de tecnologias avançadas, como a impressão 3D, que viabiliza a fabricação sob demanda e aumenta a eficiência do processo produtivo (Rüßmann *et al.*, 2015, Schwab, 2019);
- **Computação em nuvem (*Cloud computing*):** A computação em nuvem, que já é aplicada em diversas áreas como processos empresariais e análise de dados, terá um aumento significativo de uso com a Indústria 4.0. Isso se deve ao seu potencial de melhorar o desempenho das tecnologias e facilitar o compartilhamento de dados entre empresas, promovendo uma maior integração e eficiência nos sistemas de produção (Pereira; Simonetto, 2018). A tecnologia possibilita o compartilhamento de informações entre diferentes locais e facilita o acesso a dados em tempo real (Almeida, 2019).
- **Simulações:** A simulação é uma ferramenta que permite identificar erros específicos dentro de um sistema, contribuindo para a melhoria e a eficiência dos processos (Almeida, 2019). A simulação utiliza dados em tempo real para criar um modelo virtual que reflete o mundo físico, incluindo máquinas, produtos e pessoas. Isso permite que os operadores testem e otimizem as configurações das máquinas antes de realizar a mudança física, o que reduz o tempo de preparação das máquinas e melhora a qualidade (Rüßmann *et al.*, 2015).

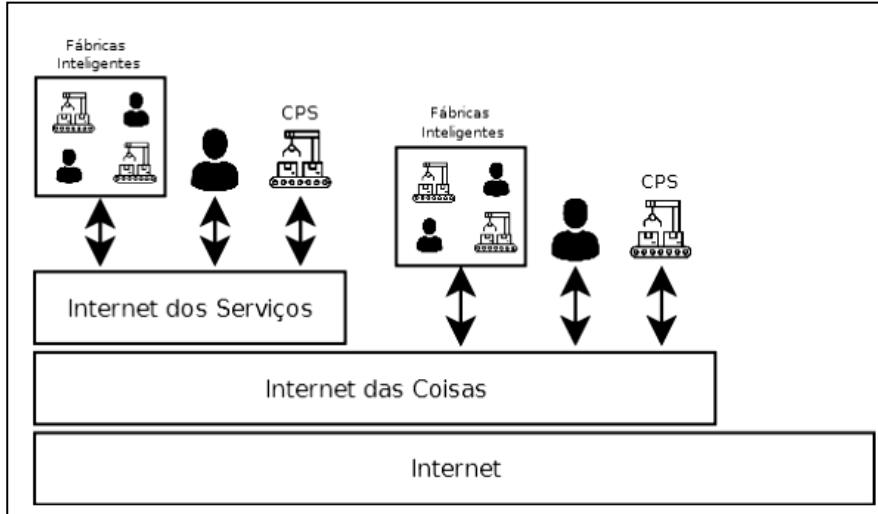
- **Segurança Cibernética:** a segurança cibernética se torna cada vez mais crucial à medida que a Indústria 4.0 avança, pois a maior conectividade e o uso de protocolos padrão aumentam a exposição a ameaças. Para proteger sistemas industriais e linhas de produção, é fundamental garantir comunicações seguras e um controle rigoroso de identidade e acesso (Rüßmann *et al.*, 2015). Como ressalta Schwab (2019), a cibersegurança é essencial para a estabilidade e o sucesso da transformação digital, uma vez que a infraestrutura digital cresce e se torna mais interconectada.

Segundo Santos e Deschamps (2024) as tecnologias da Indústria 4.0 não apenas aprimoram os processos produtivos, mas também possibilitam a integração e automação de dados, criando um ambiente mais inteligente e colaborativo.

2.3. Transformações Organizacionais com a Indústria 4.0

Lassen e Larsen (2025) afirmam que, apesar do considerável potencial atribuído à Indústria 4.0 e do grande interesse na adoção de tecnologias avançadas na manufatura, poucas Pequenas e Médias Empresas (PMEs) conseguiram transformar com sucesso seus sistemas de manufatura para o modelo da Indústria 4.0. A Indústria 4.0 não traz apenas mudanças tecnológicas, mas também impacta profundamente a forma como as empresas são organizadas e geridas. Com a digitalização dos processos, a hierarquia tradicional das fábricas tem de tornado cada vez mais flexível, dando espaço para estruturas mais descentralizadas e colaborativas (Muller, Buliga e Voigt, 2020).

