

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE SÃO PAULO**

Faculdade de Economia, Administração, Contábeis e Atuariais

Curso de Administração

**Trabalho de Conclusão de Curso**

**INDÚSTRIA INTELIGENTE: COMO A TECNOLOGIA 4.0 PODE  
CONECTAR, AUTOMATIZAR E TRANSFORMAR  
A INDÚSTRIA AUTOMOTIVA**

LAURA SALLES

São Paulo – SP

2024

**LAURA SALLES**

**INDÚSTRIA INTELIGENTE: COMO A TECNOLOGIA 4.0 PODE  
CONECTAR, AUTOMATIZAR E TRANSFORMAR  
A INDÚSTRIA AUTOMOTIVA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Administração, do Departamento de Administração, da Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Atuária, da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, como pré-requisito para a obtenção do título de Bacharel em Administração, orientado pelo Prof. Dr. Eduardo F. P. Moreira.

São Paulo – SP

2024

Dedico este trabalho, assim como todas as minhas conquistas, àqueles que me acompanharam durante a minha jornada de crescimento, minha irmã Sofia e meus pais Elaine e Régis. Ao meu orientador, professor Eduardo, cujo apoio e orientação foram essenciais para a conclusão deste trabalho.

# SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	8
<b>1. A TECNOLOGIA 4.0</b> .....	10
1.1 O SURGIMENTO DA TECNOLOGIA INDUSTRIAL .....	10
1.2 OS PILARES DA TECNOLOGIA 4.0 .....	14
<b>2. PANORAMA DA TECNOLOGIA 4.0 NO CENÁRIO BRASILEIRO</b> .....	21
2.1 A TECNOLOGIA 4.0 NA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA .....	24
<b>3. ESTUDO DE CASO: SIEMENS E A IMPLEMENTAÇÃO DA TECNOLOGIA 4.0 NA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA</b> .....	30
3.1 SIEMENS AG .....	30
3.2 ANÁLISE DE MATURIDADE DA INDÚSTRIA 4.0 E CONSULTORIA SIEMENS .....	31
3.3 ESTUDO DE CASO: VINFAST IMPLANTA O PORTFÓLIO COMPLETO DA SIEMENS - FÁBRICA AUTOMOTIVA TOTALMENTE DIGITAL NO SUDESTE ASIÁTICO .....	34
<b>CONCLUSÃO</b> .....	39
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	41

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Linha de montagem em uma indústria automotiva atual.....	25
Figura 2 – Gêmeo Digital de um veículo automotivo.....	27
Figura 3 – As quatro áreas fundamentais para a implementação da Indústria 4.0.....	31
Figura 4 – Indicador de Maturidade da Indústria 4.0, ACATECH.....	32
Figura 5 – Fábrica Digital da VinFast, em Hai Phong no Vietnã.....	35
Figura 6 – Gêmeo Digital impulsionado pelos softwares Teamcenter e NX da Siemens.....	37
Figura 7 – Equipamento de Automação Totalmente Integrada (TIA) da Siemens.....	38

## RESUMO

A Indústria 4.0 está redefinindo o futuro com máquinas inteligentes, processos automatizados e a transformação digital, onde a tecnologia deixa de ser um suporte e passa a ser o coração da indústria. Com isso, a Quarta Revolução Industrial integra tecnologias avançadas como Inteligência Artificial, Internet das Coisas, Computação em Nuvem e Robótica, promovendo a interconexão e automação dos processos produtivos. Tais tecnologias impulsionaram a transformação digital, criando fábricas inteligentes, reduzindo custos e aumentando a eficiência. O trabalho tem por objetivo, apresentar referenciais teóricos e conceituais sobre a Indústria 4.0 e as novas tecnologias, destacando sua evolução, impactos e aplicação no Brasil e em indústrias específicas, como o setor automotivo. No Brasil, a implementação da Indústria 4.0 enfrenta desafios, incluindo a falta de infraestrutura e mão de obra especializada, ainda assim, grandes empresas avançam na adoção dessas tecnologias. No setor automotivo, a Indústria 4.0 permite maior personalização e eficiência na produção de veículos, como demonstra o estudo de caso da Siemens com a VinFast, expondo como a integração de tecnologia pode acelerar o desenvolvimento e elevar a competitividade industrial. Desse modo, o trabalho visa demonstrar como a Indústria 4.0 pode impulsionar e transformar o ambiente industrial, resultando em fábricas inteligentes, ágeis e competitivas, adaptadas às demandas modernas de um mercado globalizado.

**Palavras-Chave:** Indústria 4.0; Setor automotivo; Tecnologia avançada; Fábrica inteligente.

## ABSTRACT

Industry 4.0 is redefining the future with intelligent machines, automated processes and digital transformation, where technology stops being a support and becomes the heart of the industry. As a result, the Fourth Industrial Revolution integrates advanced technologies such as Artificial Intelligence, Internet of Things, Cloud Computing and Robotics, promoting the interconnection and automation of production processes. Such technologies have driven digital transformation, creating smart factories, reducing costs and increasing efficiency. The objective of the work is to present theoretical and conceptual references about Industry 4.0 and new technologies, highlighting their evolution, impacts and application in Brazil and in specific industries, such as the automotive

sector. In Brazil, the implementation of Industry 4.0 faces challenges, including the lack of infrastructure and specialized labor, yet large companies are moving forward in adopting these technologies. In the automotive sector, Industry 4.0 allows for greater customization and efficiency in vehicle production, as demonstrated by Siemens' case study with VinFast, exposing how technology integration can accelerate development and increase industrial competitiveness. In this way, the work aims to demonstrate how Industry 4.0 can boost and transform the industrial environment, resulting in smart, agile and competitive factories, adapted to the modern demands of a globalized market.

**Keywords:** Industry 4.0; Automotive sector; Advanced technology; Smart factory.

## INTRODUÇÃO

Ao longo da jornada da humanidade, em busca de aprimorar suas condições de vida, é marcada por uma constante evolução tecnológica. Desde as ferramentas rudimentares da pré-história até as máquinas avançadas da era moderna, a busca incessante por inovação tem impulsionado mudanças significativas em todos os aspectos da vida humana. Com o advento das revoluções industriais, tais mudanças tornaram-se cada vez mais profundas e disruptivas, moldando economias e redefinindo a relação entre homem, máquina e sociedade. Cada uma das revoluções industriais trouxe marcos tecnológicos e organizacionais que alteraram profundamente as estruturas econômicas, políticas e sociais.

A Primeira Revolução Industrial, no final do século XVIII, foi marcada pela introdução das máquinas a vapor e pela mecanização dos processos produtivos, iniciando uma transição de uma economia predominantemente agrária para uma economia industrial. Em seguida, a Segunda Revolução Industrial, no século XIX, trouxe a eletrificação, a produção em massa e o avanço dos transportes, consolidando a integração de mercados globais. Posteriormente, a Terceira Revolução Industrial, na segunda metade do século XX, foi impulsionada pela automação, computação e conectividade digital, que transformaram não apenas a indústria, mas também os serviços e a comunicação global.

Atualmente, a Quarta Revolução Industrial ou Indústria 4.0, representa um novo paradigma tecnológico, integrando novas tecnologias como Inteligência Artificial, Internet das Coisas (IoT), Big Data, Computação em Nuvem e Sistemas Ciber-Físicos. Desse modo, essa nova etapa industrial é descrita pela convergência entre os mundos físicos e digitais, promovendo transformações profundas nos processos produtivos, nos modelos de negócios e nas interações sociais. Diferentemente das revoluções industriais anteriores, a Indústria 4.0 não se limita a inovações pontuais, mas sim à integração total de tecnologias avançadas, que operam de maneira interconectada e autônoma.

A presente revolução tecnológica, é capaz de redefinir a maneira como bens e serviços são produzidos e consumidos, possibilitando uma maior eficiência, personalização e sustentabilidade. Com isso, surge o conceito de indústrias inteligentes, como um dos principais pilares dessa

transformação, caracterizado pela utilização de sistemas Ciber-Físicos e redes inteligentes para monitorar, controlar e otimizar processos em tempo real. Ou seja, na indústria inteligente, máquinas, produtos e sistemas, operam de maneira interconectada, ao utilizar tecnologias como sensores avançados e robótica colaborativa para criar ambientes de produção totalmente conectados, capazes de responder rapidamente às demandas do mercado e operar com eficiência.

Em suma, a Indústria 4.0 possibilita a indústria inteligente, ao integrar informações de diferentes etapas da cadeia produtiva, essas fábricas não apenas otimizam os processos internos, mas também promovem uma maior personalização de produtos, alinhando a produção às necessidades específicas dos consumidores. Esse modelo disruptivo favorece a redução de custos, o aumento da qualidade e a sustentabilidade ambiental, à medida que os recursos são utilizados de forma mais eficaz e os desperdícios são minimizados, redefinindo a produção industrial e oferecendo novas possibilidades de inovação e competitividade.

Ademais, a indústria automotiva, sempre à frente em termos de tecnologia e inovação, acaba por se beneficiar ao utilizar as soluções provenientes da Indústria 4.0, uma vez que, ao implementar tecnologias como Inteligência Artificial, Internet das Coisas e Gêmeos Digitais, o mercado automotivo junto da Indústria 4.0 alcança uma elevada vantagem sobre os concorrentes, a partir da alta troca de informações dentro dos sistemas, além disso, com a digitalização, a comunicação e a infraestrutura interna de uma indústria automotiva, é capaz de alcançar patamares de excelência ao conectar toda a rede de operações.

Por conseguinte, o presente trabalho tem como finalidade explorar a Indústria 4.0, assim como, suas diversas tecnologias, conceituando, analisando e aplicando-as na indústria automotiva. A partir desse fenômeno de inovações tecnológicas que transformam o panorama industrial e abrem portas para um futuro promissor, pretende-se compreender como a tecnologia 4.0 pode conectar, automatizar e transformar a indústria automotiva, considerando o impacto da transformação digital. Com isso, o trabalho será baseado em um estudo de caso da empresa Siemens AG para analisar como a Indústria 4.0 pode ser implementada na indústria automotiva, tal estudo de caso, será precedido por uma revisão bibliográfica abrangente sobre Indústria 4.0, Indústria Automotiva e as novas tecnologias.

## **1. A TECNOLOGIA 4.0**

### **1.1 O SURGIMENTO DA TECNOLOGIA INDUSTRIAL**

Desde os primórdios de sua evolução, o ser humano buscava meios de sobrevivência, aprimorando suas técnicas e desenvolvendo métodos, com a finalidade de alcançar, cada vez mais, melhores condições de vida na Terra. Com isso, entende-se que, à medida que o homem fazia uso de objetos que eram transformados em instrumentos diferenciados, ocorreu uma das primeiras formas de evolução, onde a complexidade se desenvolvia junto ao processo de construção das sociedades. A partir disso, o homem deu início ao seu processo de evolução, desde a criação de pedras lascadas, machados e lanças até o surgimento do fogo, e em seguida, a eletricidade, meios de transporte e de comunicação foram desenvolvidos, com a finalidade de facilitar a existência humana frente ao ambiente em que o homem foi inserido (NATIONAL GEOGRAPHIC BRASIL, 2022).

Ao decorrer dos anos, junto à evolução humana, a tecnologia abriu espaço para se desenvolver, gerando grandes impactos para o dia a dia das pessoas. Tais mudanças revolucionaram e transformaram a sociedade, atingindo tanto produtores quanto consumidores. Desse modo, as mudanças tecnológicas trouxeram consigo diversos benefícios, permitindo processos mais eficazes e ágeis, e níveis de qualidade em produtos e serviços superiores. Este desenvolvimento, foi possível com início da revolução industrial no século XVIII, proporcionando um grande avanço tecnológico (NEPIN, 2021).

O advento da revolução industrial marcou o primeiro passo evolutivo significativo, transformando e desenvolvendo, a tecnologia industrial. Na segunda metade do século XVIII (1760 – 1840) na Inglaterra, deu-se início à Primeira Revolução Industrial (Indústria 1.0) com a produção em larga escala, onde os modelos agrícola e artesanal de produção passaram para o modelo industrial dos dias atuais. A Indústria 1.0 marcou a época a partir da substituição do trabalho artesanal para o trabalho assalariado, além da introdução das máquinas no processo produtivo, assim como a fabricação de produtos químicos e a expansão do transporte, por meio de ferrovias e navios a vapor. Tal revolução, deu início ao sistema de fábrica, a partir da produção mecânica, com as máquinas a vapor alimentadas por combustíveis fósseis, sendo o carvão mineral o primeiro deles,

este uso do mineral impulsionou a produção de aço e permitiu o crescimento da indústria, aumentando a população nos centros industriais (SANTOS, 2019).

Após a Primeira Revolução Industrial, a tecnologia começou a se desenvolver em um ritmo acelerado, deu-se início a um processo evolutivo industrial, em que a cada passo rumo à evolução, diversos aspectos da vida do homem foram sendo transformados visando acompanhar esse momento. O final do século XIX (1850 – 1945) foi marcado pela Segunda Revolução Industrial (Indústria 2.0), a partir de inovações técnicas e produtivas no setor industrial com o desenvolvimento de indústrias química, elétrica, de petróleo e aço, e seguiu com o progresso dos meios de transportes vindo da Indústria 1.0, além dos meios de comunicação, os aviões e a refrigeração mecânica, foram desenvolvidos no período, bem como a energia elétrica, o enlatamento de alimentos, automóveis passam a ter supremacia em centros urbanos e a linha de produção permitiu a produção em massa. Em suma, a Indústria 2.0 possibilitou a ampliação tanto da escala territorial quanto dos aspectos tecnológicos empregados nas novas indústrias, o que refletiu diretamente na produção e produtividade, na organização do trabalho nas unidades fabris e na forma de acumulação do capital (TOTVS, 2020).

A linha de produção desenvolvida na Indústria 2.0 em 1913, por Henry Ford, empresário e engenheiro mecânico, possibilitou ao processo de revolução industrial a produção em massa. Anteriormente, na Indústria 1.0 os produtos eram montados inteiramente por um único trabalhador, exigindo mais tempo e esforço do mesmo, com a linha de produção, Henry Ford transformou completamente o cenário industrial, marcando a história com a produção em massa. Tal sistema de produção, consistia na fabricação dos produtos por etapas sequenciais, em que cada etapa era realizada por um trabalhador ou máquina especializada (EXAME, 2013).

O sistema desenvolvido por Henry Ford, surgiu juntamente com o primeiro veículo produzido neste sistema revolucionário, o Ford Modelo T-1900, em sua fábrica automotiva a Ford Motor Company. A linha de montagem proporcionou para o segmento de automóveis, que diferentes partes do veículo fossem adicionadas conforme ele se movimentava pelas estações de trabalho, acelerando o processo de fabricação e reduzindo o custo de mão de obra. A eficiência oferecida pela linha de montagem de Henry Ford, marcou o início de uma nova era na produção de

automóveis e foi implementada em diversas indústrias, desde eletrodomésticos até equipamentos eletrônicos avançados (ALOEE, 2024).

A segunda metade do século XX, por volta da década de 1950, foi marcada pela Terceira Revolução Industrial (Indústria 3.0), apresentando a substituição gradual da mecânica analógica pela digital, com a introdução de computadores e tecnologias de automação, além da criação da internet em 1969. Neste período, houve a introdução de novas fontes de energia, tais como a energia nuclear, solar e eólica, o desenvolvimento da engenharia genética e biotecnologia, novos métodos de agricultura foram criados, por meio da produção informatizada, ou seja, o uso de tecnologia da informação e sistemas automatizados para melhorar e agilizar os processos de produção. Em 1973, o engenheiro eletrônico, Martin Cooper desenvolveu o primeiro telefone celular, marcando o surgimento da telecomunicação. Ademais, a Indústria 3.0 trouxe consigo a robótica para ser implementada na fabricação, com o uso de robôs, máquinas que operam de forma parcialmente automatizada e computadores programáveis por memória. Com isso, esse período, proporcionou um enorme desenvolvimento tecnológico resultando na informatização do processo de produção, possibilitando que diversas indústrias como a informática, robótica, telecomunicação, genética, energética etc., passaram por um amplo processo de transformações e desenvolvimento (DESOUTTER, 2017).

Em seguida, no fim da primeira década do século XXI (meados de 2010), surge a Quarta Revolução Industrial (Indústria 4.0) a qual se estende até a atualidade, esta revolução tem por finalidade a interconexão de todas as etapas da produção, baseada no fenômeno tecnológico de digitalização das informações e a utilização dos dados para tornar a indústria mais eficiente, visando reduzir falhas, aumentar a sustentabilidade da indústria e a lucratividade, logo, a Indústria 4.0 apresenta uma maior interconectividade e comunicação em rede, levando a fábricas inteligentes, por meio de sistemas interligados e autônomos alimentados por dados e aprendizado de máquina (TOTVS, 2020).

Nesse sentido, um dos maiores progressos da Indústria 4.0 em relação às revoluções que a antecederam, foi superar as fontes não-renováveis de energia que estavam presentes na Primeira, Segunda e Terceira Revolução Industrial. Com a economia de energia e recursos provida pelas novas tecnologias da Indústria 4.0, e a utilização de fontes de energia alternativas, como eólica e

solar, possibilitou um futuro sustentável para as fábricas. A Indústria 4.0, transformou toda e qualquer forma de organização e funcionamento da indústria tradicional, desde a cadeia produtiva até a relação dos funcionários. Baseando-se nos desenvolvimentos vindos da Terceira Revolução Industrial, a Indústria 4.0 permite que os sistemas de produção que já possuíam tecnologia de computador ampliem suas capacidades, oferece comunicação com outras instalações e a saída de informações sobre si mesmas, levando a uma automação de produção e fábricas inteligentes, nas quais sistemas de produção, componentes e pessoas se comunicam por meio de uma rede, isto é possível através da Tecnologia 4.0. Esta por sua vez, diz respeito às tecnologias presentes na Indústria 4.0, tais como Inteligência Artificial, Internet das Coisas, sistemas Ciber-físicos etc. (FIA, 2021).

Com isso, a partir da implementação da Indústria 4.0, as indústrias contam com o aumento da eficiência e produtividade a partir da integração de tecnologias inteligentes, interligando fábricas e seus processos de produção, otimizando as operações, reduzindo o tempo de inatividade e aumentando a produção com menos intervenção humana; o controle de qualidade é melhorado, com o uso de análise avançada e monitoração em tempo real, assim os defeitos e problemas de produção podem ser identificados mais rapidamente e, conseqüentemente, serem resolvidos na mesma velocidade, conduzindo os processos para um nível superior de qualidade; a personalização e flexibilidade é um dos benefícios da indústria 4.0, permitindo uma maior personalização dos produtos visando satisfazer as exigências específicas dos clientes, e a flexibilidade, oferece a adaptabilidade nos processos de produção, proporcionando uma vantagem competitiva no mercado; a otimização da cadeia de abastecimento é desenvolvida através de tecnologias interligadas fornecendo o rastreamento de dados em tempo real, prevenindo a procura de itens e a otimização do inventário; a melhoria da segurança dos trabalhadores, uma vez que, com a automatização de tarefas perigosas ou repetitivas reduz o risco dos funcionários a acidentes e lesões na fábrica; a sustentabilidade ambiental, com a utilização de recursos para reduzir o desperdício, os sistemas interligados trabalham para gerir o consumo de energia de forma mais eficaz; a tomada de decisões baseada em dados, é possível com as tecnologias da Indústria 4.0, gerindo e analisando os dados para uma tomada de decisão mais rápida visando melhores resultados; a resiliência e adaptabilidade, é possível com a Indústria 4.0, pois está permite que as indústrias se adaptem rapidamente a diversas circunstâncias e continuem suas operações. Além disso, a Indústria 4.0

também é capaz de potencializar a criação de emprego, visto que, com o seu foco em automatização e tecnologia industrial, há a necessidade de trabalhadores com especialização em análise de dados, sistemas e manutenção de máquinas complexas (TOTVS, 2023).

Desse modo, a partir da chegada da Indústria 4.0, os avanços têm se tornado exponenciais, ao contrário das outras etapas de revoluções industriais, em que os avanços eram lineares. Segundo Klaus Schwab, engenheiro e economista alemão, e um dos fundadores do Fórum Econômico Mundial, afirma que "a principal característica da Quarta Revolução Industrial é a velocidade". Em resumo, a Indústria 4.0 é essencial no mundo moderno, uma vez que impulsiona a inovação, a eficiência e o crescimento econômico, ao mesmo tempo que aborda as preocupações ambientais e de segurança, transformando completamente as condições de trabalho e o estilo de vida das pessoas, representando um salto significativo na forma como as indústrias operam e competem num mercado global em rápida evolução (SCHWAB, 2016).

## **1.2 OS PILARES DA TECNOLOGIA 4.0**

Juntamente do processo evolutivo industrial, os avanços tecnológicos seguiram a sua própria linha de evolução, com o intuito de acompanhar o desenvolvimento do homem na sociedade. Desse modo, com o surgimento da Indústria 4.0, novas tecnologias foram desenvolvidas, a partir do chamado Tecnologia 4.0, estas por sua vez representam as tecnologias presentes na Quarta Revolução Industrial. Tal fenômeno propõe fábricas inteligentes e interligadas, funcionando de forma autônoma com máquinas que se comunicam entre si e com o ser humano, visando otimizar recursos, promover a digitalização dos processos e aumentar a produtividade, por meio das Tecnologias 4.0 (FIA, 2021).