Além disso, as empresas precisam estar preparadas para lidar com mudanças culturais significativas. Bueno *et al.* (2025) apontam que a implementação da Indústria 4.0 pode encontrar resistência dentro das organizações, principalmente quando há falta de conhecimento sobre os benefícios da digitalização. Para minimizar esse impacto, é fundamental investir em comunicação interna eficiente e em estratégias que envolvam os colaboradores no processo de inovação (Bueno *et al.*, 2025). Neste contexto, para Pereira e Simonetto (2018) a estrutura de transformação da Indústria 4.0 é formada por Sistemas Ciberfísicos (CPS), pessoas e fábricas inteligentes, que interagem de maneira dinâmica utilizando recursos da Internet dos Serviços e da Internet das Coisas, todos conectados por meio da infraestrutura da Internet. Essa configuração permite uma integração avançada e otimização dos processos produtivos, conforme ilustrado na Figura 01.

Figura 01 - Estrutura da Indústria 4.0


Fonte: Pereira e Simonetto (2018).

Portanto, Lassen e Larsen (2025) afirmam que a Indústria 4.0 não se trata apenas de uma evolução tecnológica, mas de uma transformação estrutural que redefine a maneira como os processos produtivos são planejados, executados e integrados. Essa revolução exige que as empresas adaptem não apenas suas tecnologias, mas também suas estratégias e competências organizacionais para permanecerem competitivas no cenário global (Pereira; Simonetto, 2018). Como destacado na Figura 01, que ilustra a estrutura da Indústria 4.0, a integração dos sistemas ciberfísicos, das pessoas e das fábricas inteligentes, interconectados por meio da Internet das Coisas e da infraestrutura digital, é essencial para essa transformação.

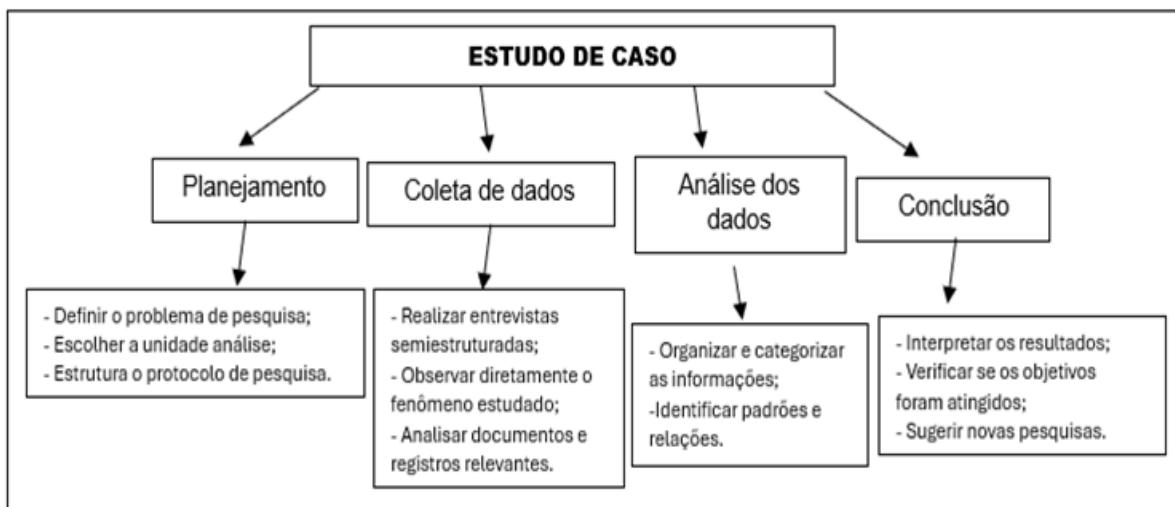
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A metodologia deste estudo adota uma abordagem qualitativa, utilizando o método de estudo de caso. Conforme Turrioni e Mello (2012), a pesquisa qualitativa permite compreender fenômenos sociais e organizacionais a partir da perspectiva dos indivíduos envolvidos, considerando suas percepções e experiências. O estudo de caso, por sua vez, é um método apropriado para investigar fenômenos complexos em seu contexto real, permitindo uma análise aprofundada de um único objeto de estudo (Turrioni; Mello, 2012).