A Inteligência Artificial (IA), uma das primeiras tecnologias presentes na Indústria 4.0, engloba softwares e robôs capazes de simular as habilidades humanas, tendo por objetivo principal auxiliar o homem em suas tarefas, desenvolvendo tecnologias que têm a capacidade de simular as ações humanas e pensar de maneira lógica, para assim, criar soluções variadas, modernizando e tornando mais eficientes os desafios do meio em que o homem vive. Dessa maneira, a IA faz uso de algoritmos, redes neurais artificiais e sistemas de aprendizado para aplicar e simular a inteligência e o raciocínio do homem, para as máquinas. Com isso, possibilita uma tomada de

decisão mais ágil devido à rapidez de análise de dados, maior eficácia e produtividade nos processos e apresenta um conteúdo personalizável, além de ser uma tecnologia que pode ser aplicada a diversos setores como saúde, educação, manufatura e varejo, por exemplo (SYDLE, 2024).

Dentro da própria Inteligência Artificial temos o *Machine Learning (ML)* – (Aprendizado de Máquina), está tecnologia por sua vez tem como foco sistemas que são capazes de aprender a partir de dados, ao invés de serem programados explicitamente para executar uma tarefa, esses sistemas utilizam algoritmos para identificar padrões, aprender com as informações e tomar decisões com base em dados históricos. O ML é um sistema que pode modificar seu comportamento de forma autônoma tendo como base a sua própria experiência, com o mínimo de intervenção humana, visto que está tecnologia aprende com dados e algoritmos, sem a necessidade de ser configurada por um ser humano para executar essa tarefa. Logo, com o *Machine Learning*, tem-se uma máquina que aprende a se autoconfigurar a partir de critérios pré-estabelecidos pelo homem, resultando em um processamento de dados ilimitado, podendo ser aplicado a previsão de vendas, detecção de fraudes e diagnósticos médicos (COSTA, 2024).

Além disso, dentro da tecnologia *Machine Learning*, há seu subconjunto o *Deep Learning (DL)* – (Aprendizagem Profunda), o qual utiliza redes neurais artificiais inspiradas no cérebro humano para aprender com grandes quantidades de dados. Tais redes neurais do DL são compostas por diversas camadas de neurônios artificiais interligados, que processam e transmitem informações entre si. Através de um processo chamado treinamento, essas redes aprendem a identificar padrões complexos nos dados, ajustando seus parâmetros para minimizar erros e maximizar a precisão. Desse modo, o *Deep Learning* seria uma aprimoração do *Machine Learning*, entregando uma alta precisão e uma elevada capacidade de aprender com um grande volume de dados. O *Deep Learning* se diferencia do *Machine Learning*, uma vez que, os algoritmos do aprendizado de máquina utilizam dados estruturados e rotulados para fazer previsões, ou seja, necessita de recursos específicos que são definidos por dados de entrada, entretanto isso não significa necessariamente que não use dados não estruturados, significa apenas que, se existir, geralmente passa por algum pré-processamento para organizá-lo em um formato estruturado. Assim, o *Deep Learning* é capaz de eliminar parte do pré-processamento de dados que normalmente está envolvido com o aprendizado de máquina, com isso, esses algoritmos podem

ingerir e processar dados não estruturados, como texto e imagens, e automatizar a extração de recursos, removendo parte da dependência de especialistas humanos, visto que possuem várias camadas de abstração e de neurônios matemáticos para fazer uma aprendizagem mais profunda (IBM, S/A).

Ademais, também temos o Processamento de Linguagem Natural (PLN) sendo um subconjunto da IA, este por sua vez trata-se de uma área da Ciência da Computação que estuda o desenvolvimento de programas computacionais que analisam, reconhecem e geram textos em linguagem humana ou natural, tendo como objetivo a recuperação de informações a partir de textos, a tradução automática, a interpretação de textos e a realização de inferências a partir de textos, em suma, o PLN busca desvendar os segredos da linguagem humana e capacitar computadores a compreendê-la (GONÇALVES, 2023).

A Internet das Coisas (IoT) – (*Internet of Things*), refere-se a uma rede de dispositivos físicos que possuem tecnologia incorporada (eletrônica, software e sensores), com a capacidade de computação distribuída e organizados em redes, que passam a se comunicar e interagir, podendo ser remotamente monitorados e/ou controlados, para se conectar e trocar dados com outros dispositivos e sistemas via internet, permitindo que esses objetos, chamados de coisas inteligentes, colem e compartilhem dados entre si e com outros sistemas. Esta tecnologia pode ser aplicada a dispositivos do cotidiano como eletrodomésticos, relógios inteligentes, lâmpadas conectadas, sistemas de segurança, e até componentes de máquinas industriais. Em paralelo à IoT, tem-se a sua ramificação para a indústria com a Internet Industrial das Coisas (IIoT) – (*Industrial Internet of Things*), esta refere-se a dispositivos inteligentes usados em manufatura, varejo, saúde e outras empresas para criar eficiência nos negócios, funcionando da mesma forma que o IoT, porém com o foco na indústria. A partir de dispositivos industriais, de sensores a equipamentos, fornecem aos proprietários de empresas dados detalhados e em tempo real que podem ser usados para melhorar os processos de negócios, fornecendo insights sobre gerenciamento da cadeia de suprimentos, logística, recursos humanos e produção, diminuindo custos e aumentando os fluxos de receita (AWS, 2023).

O Sistema Ciber-Físico (CPS) é a base da Indústria 4.0, assim como a IoT e a IA, esta tecnologia permite a integração entre máquinas e sistemas, efetuando a ligação entre os sistemas e

a parte mecânica da fábrica, por meio de sensores, as máquinas geram informações que são enviadas até o software por meio deste sistema, assim é possível fazer o controle, monitoramento e a análise dos dados, que são transferidos automaticamente entre o mundo físico (máquinas) e o ciber (softwares). A partir do CPS é possível integrar a IA para ler os dados e gerar insights, enviar comandos de acordo com a informação recebida, emitir alertas e realizar relatórios de produção, com a finalidade de apontar quais processos exigem mais atenção. Além disso, interligando o CPS com a Iot é viável programar uma “conversa” entre máquinas e softwares, desse modo, quando um equipamento emite uma informação o outro poderá dar uma resposta condizente (PEDERNEIRAS, 2019).

A Robótica Avançada é uma área complementar ao Sistema Ciber-Físico, que se integram para criar sistemas autônomos inteligentes com diversas aplicações. A Robótica é uma combinação de programação sofisticada e hardware poderoso que usa tecnologia de sensores para interagir com o mundo real, uma das partes fundamentais da Indústria 4.0, sendo usada em fábricas que algumas vezes funcionam sem acompanhamento humano em seus turnos. Esta tecnologia conta com dispositivos que trabalham de forma autônoma no ambiente industrial, interagindo fisicamente com os seres humanos e/ou em seu ambiente de fábrica. Por meio da tecnologia avançada, sensores, scanners e visão computacional, os robôs são capazes de modificar comportamentos e atitudes baseados nos dados de sensores armazenados no sistema, possibilitando uma adaptação às mudanças mais rápida na produção sem a necessidade de intervenção humana constante (UNIVERSAL ROBOTS, 2023).

A Indústria 4.0 trouxe consigo inúmeras tecnologias com o intuito de as englobar no meio em que o homem vive, buscando uma interconectividade entre o digital e o físico, em que as fronteiras entre a realidade e as experiências virtuais são, por vezes, muito mais tênues do que parecem. Com isso, surgem as chamadas Realidade Virtual (RV) e a Realidade Aumentada (RA), a primeira abrange tecnologias que ocultam diretamente o ambiente real, mostrando um ambiente totalmente criado digitalmente, um espaço onde as pessoas podem fazer coisas e participar desse ambiente por meio de óculos de Realidade Virtual. Com este tipo de realidade, não é possível ver o que está à nossa frente, ao lado ou atrás de nós, no máximo é possível ver recriações virtuais do ambiente ou avatares que recriam imagens virtuais, podendo ser utilizada no processo de design

para proporcionar uma exibição mais precisa e a criação imersiva de modelos 3D (NATIONAL GEOGRAPHIC, 2024).

Em contrapartida, a Realidade Aumentada, integra a realidade virtual com o mundo real usando multimídia, modelagem 3D, rastreamento em tempo real, interação inteligente e sensores, ou seja, a RA modifica o ambiente a sua volta por meio de adições digitais ou elementos artificiais, criando uma espécie de ambiente misto, como se o mundo virtual se completasse com o mundo real, está tecnologia permite que a todo momento a pessoa enxergue tudo a sua volta, mas com informação virtual sobreposta. Essa integração de simulações de computador em contextos do mundo real, permite a visualização de projetos arquitetônicos, por exemplo, sendo possível ver como ficariam determinadas estruturas ou mobiliário num espaço real ou numa sala vazia (NATIONAL GEOGRAPHIC, 2024).

A Computação em Nuvem (CC) – (*Cloud Computing*), abrange sistemas armazenados em servidores compartilhados e interligados pela internet, de modo que possam ser acessados em qualquer lugar do mundo, tais serviços de computação: servidores, armazenamento, banco de dados, redes, softwares, análises e inteligências, utilizam memória, capacidade de armazenamento e cálculo de computadores e servidores hospedados em Datacenter (centro de processamento de dados), proporcionando recursos flexíveis e maior conectividade entre sistemas. Está tecnologia aplicada à Indústria 4.0, permite que as empresas acessem recursos computacionais abundantes como um serviço e a partir de distintos dispositivos remotos, desta forma, gerando mais informações e aumentando a capacidade de processamento de dados, ao mesmo tempo que evita os altos investimentos em equipamentos e equipe de suporte, permitindo que as empresas foquem seus investimentos nas suas atividades principais (BRASCLOUD, 2022).

O *Big Data*, uma tecnologia interligada à Computação em Nuvem, é uma abordagem que tem como intuito atuar em dados com uma maior variedade e complexidade, que chegam em volumes crescentes e com velocidade cada vez maior, usados para resolver problemas de negócios, tais conjuntos de dados são tão volumosos que o software tradicional de processamento de dados não consegue gerenciá-los. Desse modo, é utilizada uma combinação de técnicas estatísticas e de aprendizagem de máquina para extrair informações relevantes aos negócios, inferências e tendências não possíveis de se obter com uma análise humana. Com isso, a análise de *Big Data*

ajuda nas decisões de produção inteligente em tempo real, considerando o feedback dos clientes e suas próprias ideias sobre os produtos que eles usam ou pretendem usar e, a partir desse conhecimento, os fabricantes se concentram no design de seus produtos para atrair cada vez mais clientes. Logo, a Computação em Nuvem fornece a infraestrutura escalável e flexível para armazenar, processar e analisar grandes conjuntos de dados. Enquanto o *Big Data* gera grandes volumes de dados que podem ser armazenados e processados na nuvem, gerando insights valiosos para as empresas (MICROSOFT, 2023).

A partir dos constantes avanços tecnológicos, a produção industrial, conta com duas importantes tecnologias da Indústria 4.0, são elas a Manufatura Digital e a Manufatura Aditiva. A primeira, abrange o uso de um sistema integrado, baseado em computador que consiste em simulação, visualização 3D, análises e ferramentas de colaboração para criar definições de processos de manufatura e produto simultaneamente, que integram o mundo digital ao físico na manufatura. Esta tecnologia tem como objetivo transformar a manufatura tradicional em um processo mais eficiente, flexível e conectado, utilizando ferramentas digitais para otimizar todas as etapas da produção. Em contraste, a Manufatura Aditiva, consiste na fabricação de peças a partir de um desenho digital (feito com um software de modelagem tridimensional), sobrepondo finas camadas de material, uma a uma, por meio de uma Impressora 3D. Esta tecnologia por sua vez, tem como finalidade produzir peças complexas, personalizadas e com geometrias otimizadas que dificilmente seriam viáveis por métodos tradicionais. Em suma, ambas formas de manufatura, visam proporcionar uma maior agilidade e flexibilidade nos processos de produção, eficiência e sustentabilidade, além de fornecer uma inovação sem limites, desbloqueando novos designs, a personalização em massa e protótipos realistas (MELO, 2022).

A tecnologia Gêmeos Digitais é um modelo virtual de um objeto físico, ou seja, é uma representação virtual que serve como contrapartida digital em tempo real de um objeto ou processo físico. Esta tecnologia abrange o ciclo de vida do objeto e usa dados em tempo real enviados de sensores no objeto para simular o comportamento e monitorar as operações, assim, os Gêmeos Digitais podem replicar muitos itens do mundo real, desde peças únicas de equipamento em uma fábrica a instalações completas, como turbinas eólicas e até cidades inteiras. A tecnologia de Gêmeos Digitais permite supervisionar performance de um ativo, oferecendo uma visualização gráfica e digital completa de uma fábrica; identificar possíveis falhas e fornecer melhoria na

performance, a partir de informações e insights em tempo real fornecidos pela própria tecnologia, é possível otimizar a performance de equipamentos, fábricas ou instalações, ao mesmo tempo em que os problemas podem ser resolvidos à medida em que ocorrem, garantindo que os sistemas funcionem durante o pico e reduzam o tempo de inatividade; e tomar decisões mais bem informadas sobre manutenção e ciclo de vida dos equipamentos (AWS, 2023).

Os Sistemas de Simulação presentes na Indústria 4.0, utilizam computadores e um conjunto de técnicas para gerar modelos digitais que descrevam a interação completa entre diversas variáveis dentro de um sistema, imitando os processos no mundo real. Assim, a simulação possibilita a criação de protótipos em um ambiente virtual, maximizando o processo produtivo através de softwares específicos, simulando condições reais e cenários prováveis aos quais o protótipo pode ser submetido. Dessa forma, é possível analisar o desempenho do modelo virtual e entender o que pode ser modificado para aprimorá-lo, antes da implementação final, resultando no controle de gastos desnecessários, uma vez que, ao invés de se dispor de um investimento para validar uma ideia, que pode ou não ser útil, os recursos são alocados apenas para ações já validadas (MORBI, 2019).

Com o crescimento da transformação digital e a chegada de novas tecnologias, cada vez mais dados e dados estão trafegando pelas nuvens e redes com informações importantes, estratégicas e vitais para as empresas, ao mesmo tempo, tem-se a crescente onda de violações de dados e vazamentos de informações sensíveis. Com isso, surge a tecnologia de *Cyber* Segurança (ou Segurança Cibernética), um conjunto de infraestruturas de hardware e software voltados para a proteção de ativos de informação, por meio do tratamento de ameaças que põem em risco a informação que é processada, armazenada e transportada pelos sistemas de informação que estão interligados. Assim, as empresas implementam medidas e ferramentas de Segurança Cibernética para proteger dados sigilosos de acesso não autorizado e evitar interrupções nas operações comerciais causadas por atividades de rede indesejadas. Além de proteger os dados e informações da própria empresa, os sistemas de *Cyber* Segurança também protegem os dados dos clientes, mantendo a confiança e atendendo à conformidade regulatória da LGPD, a Lei Geral de Proteção de dados Pessoais (AWS, 2023).

## 2. PANORAMA DA TECNOLOGIA 4.0 NO CENÁRIO BRASILEIRO

A Quarta Revolução Industrial, trouxe consigo mudanças em larga escala, marcada pela convergência de tecnologias digitais, físicas e biológicas, sendo capaz de transformar a sociedade, o mercado de trabalho e os modelos de negócios, impulsionando a inovação e alterando profundamente a maneira como produtos e serviços são criados, distribuídos e consumidos em todo o mundo. Assim, a Indústria 4.0 traz consigo a tendência à automatização total das fábricas através do uso das novas tecnologias, resultando em indústrias inteligentes e impactando todo o globo (PERASSO, 2016).

O economista Klaus Schwab, autor do livro *A Quarta Revolução Industrial*, afirmou que: “Estamos a bordo de uma revolução tecnológica que transformará fundamentalmente a forma como vivemos, trabalhamos e nos relacionamos. Em sua escala, alcance e complexidade, a transformação será diferente de qualquer coisa que o ser humano tenha experimentado antes.” (SCHWAB, 2019).

Em uma perspectiva global, os países mais desenvolvidos adotaram as mudanças da Indústria 4.0 com uma maior rapidez, elevando os níveis globais de rendimento e melhorando a qualidade de vida da população, entretanto, o processo de implementação das Tecnologias 4.0 só é possível às potências capazes de inovar e se adaptar a esse novo cenário (PERASSO, 2016).

O estudo realizado pela consultoria McKinsey, indicou que as empresas que conseguem superar os desafios iniciais da implementação digital, como barreiras financeiras e tecnológicas, são capazes de alcançar melhorias substanciais em indicadores chave de desempenho, como redução de custos de fabricação e aumento da eficiência da produção. Além disso, a pesquisa realizada pela consultoria apontou que a adoção de casos de uso sinérgico, como automação flexível e análise de qualidade, proporcionou um impacto ainda maior nas empresas que implementam a Indústria 4.0 (MCKINSEY, 2022).

No cenário brasileiro, a Indústria 4.0 vem sendo motivado por três grandes mudanças, o avanço exponencial da capacidade dos computadores, a imensa quantidade de informação digitalizada e as novas estratégias de inovação (pessoas, pesquisa e tecnologia), contudo, para o

Brasil a implementação da Tecnologia 4.0 apesar de estar em avanço, ainda é um desafio. Com isso, grandes empresas como a Automata do Brasil, focada em Automação Industrial e Robótica, e a Siemens, com o objetivo de transformar a sociedade por meio de tecnologias, preocupam-se em oferecer ao país a implementação da Tecnologia 4.0, focando em pesquisas e desenvolvimento, para trazer aos clientes e setores as melhores soluções, resultando em um grande passo rumo à Indústria 4.0 (AUTOMATA DO BRASIL, 2024).

Dessa maneira, a adoção da Indústria 4.0 no território nacional vem sendo implementada por algumas áreas e apresentando desafios a outras, nas grandes empresas, principalmente dos setores automotivo e farmacêutico, estão liderando a adoção do novo modelo de indústria, investindo em tecnologias como Inteligência Artificial, Internet das Coisas e Robótica; as pequenas e médias empresas, ainda estão iniciando sua jornada na digitalização, enfrentando desafios como falta de recursos e conhecimento técnico; e os setores, com foco na manufatura seguido pela agricultura e serviços, vêm investindo em tecnologias 4.0. Segundo pesquisa da *IndustryARC*, empresa global de pesquisa de mercado, afirmou que o mercado nacional em torno da Indústria 4.0 deverá atingir \$6.230,29 milhões de dólares até 2027, crescendo anualmente 10,91% durante o período (GEOFUSION, 2024).

Apesar dos desafios que o país apresenta frente à implementação da Indústria 4.0, tais como déficit de mão de obra qualificada e de infraestrutura tecnológica, além da desigualdade social, em relação aos impactos que Quarta Revolução Industrial representa para o Brasil tem-se as mudanças significativas no mercado de trabalho, uma vez que alguns empregos acabam deixando de existir, outros surgem com a demanda por profissionais que tenham competências relacionadas às novas tecnologias, ou seja, o mercado tem aberto cada vez mais vagas para quem entende de análise de dados, robótica, entre outras habilidades. Outrossim, seria em relação à competitividade, pois quando as empresas aderem a recursos tecnológicos ganham vantagem em relação à concorrência, isso porque elas conseguem automatizar diversos processos e obter mais agilidade em suas entregas, inclusive customizando seus produtos de acordo com o perfil de cada cliente, gerando uma maior satisfação (GEOFUSION, 2024).

A partir do processo industrial que vem se transformando de forma irreversível, modificando a imagem da fábrica tradicional para uma indústria inteligente, com máquinas dotadas de sensores e capazes de se comunicar entre si, tornando o processo produtivo mais eficiente requer

novas habilidades por parte dos profissionais que atuam no meio industrial. Tais habilidades serão cada vez mais exigidas dos funcionários em meio à Indústria 4.0, como uma formação multidisciplinar em que os indivíduos, apesar de formados em áreas específicas, precisam estar dispostos e capacitados a lidar com temas sobre os quais não estudaram na faculdade; a capacidade de adaptação, visto que se antes os equipamentos só eram programados para obedecer a ordens enviadas por um software, a partir da implementação da Tecnologia 4.0, as máquinas emitirão informações sobre seu próprio ciclo de vida, isso significa que, antes mesmo de apresentar um problema de funcionamento, uma máquina emitirá sinais de que precisa passar por uma manutenção preventiva, com isso, os operadores precisarão se adaptar a um novo jeito de lidar com os equipamentos. Além disso, os profissionais são levados a adotar um senso de urgência juntamente de um bom relacionamento com as novas tecnologias, uma vez que, a disseminação dos sistemas de *Big Data* vai permitir que os funcionários tenham cada vez mais acesso a informações que antes eram restritas aos sistemas internos das empresas, e isto exigirá do profissional a capacidade de desenvolver diferentes competências (AUTOMATA DO BRASIL, 2024).