3.1. Estrutura do Estudo de Caso

Para estruturar esta pesquisa, adota-se o modelo proposto por Cauchick Miguel e Sousa (2012), que define quatro etapas para a condução de um estudo de caso, conforme Figura 02.

Figura 01 - Abordagem Metodológica para a Condução de Estudos de Caso



Fonte: adaptado de Cauchick Miguel e Sousa (2012).

Assim, de acordo com a Figura 02, a primeira etapa é definida pelo Planejamento, que envolve a definição dos elementos do estudo de caso. Para isso, iniciou-se com um levantamento de informações sobre o tema em fontes como artigos, livros e sites especializados. Em seguida, foi realizada a seleção do ambiente de pesquisa, levando em consideração sua relevância para o objeto de estudo. Nesse contexto, a empresa multinacional escolhida atua na industrialização de borracha, com foco na produção de componentes para o setor automobilístico, sendo reconhecida pela sua contribuição à inovação e à excelência operacional nesse segmento. Paralelamente, estruturou-se o protocolo de pesquisa, que incluiu a formulação do objetivo do estudo e a definição da abordagem metodológica, caracterizada pela abordagem qualitativa. Para a coleta de dados, optou-se pelo uso de um roteiro de entrevistas semiestruturado, alinhadas com o objetivo da pesquisa.

Assim a segunda etapa, Coleta de Dados, foi a realização das entrevistas semiestruturadas. As entrevistas foram conduzidas com três profissionais estratégicos dentro da organização, considerando sua experiência e envolvimento com os processos industriais. Os participantes foram: o Supervisor de Produção, o Analista Técnico de Produção, e o Engenheiro de Segurança com respectivamente 14 anos, 6 anos e 8 anos de experiências no cargo. As entrevistas foram conduzidas presencialmente, tiveram duração média de 20 minutos cada.

Após a Coleta de Dados, na terceira etapa, chamada Análise dos Dados, as informações foram organizadas e transcritas, o que permitiu identificar padrões e conexões relevantes. Por fim, na etapa de Conclusão, os resultados foram analisados para entender se o objetivo da pesquisa foi realmente alcançado, levando em consideração os dados obtidos ao longo do estudo do caso.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As entrevistas semiestruturadas com os profissionais da indústria revelaram percepções complementares sobre os benefícios, desafios e impactos culturais da implementação da Indústria 4.0 nas empresas.

Os três entrevistados apontaram melhorias significativas na produtividade, na organização do trabalho e na eficiência dos processos após a adoção de tecnologias relacionadas à Indústria 4.0. O Analista Técnico de Produção destacou que a tecnologia traz inúmeros benefícios, como melhoria nos processos, redução de custos e automatização de tarefas diárias, além de ganhos em sustentabilidade e apoio à tomada de decisão por meio de *dashboards* e *Big Data*. Nesse contexto, o Engenheiro de Segurança reforçou que a automação promove mais segurança para os trabalhadores e melhor qualidade nos produtos. Segundo Schwab (2016), a conectividade dos sistemas produtivos impacta positivamente na segurança operacional e na padronização de processos.

O Supervisor de Produção, com experiência direta na linha de frente, relatou que a automação reduz a dependência da mão de obra, especialmente em casos de absenteísmo: “*não vamos mais ter problemas com pessoas faltando e entregando atestado médico, assim podendo atingir o objetivo da produção todos os dias*”. Embora a Indústria 4.0 represente um marco na evolução dos sistemas produtivos, sua implementação ainda é acompanhada por desafios significativos. Conforme Schwab (2016), essa nova revolução industrial demanda não apenas o uso de novas tecnologias, mas também uma transformação profunda na cultura organizacional, nos modelos de negócio e nas relações de trabalho.