Em suma, compreende-se que mesmo com os desafios que a Indústria 4.0 traz, o Brasil vem buscando a aprimoração do uso das novas tecnologias em suas indústrias, visando seus benefícios como a automação avançada, conectividade, flexibilidade e agilidade, eficiência energética e segurança cibernética. É notável a intenção dessa implementação a partir da proposta brasileira de criar uma rede de tecnologia, envolvendo conceitos da economia circular e tecnologias da indústria 4.0, tema retratado no livro *"Handbook of Smart Materials, Technologies, and Devices: Applications of Industry 4.0"* – “Manual de materiais, tecnologias e dispositivos inteligentes: aplicações da indústria 4.0”, publicado pela editora suíça *Springer Nature*, tal publicação internacional apresenta as aplicações e as políticas públicas mais atuais relacionadas ao desenvolvimento e difusão de tecnologias da indústria 4.0 em âmbito mundial. No capítulo “Economia circular no Brasil associada à indústria 4.0 – Plano de Ação Tecnológica” foi produzido no âmbito do projeto de “Avaliação das Necessidades Tecnológicas para Implementação de Planos de Ação Climática no Brasil”. Segundo o livro o Brasil é um dos 80 países, entre os 163 signatários, que elaborou relatório de necessidades tecnológicas, desse modo, a Indústria 4.0 no Brasil está em constante evolução, com desafios e oportunidades (GOV, 2020).

## 2.1 A TECNOLOGIA 4.0 NA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA

A indústria automotiva, responsável pelo projeto, desenvolvimento, fabricação e venda de veículos automóveis, é um setor onde os fabricantes de veículos devem montar milhares de partes do produto no menor tempo e com a maior qualidade possível, além disso, com o aumento da competitividade e da exigência dos consumidores, tem-se um aumento de carros customizados que demandam máxima flexibilidade e disponibilidade. Assim, ao inserir a indústria automotiva na era da Tecnologia 4.0, com a implementação de diversos recursos tecnológicos, esta indústria acaba por ser impactada positivamente. Desse modo, a Indústria 4.0 é capaz de apoiar a indústria automotiva, ao oferecer uma elevada vantagem sobre os concorrentes, devido a sua alta troca de informações dentro dos sistemas; com a digitalização a comunicação e a infraestrutura interna de uma indústria automotiva pode alcançar patamares de excelência ao conectar toda a rede de operações; além disso, a Indústria 4.0 oferece uma cadeia de suprimentos com recursos que garantem que as ideias cheguem às mãos de consumidores satisfeitos com o produto final, incluindo recursos e materiais que são transformados em componentes e finalmente montados com precisão (KNAUF, 2020).

Analisando a implementação da Indústria 4.0 na indústria automotiva, observa-se como a Tecnologia 4.0 é capaz de impulsionar este setor, uma vez que, aumentam a eficácia dos processos, reduzem custos na produção, melhoram a qualidade dos veículos e fornecem uma conectividade no ambiente da indústria, resultando em uma maior personalização e inovação tecnológica. A indústria automotiva, por sua vez, sempre esteve na vanguarda das revoluções industriais, como exemplificado pelas inovações de Henry Ford na produção em massa e na linha de montagem de automóveis, dessa maneira, está indústria continua se reinventando com rapidez atualmente, buscando constantemente mais agilidade e eficiência ao longo de toda a sua cadeia produtiva, adotando tecnologias de ponta e otimizando processos para atender às demandas de um mercado cada vez mais competitivo e dinâmico. Segundo o diretor industrial da Bosch, Júlio Monteiro, “carros conectados na nuvem, fábricas inteligentes e componentes impressos em 3D, são algumas inovações que fazem parte do futuro do setor automotivo com a Indústria 4.0, assim as fábricas e cadeias produtivas inteligentes e conectadas são o caminho para aumentar a competitividade e alavancar o setor automotivo no Brasil” (SCARABOTTO, 2020).

A Inteligência Artificial (IA) e a Internet das Coisas (IoT) são Tecnologias 4.0 poderosas e capazes de integrarem a linha de montagem em uma indústria automotiva, revolucionando o processo de fabricação, visto que a IA otimiza as operações ao aprender continuamente e ajustar os processos para maximizar a eficiência, prevendo falhas de equipamentos antes que ocorram, minimizando paradas inesperadas. Ao mesmo tempo em que a IoT fornece uma riqueza de dados em tempo real, permitindo que as máquinas se comuniquem entre si e com os operadores humanos, executando um monitoramento constante das condições de trabalho e assegurando que tudo funcione dentro dos parâmetros ideais, resultando em uma qualidade elevada do produto final e na segurança dos trabalhadores. Assim, a adoção de ambas as tecnologias enriquece a linha de montagem resultando em benefícios tangíveis, como a redução de custos e o aumento da produção, levando a indústria automotiva em direção à personalização em massa. Com isso, os sistemas inteligentes se adaptam rapidamente para modificar produtos conforme as especificações individuais dos clientes, tal nível de customização anteriormente impensável em linhas de montagem tradicionais, agora são uma realidade em função do avanço da indústria por meio da Tecnologia 4.0 (ALOOE, 2024).

Figura 1 – Linha de montagem em uma indústria automotiva atual



Fonte: <https://www.aloee.it/blog/linha-de-montagem-conceito-evolucao>

A Computação em Nuvem (CC), outro importante pilar da Tecnologia 4.0, é apta a transformar o ambiente da indústria automotiva, modificando a forma como os veículos são

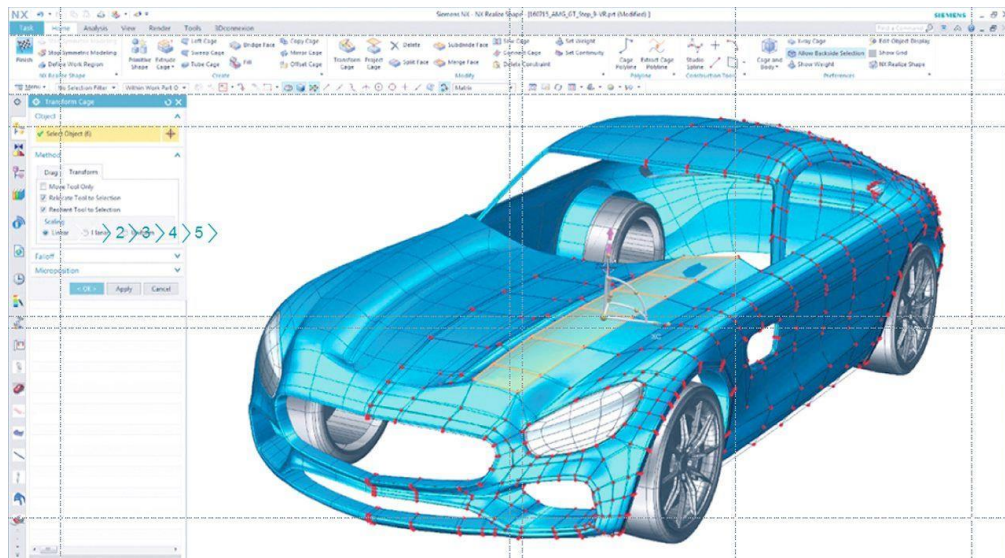
projetados, operados e mantidos, uma vez que, esta tecnologia permite o acesso e a armazenagem de dados por meio da internet, oferecendo recursos de computação avançada. A partir da implementação dessa tecnologia, a indústria automotiva, conta com o aprimoramento da cadeia de suprimentos visto que, a Computação em Nuvem permite que fabricantes e fornecedores compartilhem dados em tempo real, melhorando a visibilidade e a eficiência da cadeia de suprimentos, facilitando o planejamento de demanda, a gestão de inventários e a coordenação logística, reduzindo atrasos e aumentando a eficiência da produção. Além disso, ao utilizar plataformas baseadas em nuvem, engenheiros de diferentes partes do mundo podem colaborar em tempo real no desenvolvimento de novos veículos, possibilitando também executar simulações complexas e modelagem de dados para testar projetos. Outro fator é a conectividade via nuvem, onde veículos podem transmitir dados de desempenho em tempo real para centros de manutenção, possibilitando a detecção precoce de falhas e a realização de manutenções preditivas, reduzindo o tempo de inatividade e custos de reparos (CCM, 2018).

Desse modo, os veículos conectados e autônomos, são gerenciados pela Computação em Nuvem, dado que a nuvem é essencial para suportar a infraestrutura necessária para a operação desses veículos conectados e autônomos, possibilitando a coleta e análise de grandes volumes de dados em tempo real, garantindo que os veículos possam interagir com outros carros, infraestrutura urbana e sistemas de trânsito, possibilitando um ecossistema de mobilidade mais seguro e eficiente. Logo, a Computação em Nuvem oferece à indústria automotiva uma maior agilidade, eficiência, capacidade de inovação e processamento de dados, possibilitando avanços significativos no desenvolvimento de veículos mais conectados, seguros e inteligentes (BRAS CLOUD, 2022).

O Gêmeo Digital é uma Tecnologia 4.0 que proporciona um grande impacto transformador na indústria automotiva. Tal tecnologia tem como função ser uma réplica virtual de um objeto, sistema ou processo físico, criado para simular, monitorar e otimizar seu desempenho no mundo real. Na indústria automotiva, o Gêmeo Digital é uma representação virtual de um carro, que inclui o seu software, mecânica, elétrica e comportamento físico, sendo utilizado para simular e validar o desenvolvimento do veículo, desde o seu projeto até a produção. Assim, o Gêmeo Digital fornece a realização de cenários hipotéticos e a previsão do desempenho, possibilitando a simulação e validação de cada etapa do desenvolvimento do veículo, a fim de identificar problemas e possíveis falhas antes de produzir peças reais. Desse modo, objetivo final do Gêmeo Digital é a conexão

entre o mundo virtual de desenvolvimento de produtos e o planejamento da produção, com o mundo físico do sistema de produção e o desempenho do produto. Através desta conexão, inicialmente no mundo virtual, analisando todo o processo de desenvolvimento de um veículo, prevendo possíveis falhas e encontrando soluções, se chega ao mundo físico, onde o produto será confeccionado com maior precisão e nível de falhas praticamente nulo (SIEMENS, 2024).

Figura 2 – Gêmeo Digital de um veículo automotivo



Fonte: <https://www.siemens.com/br/pt/solucoes/setor-automotivo/gemeo-digital-produto.html>

A utilização de Gêmeos Digitais no setor automotivo além da criação de réplicas virtuais de automóveis, possibilita uma manufatura inteligente visto que, na produção automotiva, os Gêmeos Digitais de fábricas ou linhas de montagem permitem simular e otimizar o fluxo de trabalho, identificando gargalos e áreas para melhorias. Também auxiliam na manutenção preditiva, coletando e monitorando dados em tempo real de sensores instalados nos veículos, permitindo prever falhas antes que elas aconteçam, reduzindo custos com reparos e tempo de inatividade. No caso dos veículos autônomos, o Gêmeo Digital ajuda a simular o comportamento do carro em diversas condições de tráfego e clima, permitindo o aprimoramento dos sistemas de direção autônoma, facilitando o teste e a validação de novos sistemas conectados, permitindo a comunicação entre veículos e a infraestrutura (RONNANG, 2022).

A Manufatura Aditiva (MA) envolve a produção de peças a partir de um modelo digital criado em software de modelagem 3D, sobrepondo camadas finas de material a partir da impressão 3D, com isso, essa tecnologia visa fabricar peças complexas e personalizadas. A combinação dessa tecnologia com a indústria automotiva proporciona novas possibilidades de design, fabricação e eficiência, uma vez que, a partir dos modelos digitais são feitas as melhorias identificadas nos modelos, e logo em seguida o protótipo é impresso em 3D, assim, a partir do modelo físico impresso em 3D novas avaliações são feitas, observações sobre a estética, montagens e da sua funcionalidade, além de uma análise detalhada para detectar falhas, imperfeições geométricas e permitir aperfeiçoar os novos protótipos continuamente, até que o projeto esteja desenvolvido como nos requisitos. A grande vantagem da Manufatura Aditiva está na diminuição da mão de obra, tempo de fabricação, diversificação de máquinas e custo final, além da economia de matéria-prima evitando o custo relativo ao desperdício de material e energia, o qual ainda pode oferecer uma significativa diminuição no impacto ambiental (TAMANINI & WILTGEN, 2022).

Desse modo, a Manufatura Aditiva possibilita a prototipagem rápida com a criação de protótipos de peças e componentes do veículo automotivo, reduzindo o tempo e custo de produção de protótipos físicos, permitindo que as montadoras testem e ajustem projetos de forma mais ágil. Além disso, com a impressão 3D tem-se a personalização de peças e componentes de uma forma mais acessível, sendo possível atender às preferências individuais dos clientes, oferecendo personalização sem aumentar drasticamente os custos de produção. Outro fator é a fabricação de peças complexas através da impressão 3D, a qual permite a criação de geometrias complexas e estruturas leves que seriam difíceis de produzir com técnicas tradicionais, essa vantagem é especialmente útil para peças de motores, componentes estruturais e sistemas de ventilação, contribuindo para a redução do peso dos veículos e, conseqüentemente, melhorando a eficiência energética (PALUDO, 2022).

A implementação da Tecnologia 4.0 na indústria automotiva está promovendo uma transformação profunda em todas as etapas da cadeia de valor, desde o design até a produção, com a introdução de tecnologias como a Internet das Coisas, Inteligência Artificial, Gêmeos Digitais, Computação em Nuvem e Manufatura Aditiva, as montadoras estão otimizando processos e criando um ambiente de produção mais inteligente e interconectado. A automação e a robótica colaborativa são capazes de aumentar a eficiência e reduzir erros nas linhas de montagem, enquanto o uso de

dados em tempo real permite um controle mais preciso de todas as operações, desde a gestão da cadeia de suprimentos até a manutenção preditiva de equipamentos. A Manufatura Aditiva, por sua vez, está viabilizando a criação de peças complexas e personalizadas de maneira mais rápida e econômica, acelerando a inovação e melhorando a flexibilidade da produção. Além disso, a Computação em Nuvem e o uso de Gêmeos Digitais estão permitindo simulações de veículos e processos em ambientes virtuais, resultando em testes mais rápidos, seguros e com menor custo, isso impacta diretamente o desenvolvimento de veículos conectados e autônomos, que dependem de sistemas integrados e massivas análises de dados para operar de maneira eficiente e segura. Essas tecnologias também estão impulsionando a personalização em massa, permitindo que montadoras ofereçam veículos adaptados às preferências de cada consumidor, além de facilitar a integração de novas soluções tecnológicas. No longo prazo, a adoção da Indústria 4.0 tende a tornar as fábricas automotivas mais sustentáveis, ágeis, eficientes e competitivas no cenário global, preparando esta indústria para os desafios da mobilidade do futuro (MCKINSEY, 2022).

### **3. ESTUDO DE CASO: SIEMENS E A IMPLEMENTAÇÃO DA TECNOLOGIA 4.0 NA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA**

#### **3.1 SIEMENS AG**

A Siemens Aktiengesellschaft (Siemens AG), fundada pelo engenheiro Werner Von Siemens, em 1847 na Alemanha é um conglomerado industrial alemão, sendo o maior da Europa e um dos maiores do mundo. Inicialmente, a empresa fabricava equipamentos de telecomunicações, principalmente telégrafos, e foi aprimorando seus produtos e serviços ao longo dos anos. No cenário atual, a empresa está presente nas áreas de material elétrico, sistemas de vigilância, *softwares*, infraestrutura do setor energético (painéis, geradores e turbinas), transportes públicos (trens e metrô), automação industrial básica e avançada, drives, comunicação e controles industriais, sistemas de estação de tratamento de água etc., além disso, também oferece serviços de negócios, financiamento, projetos de engenharia e construção. Abrangendo diversos mercados, desde Indústria Farmacêutica, Automotiva, Guindastes, Aeroespacial a Indústrias de Mineração, Mercado de Petróleo e Gás, Açúcar e Etanol, atendendo a diversos setores com seu amplo portfólio focado em inovação e tecnologia (SIEMENS, S/D).

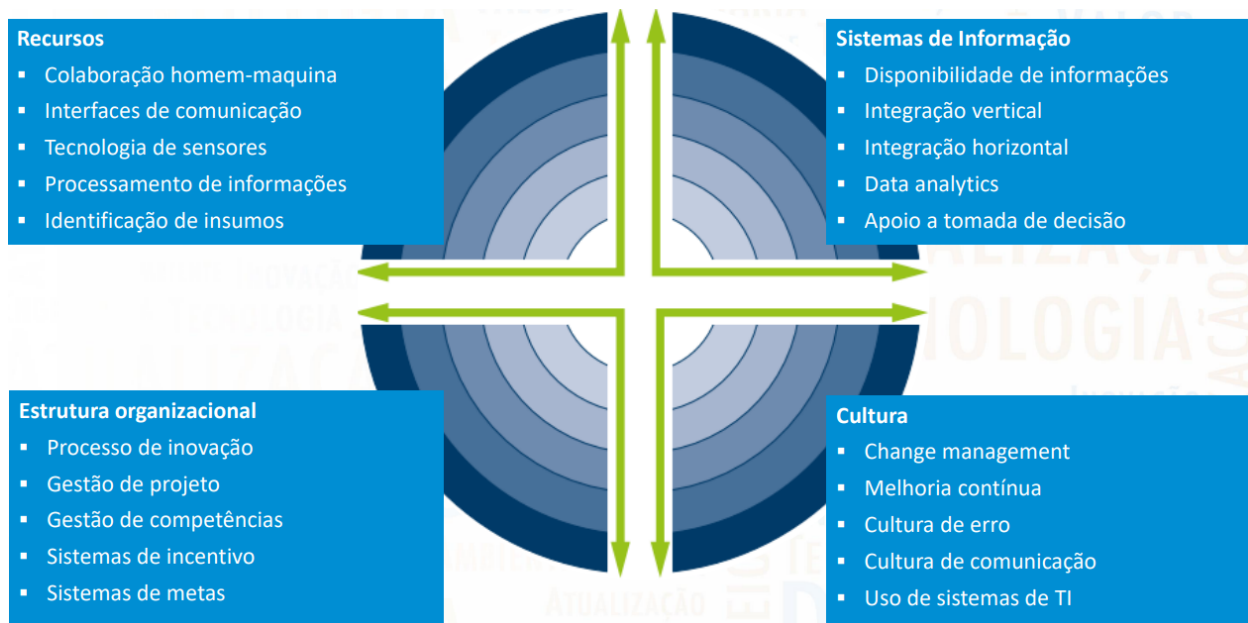
A Siemens chegou ao Brasil por meio de uma instalação de uma linha telegráfica, em 1867, a qual ligava a então capital Rio de Janeiro à província de São Pedro (o atual estado do Rio Grande do Sul). Entretanto, foi em 1895 quando a eletrificação e a urbanização das cidades brasileiras começaram a avançar, que a Siemens observou um potencial em infraestrutura elétrica, abrindo um escritório técnico no Rio de Janeiro, iniciando a instalação de geradores, linhas telegráficas e de bondes. Hoje, a operação brasileira da Siemens é uma das maiores do mundo (SIEMENS, S/D).

Presente na atuação de Infraestrutura Inteligente, Energia Sustentável, Futuro da Indústria, Digitalização e Financial Services, a Siemens tem como objetivo ser referência na criação de tecnologia e na produção de conhecimento, fornecendo tecnologia com propósito para impulsionar indústrias digitais e infraestruturas inteligentes (SIEMENS, S/D).

### 3.2 ANÁLISE DE MATURIDADE DA INDÚSTRIA 4.0 E CONSULTORIA SIEMENS

A transição para a Indústria 4.0 e a aplicação de suas tecnologias, tem sido um tema central na última década, e as razões são evidentes, uma vez que, sua implementação possibilita às empresas um aumento significativo na produtividade e na eficiência, além de promover a redução de custos e de erros operacionais. Entretanto, a promoção da Indústria 4.0 transcende a mera adoção de suas tecnologias, visto que envolve também uma transformação organizacional e cultural abrangente, necessária para que as empresas se tornem mais flexíveis e adaptáveis. Nesse contexto, as quatro áreas fundamentais: recursos, sistemas de informação, cultura e estrutura organizacional (conforme Figura 3), juntas e alinhadas formam a base da organização e reúnem características comuns a qualquer corporação, para receber as mudanças e transformações dentro do contexto da Indústria 4.0 (ACATECH, 2020).

Figura 3 – As quatro áreas fundamentais para a implementação da Indústria 4.0.