Nas entrevistas, os principais desafios identificados convergiram em três fatores: infraestrutura tecnológica, capacitação da mão de obra e resistência cultural à mudança.

Quanto à infraestrutura tecnológica, os entrevistados foram unâimes ao mencionar o alto custo de investimento em tecnologias digitais, como sensores inteligentes, sistemas de automação, impressoras 3D e softwares de gestão integrada. O Analista Técnico de Produção destacou que, apesar dos benefícios, o custo elevado das tecnologias reduz a velocidade dos investimentos.

Outro desafio recorrente refere-se à formação e capacitação da mão de obra. O Supervisor de Produção relatou a dificuldade em encontrar profissionais preparados para lidar com tecnologias avançadas, o que reforça a necessidade de investimentos em qualificação contínua. Schwab (2016) destaca que o capital humano deve acompanhar a evolução

tecnológica para garantir produtividade e sustentabilidade nas operações. Também foi observada resistência à mudança por parte dos colaboradores, especialmente nos estágios iniciais da implementação. O Engenheiro de Segurança afirmou que "...*toda mudança gera desconforto*", enquanto o Analista Técnico de Produção explicou que a gestão tenta contornar esse problema por meio de comunicação clara dos benefícios, metas atreladas a indicadores de desempenho e recompensas por resultados.

Outro ponto relevante levantado pelos entrevistados é a disparidade entre pequenas e grandes empresas no processo de digitalização. Todos concordam que pequenas e médias empresas enfrentam mais dificuldades, seja pela escassez de recursos financeiros, seja pela limitação de acesso a parcerias estratégicas e apoio institucional. O Engenheiro de Segurança destacou o investimento elevado necessário para as adequações iniciais. Esse cenário evidencia a urgência de políticas públicas e iniciativas de fomento que promovam a democratização do acesso às tecnologias 4.0, especialmente em países em desenvolvimento.

Assim, os desafios da Indústria 4.0 ultrapassam a esfera técnica. Envolvem a reestruturação dos modelos organizacionais, a formação de lideranças adaptáveis e a criação de ambientes favoráveis à inovação. Para superá-los, é necessário um esforço coordenado entre gestores, trabalhadores, setor público e instituições de ensino, no sentido de alinhar estratégia, tecnologia e pessoas. A resistência cultural, como já mencionado, foi um dos principais problemas. O Analista Técnico de Produção ressaltou que ela decorre de uma cultura organizacional arraigada, mas que a empresa busca superá-la por meio de bonificações vinculadas ao desempenho.

Segundo o Supervisor de Produção, a maturidade digital das empresas não se define apenas pela adoção de tecnologias da Indústria 4.0, mas sim pelo grau de integração entre processos produtivos, cultura organizacional e estratégias de negócio. Schwab (2016) complementa que a transformação digital exige mudanças estruturais e culturais, indo além da simples aquisição de ferramentas tecnológicas.

Os entrevistados indicaram que o nível de maturidade da Indústria 4.0 ainda varia significativamente entre empresas e setores. O Analista Técnico de Produção avaliou que sua organização se encontra em um nível intermediário, com avanços em automação e digitalização, mas com espaço para melhorias. Já o Engenheiro de Segurança classificou a empresa como de alta maturidade digital, ressaltando os ganhos em segurança e eficiência operacional.

O Supervisor de Produção reforçou que a Indústria 4.0 trouxe benefícios como previsibilidade na produção e redução de problemas com ausência de pessoal. No entanto,

também destacou a dificuldade de encontrar mão de obra qualificada, o que reforça a importância do investimento contínuo em capacitação. O Analista Técnico de Produção acrescentou que grandes empresas têm mais recursos para investir em tecnologia e formação, enquanto pequenas e médias enfrentam limitações financeiras e retorno mais demorado sobre os investimentos. Apesar dessas barreiras, os entrevistados foram unânimes ao afirmar que a transformação digital é um caminho sem volta. Empresas que não se adaptarem à Indústria 4.0 correm o risco de perder competitividade, já que automação, uso de dados estratégicos e otimização dos processos são fatores essenciais para o sucesso no mercado atual.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Indústria 4.0 promove uma integração avançada entre tecnologias, máquinas e pessoas, proporcionando ganhos em eficiência, qualidade e competitividade. No entanto, sua implementação exige não apenas investimentos tecnológicos, mas também mudanças organizacionais e culturais. O estudo demonstrou que, embora as tecnologias da Indústria 4.0 tragam benefícios como automação avançada e aumento da produtividade, sua adoção enfrenta desafios, como qualificação da mão de obra, adaptação estrutural e resistência organizacional. Assim, as empresas devem desenvolver estratégias para superar essas barreiras e garantir uma transição bem-sucedida.