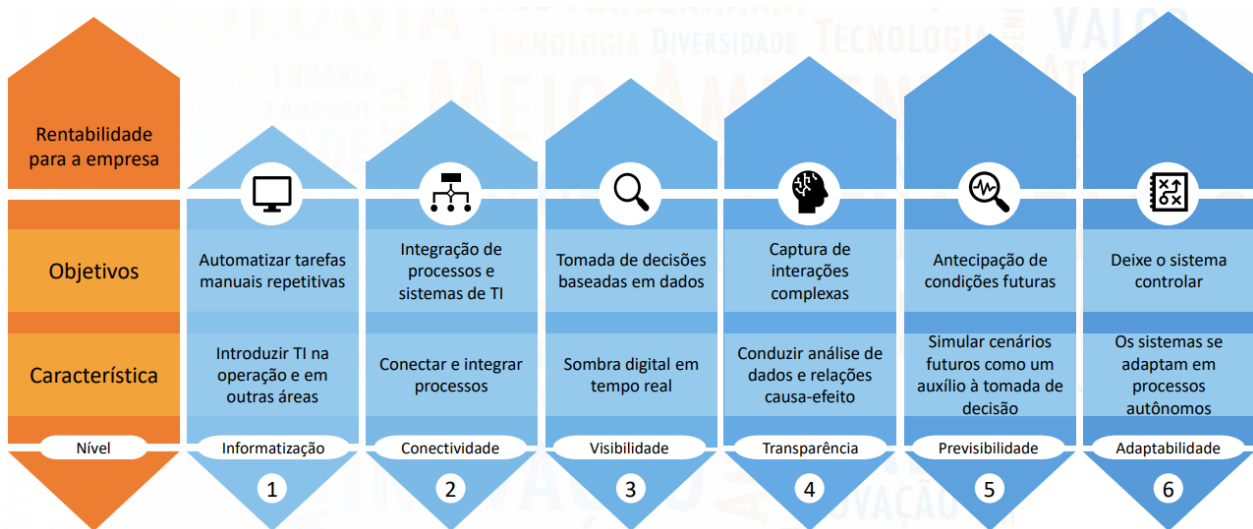


Fonte: [Industrie 4.0 Maturity Index. Managing the Digital Transformation of Companies – UPDATE 2020 - acatech - National Academy of Science and Engineering](#)

Assim, neste cenário, é essencial que a organização desenvolva suas estratégias de implementação prática da Indústria 4.0, adequadas e alinhadas as necessidades e objetivos específicos de seu próprio negócio, a curto, médio e longo prazo (ACATECH, 2020).

Desse modo, a ACATECH (Academia de Ciência e Engenharia Alemã), desenvolveu um indicador de maturidade da Indústria 4.0 (conforme Figura 4), ou seja, um indicador que auxilia as empresas a compreenderem em qual nível de digitalização estão ou que pretendem chegar. A Siemens faz uso desse indicador para auxiliar seus clientes a visualizarem como estão seus processos de digitalização, uma vez que, o indicador é composto por seis estágios de desenvolvimento, que possuem características próprias e se apoiam nas tecnologias e aplicações implementadas nos estágios anteriores (ACATECH, 2020).

Figura 4 – Indicador de Maturidade da Indústria 4.0, ACATECH



Fonte: [Industrie 4.0 Maturity Index. Managing the Digital Transformation of Companies – UPDATE 2020 - acatech - National Academy of Science and Engineering](#)

Ao visualizar o indicador de maturidade da indústria 4.0, desenvolvido pela ACATECH, são apresentados os seis estágios do processo de digitalização:

1. Informatização: no primeiro estágio, diferentes tecnologias e sistemas de TI são usados isoladamente para realizar atividades repetitivas, com isso, os funcionários são liberados de

atividades manuais repetitivas, os dados são armazenados e disponibilizados de forma descentralizada.

2. Conectividade: no segundo estágio, os sistemas de processamento de dados são estruturados e interligados. Os principais processos de negócios, mais relevantes, são refletidos nos sistemas de TI. Porém, ainda não há integração em tempo real entre os sistemas e o chão de fábrica.
3. Visibilidade: no terceiro estágio, os dados são monitorados em tempo real e integrados com sistemas de gestão. Desse modo, as empresas possuem uma sombra digital e a gestão toma decisões com base em dados atualizados.
4. Transparência: no quarto estágio, tem-se a captura de interações complexas, uma vez que, aplicativos de Big Data são implementados paralelamente aos sistemas de gestão. Assim, as empresas entendem por que os eventos ocorrem e o conhecimento é descoberto por meio do reconhecimento.
5. Previsibilidade: no quinto estágio, as empresas sabem o que acontecerá por meio da projeção da sombra digital, pois terá a antecipação de condições futuras por meio da tecnologia. As decisões são tomadas em tempo hábil, com base em previsões e recomendações confiáveis de cenários futuros.
6. Adaptabilidade: no sexto e último estágio, as empresas reagem de forma autônoma de acordo com as condições, ou seja, o ambiente em que a empresa se encontra está totalmente digitalizado. Assim, o sistema se autocontrola e é totalmente viável, e os seres humanos são alocados para atividades de criatividade, inovação e tomada de decisão.

Em suma, a análise de maturidade da Indústria 4.0, a partir do alinhamento das quatro áreas fundamentais junto ao indicador desenvolvido pela ACATECH, auxiliam as empresas a se prepararem para a implementação da Indústria 4.0 e a compreenderem em qual estágio de digitalização estão. Assim, a Siemens, utiliza tais conceitos para preparar seus clientes na jornada rumo a digitalização com as tecnologias da Indústria 4.0 (ACATECH, 2020).

Além disso, a Siemens oferece aos seus clientes um serviço de Consultoria com Foco em Digitalização, através do *Value Discovery Days – VDD* (Dias de Descoberta de Valor) o serviço de consultoria especializada em desenvolver um roteiro estratégico, para as necessidades de seus clientes, na jornada de transformação digital. Tal consultoria, fornece aos clientes Siemens

melhorias nos processos produtivos, levando em consideração as metas estratégicas de negócio e métricas para acompanhar o sucesso das soluções. Com isso, inicialmente são identificados os desafios do chão de fábrica e as possibilidades de melhorias, em conjunto com o cliente a consultoria Siemens busca compreender quais desafios mais impactam o negócio atualmente e quais são as principais áreas foco de digitalização. Através de uma avaliação de maturidade digital, é possível mapear o grau de maturidade atual e ambições futuras para identificar oportunidades (SIEMENS, 2023).

Em seguida, após a coleta de informações do cliente, chega-se no momento de propor soluções. Para isso, o VDD considera as metas de negócio, os processos produtivos e a troca de informações entre camadas de chão de fábrica e sistemas de informação. Desse modo, com base nas informações sobre a situação atual do cliente, são propostas soluções para compor um roteiro de digitalização de curto, médio e longo prazo. Assim, através da consultoria da Siemens, é possível implementar um processo de digitalização na empresa do cliente, com a análise da situação inicial, a avaliação dos pontos de melhoria e o mapeamento de quais tecnologias podem ser úteis para tal processo, resultando em um roteiro para tornar os processos digitalizados e ao final da consultoria, chega-se no momento da implementação, onde a Siemens entra com suas soluções de automatização industrial (SIEMENS, 2023).

### **3.3 ESTUDO DE CASO: VINFAST IMPLANTA O PORTFÓLIO COMPLETO DA SIEMENS - FÁBRICA AUTOMOTIVA TOTALMENTE DIGITAL NO SUDESTE ASIÁTICO**

A VinFast é uma montadora de veículos sediada no Vietnã, fundada em 2017 como uma subsidiária do Vingroup, um conglomerado empresarial vietnamita. A empresa foi criada com o objetivo de impulsionar a indústria automotiva do Vietnã e colocar o país no mapa global de produção de veículos. Com isso, a VinFast se uniu a fabricantes de automóveis da América, Europa e a Siemens para construir sua fábrica automotiva do zero em apenas 21 meses, resultando na primeira marca vietnamita de carros de passeio em tempo recorde, utilizando o portfólio de software e hardware integrado da Siemens (SIEMENS, 2019).

A Siemens Digital Industries (DI), o segmento da Siemens de Indústria Digital, junto do segmento Automotiva da Siemens, foram os responsáveis por apoiar a VinFast a se tornar uma fábrica digital. A Siemens DI é uma referência em inovação, automação e digitalização, impulsionando a transformação digital nas indústrias, a partir do seu portfólio *Digital Enterprise* (Empresa Digital), oferecendo às empresas de todos os tamanhos um conjunto completo de produtos, soluções e serviços para integrar e digitalizar toda a cadeia de valor, otimizando as necessidades específicas de cada setor, e apoiando os clientes a alcançarem a maior produtividade e flexibilidade (SIEMENS, S/D).

Inicialmente, a ideia de produção de veículos em uma fábrica de automóveis totalmente nova em menos de dois anos é sem precedentes, entretanto, a VinFast tinha a intenção de ser competitiva no Vietnã e globalmente desde o início, visto que, não havia marca vietnamita para carros de passeio no país asiático. A partir disso, a empresa contou com especialização da Siemens para utilizar a mais recente tecnologia, e a Siemens a partir dessa proposta, aceitou construir uma empresa digital do zero para a VinFast. Desse modo, a fábrica automotiva totalmente digital, de 335 hectares da VinFast em Hai Phong no Vietnã, foi construída em apenas 21 meses, 50% mais rápida do que o normal, e foi projetada para ser facilmente escalável para futuras expansões (SIEMENS, S/D).

Figura 5 – Fábrica Digital da VinFast, em Hai Phong no Vietnã



Fonte: [VinFast – Uma fábrica automotiva totalmente digital - Siemens BR](#)

A implantação do portfólio Siemens na VinFast, possibilitou que toda a cadeia de valor da produção fosse integrada e digitalizada a partir do *Digital Enterprise* da Siemens (Empresa Digital), composta pelo *Xcelerator* de software, uma plataforma de negócios digital que permite aos clientes acelerar sua transformação digital de maneira mais fácil, rápida e escalável; e a Automação Totalmente Integrada (*Totally Integrated Automation - TIA*), um sistema de arquitetura aberta que promove a interação de todos os componentes de automação, software e sistemas, garantido pela gestão eficiente de dados (SIEMENS, 2019).

O *Xcelerator* Siemens permite a criação do Gêmeo Digital mais preciso, combinando simulações baseadas em modelos com dados de teste e análises de desempenho real com controle inteligente, no caso da VinFast, a tecnologia de Gêmeo Digital funciona como uma réplica virtual do automóvel, permitindo simulação e validação do desenvolvimento do veículo, desde o seu projeto até a produção. Além disso, a VinFast também utilizou o software *Teamcenter* Siemens, o qual gerencia o ciclo de vida do produto otimizando o trabalho em equipe, conectando pessoas e processos; e o software NX Siemens, uma solução integrada para design assistido por computador, manufatura e engenharia, para desenvolver o Gêmeo Digital de carros e produção. Desse modo, o *Teamcenter* conecta o Gêmeo Digital com um fio digital consistente, garantindo que a VinFast aumente a velocidade e a flexibilidade no desenvolvimento da produção, otimizando processos de manufatura e utilizando as informações obtidas a partir das operações de produto e planta para melhorar o desempenho futuro. Outra implementação essencial foi o Siemens *Opcenter*, uma solução holística de Gestão de Operações de Manufatura (*Manufacturing Operations Management - MOM*) que permite implementar sua estratégia para a digitalização completa das operações de fabricação, resultando no aumento da velocidade e da qualidade na produção, tal solução suporta a manufatura em loop fechado, impulsionando dados de produção em tempo real para o Gêmeo Digital do produto e permitindo a inovação do design do produto e das operações de produção (SIEMENS, 2019).