Algumas limitações do estudo devem ser consideradas. A pesquisa foi baseada em um estudo de caso em uma única multinacional do setor de borracha para a indústria automobilística, o que pode restringir a generalização dos achados.

Sugere-se que pesquisas futuras investiguem a implementação da Indústria 4.0 em diferentes segmentos industriais e portes de empresas, permitindo uma visão mais abrangente sobre seus impactos e desafios.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, P. S. **Indústria 4.0**: princípios básicos, aplicabilidade e implantação na área industrial. São Paulo: Érica, 2019. 136p.
- ALQUUDHAIBI, A.; ALBARRAK, M.; JAGTAP, S.; WILLIAMS, N.; SALONITIS, K. Securing Industry 4.0: Assessing Cybersecurity Challenges and Proposing Strategies for Manufacturing Management. **Cyber Security and Applications**, v. 3, 2025.
- BUENO, A.; GODINHO FILHO, M.; CECCONELLO, M.; SANTA-EULÁLIA, L. A. de; GUSMÃO CAIADO, R. G.; GANGA, G. M. D.; CARVALHO, J. V. Advancing Towards

Industry 4.0: A Maturity Model for Smart Shop Floor Control. **International Journal of Production Economics**, v. 282, 2025.

CAIADO, R. G. G.; SCAVARDA, L. F.; GAVIÃO, L. O.; IVSON, P.; NASCIMENTO, D. L. de M.; GARZA-REYES, J. A. A Fuzzy Rule-Based Industry 4.0 Maturity Model for Operations and Supply Chain Management. **International Journal of Production Economics**, v. 231, 2021.

DIRIK, D. Indústria 4.0 e o Novo Mundo do Trabalho. In YAKUT, E. (Org.). **Indústria 4.0 e Negócios Globais**. Leeds: Emerald Publishing Limited, 2022, cap.1, p.1-17.

KIRAN, D.R. **Production planning and control: a Comprehensive Approach**. Índia: Matthew Deans, 2019.

LASSEN, A. H.; LARSEN, M. S. S. Manufacturing innovation for Industry 4.0: an innovation capability perspective. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 36, n. 9, p. 19-44, 2025.

MÜLLER, J.M.; BULIGA, O.; VOIGT, K. The Role of Absorptive Capacity and Innovation Strategy in the Design of Industry 4.0 Business Models-A Comparison Between SMEs and Large Enterprises. **European Management Journal**, v.38, n.1 p. 1-27, 2020.

PEREIRA, A.; SIMONETTO, E.O. Indústria 4.0: Conceitos e Perspectivas para o Brasil. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v.18, n.1, 2018.

RÜßMANN, M.; LORENZ, M.; GERBERT, P.; WALDNER, M.; JUSTUS, J.; ENGEL, P.; HARNISCH, M. **Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries**. 2015. Disponível em: <https://www.bcg.com/publications/2015/engineered_products_project_business_industry_4_future_productivity_growth_manufacturing_industries>. Acesso em: 01 mar. 2025.

SANTOS, S.; DESCHAMPS, F. Industry 4.0 enablers provide a typical architecture for industrial manufacturing data. **Procedia CIRP**, v. 121, p. 37-42, 2024.

STRAZZULLO, S. Fostering Digital Trust in Manufacturing Companies: Exploring the Impact of Industry 4.0 Technologies. **Journal of Innovation & Knowledge**, v. 9, n. 4, 2024. SCHWAB, K. **A quarta revolução industrial**. São Paulo: Edipro, 2019.