Figura 6 – Gêmeo Digital impulsionado pelos softwares *Teamcenter* e NX da Siemens



Fonte: [VinFast – Uma fábrica automotiva totalmente digital - Siemens BR](#)

A automação presente na fábrica digital da VinFast é devida à Automação Totalmente Integrada (TIA) da Siemens, um conceito modular e flexível que controla e impulsiona toda a produção. Tal automação é possível, a partir da implementação de equipamentos de automação da Siemens, ao longo das linhas de fabricação da VinFast desde as oficinas de prensagem, pintura e carroceria até as de montagem, submontagem e de motores. Assim, equipamentos como Controladores SIMATIC Siemens permitem que a VinFast automatize as operações da fábrica, como robôs ou linhas de transporte, incluindo funcionalidades de segurança, uma vez que, é utilizado o HMI SIMATIC, um sistema de interface homem-máquina que conecta pessoas a máquinas e seus dados, permitindo que a VinFast opere e observe o status das máquinas e de sistemas inteiros para a equipe de produção. Além disso, também são utilizados a estrutura de engenharia TIA Portal para programar tarefas de automação desde a oficina de prensagem até a montagem final; os produtos de Identificação Industrial da Siemens, os quais possibilitam rastrear e traçar peças, otimizando todo o fluxo de materiais; e os Controles SINUMERIK, que garantem a máxima eficiência e qualidade em suas máquinas de trem de força. Em suma, com o amplo portfólio de componentes de automação da Siemens, o qual incluiu componentes de rede, fontes de alimentação, produtos de controle, distribuição de baixa tensão e painéis elétricos, um sistema de distribuição de energia, bem como motores e acionamentos, permite que a VinFast construa a fábrica digital com alta qualidade de padrões globais (SIEMENS, 2019).

Figura 7 – Equipamento de Automação Totalmente Integrada (TIA) da Siemens



Fonte: [VinFast – Uma fábrica automotiva totalmente digital - Siemens BR](#)

Como resultado, a implementação da Empresa Digital da Siemens junto ao portfólio focado em tecnologia 4.0, mesclando o mundo virtual com o real e obtendo o máximo proveito das soluções Siemens, permitiu que a VinFast se tornasse uma fábrica totalmente digital e a primeira fabricante de automóveis em volume do Vietnã. Com isso, a Siemens auxiliou a VinFast a cumprir seu cronograma de produção automotiva para a construção da fábrica, design dos carros e início da produção em apenas 21 meses, muito antes de um cronograma já ambicioso. A planta da VinFast em Hai Phong entrou em operação em junho de 2019, com uma capacidade total de design de 250.000 carros por ano. Desse modo, a VinFast se tornou um exemplo de como o uso de tecnologia 4.0 é capaz de impulsionar a indústria automotiva, segundo Bernd Mangler, Vice-Presidente Sênior de Soluções Automotivas da Siemens Indústria Digital, “A VinFast e seu novo site de produção são um grande exemplo de como a indústria automotiva está impulsionando a transformação digital da manufatura” (SIEMENS, 2019).

## CONCLUSÃO

O desenvolvimento tecnológico ao longo das revoluções industriais marcou transformações profundas no modo como a sociedade organiza sua produção, consumo e interação com o meio ambiente. A Indústria 4.0 representa uma revolução tecnológica sem precedentes, sendo o ápice dessa evolução, redefinindo os processos industriais e promovendo avanços significativos em eficiência, sustentabilidade e inovação, a partir de tecnologias que integram o mundo digital ao físico. Essa nova fase não apenas potencializa a produtividade, mas também promove avanços em segurança, qualidade e competitividade. Visto que, com o surgimento de tecnologias como Inteligência Artificial, Gêmeos Digitais, Internet das Coisas, Computação em Nuvem e Manufatura Aditiva, é possível alcançar níveis inéditos de automação, personalização e integração de processos. Assim, a Indústria 4.0 não é apenas uma evolução tecnológica, mas uma oportunidade de transformar uma sociedade de maneira sustentável, inclusiva e inovadora, atendendo às demandas de um mercado global cada vez mais dinâmico e interconectado.

No contexto brasileiro, a implementação das Tecnologias 4.0 ainda enfrenta desafios, como a falta de infraestrutura, déficit de mão de obra qualificada e desigualdades regionais, entretanto, é evidente o esforço para integrar tecnologias avançadas como Inteligência Artificial, Internet das Coisas, Gêmeos Digitais e Manufatura Aditiva. Apesar das barreiras, o progresso alcançado demonstra que o Brasil está avançando na direção de uma transformação digital abrangente, essencial para se posicionar em um cenário econômico cada vez mais pautado pela tecnologia e inovação. A partir de iniciativas de grandes empresas e parcerias estratégicas têm demonstrado que o país avança, mesmo que de forma desigual, em direção à digitalização industrial.

Na indústria automotiva, a implementação da Indústria 4.0, representa um marco transformador que redefine padrões de produção e modelos de negócios, levando o setor automotivo a uma elevada conectividade e automação, frente à competitividade industrial. Tal movimento é impulsionado pela integração de Tecnologias 4.0, que tornam os processos mais ágeis, precisos e eficientes. Essas inovações, não apenas aumentam a produtividade e reduzem custos, mas também atendem às demandas por personalização, sustentabilidade e veículos mais inteligentes, como carros conectados e independentes. Além disso, a digitalização das fábricas, por

meio de sistemas Ciber-Físicos, permite a coleta e análise de dados em tempo real, promovendo uma tomada de decisão ágil.

O estudo de caso da VinFast com a Siemens AG, ilustra a eficácia da aplicação de Tecnologias 4.0 em uma indústria automotiva, evidenciando que uma integração digital completa e aliada a soluções personalizadas, pode resultar em fábricas altamente eficientes, escaláveis e sustentáveis. Essa experiência também destaca o potencial da Indústria 4.0 de reduzir custos, aumentar a produtividade e impulsionar a inovação, aspectos cruciais para manter a relevância em um mercado global cada vez mais competitivo. Desse modo, com a VinFast é possível observar o potencial da aplicação da Indústria 4.0 em integrar o mundo físico com o digital, permitindo uma maior flexibilidade, redução de custos e um nível de customização antes inimaginável, transformando profundamente a cadeia produtiva, criando fábricas inteligentes e interconectadas.

Portanto, o avanço da Indústria 4.0 não é apenas um desafio tecnológico, mas também um processo de transformação cultural e organizacional, o qual exige a adaptação de empresas e profissionais frente às novas dinâmicas de trabalho e a busca por inovação constante. Este cenário exige investimento contínuo em pesquisa, capacitação profissional e políticas públicas que fomentem a inovação e a inclusão tecnológica. Assim, fica evidente que, apesar dos desafios, a Indústria 4.0 apresenta oportunidades únicas para melhorar a competitividade, promover a sustentabilidade e acelerar a transformação digital, posicionando as indústrias para atender às demandas de um mercado global em constante evolução.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACATECH. Índice de Maturidade da Indústria 4.0. Academia de Ciência e Engenharia Alemã, 2020. Disponível em: [Industrie 4.0 Maturity Index. Managing the Digital Transformation of Companies – UPDATE 2020 - acatech - National Academy of Science and Engineering](#) .

ALOEE. Linha de montagem: conceito e evolução ao longo dos anos. Aloe, 2024. Disponível em: <https://www.aloee.it/blog/linha-de-montagem-conceito-evolucao> .

ALOEE. Linha de montagem: conceito e evolução ao longo dos anos. ALLOE, 2024. Disponível em: <https://www.aloee.it/blog/linha-de-montagem-conceito-evolucao> .

AUTOMATA DO BRASIL. Indústria 4.0 no Brasil. Automata do Brasil, 2024. Disponível em: <https://www.automataweb.com.br/industria-4-0-no-brasil/> .

AWS. O que é IoT (Internet das Coisas)? Amazon, 2023. Disponível em: <https://aws.amazon.com/pt/what-is/iot/> .

AWS. O que é a tecnologia de Gêmeos Digitais? Amazon, 2023. Disponível em: <https://aws.amazon.com/pt/what-is/digital-twin/> .

AWS. O que é a tecnologia de Gêmeos Digitais? Amazon, 2023. Disponível em: <https://aws.amazon.com/pt/what-is/digital-twin/> .

AWS. O que é Segurança Cibernética? Amazon, 2023. Disponível em: <https://aws.amazon.com/pt/what-is/cybersecurity/> .

BRAS CLOUD. Função do Cloud Computing na Indústria 4.0. BrasCloud, 2022. Disponível em: <https://www.brascloud.com.br/pt-br/blog/funcao-do-cloud-computing-na-industria-4-0> .

CCM. Descubra como a nuvem vai mudar o futuro do setor automotivo. CCM Tecnologia, 2018. Disponível em: <https://blog.ccmtecnologia.com.br/post/como-a-nuvem-vai-mudar-o-futuro-do-setor-automotivo> .

COSTA, M. Machine Learning. Alura, 2024. Disponível em: <https://www.alura.com.br/artigos/machine-learning> .

DESOUTTER. Revolução Industrial - Da Indústria 1.0 à Indústria 4.0. DESOUTTER Industrial Tools, 2017. Disponível em: <https://www.desouttertools.com.br/your-industry/news/507/revolucao-industrial-da-industria-1-0-a-industria-4-0> .

EXAME. Há um século, a linha de montagem da Ford mudava a sociedade. EXAME, 2013. Disponível em: <https://exame.com/negocios/ha-um-seculo-a-linha-de-montagem-da-ford-mudava-a-sociedade/> .

FIA. Indústria 4.0: guia completo. FIA Business School, 2021. Disponível em: <https://fia.com.br/blog/industria-4-0/> .

GEOFUSION. Indústria 4.0: O que é, conceitos e impactos no Brasil. Geofusion Intelligence, 2024. Disponível em: <https://geofusion.com.br/blog/industria-40-brasil/> .

GONÇALVES, T. Processamento de Linguagem Natural. Alura, 2023. Disponível em: [https://www.alura.com.br/artigos/o-que-e-pln?utm\\_term=&utm\\_campaign=%5BSearch%5D+%5BPerformance%5D+-+Dynamic+Search+Ads+-+Artigos+e+Conte%C3%BAdos&utm\\_source=adwords&utm\\_medium=ppc&hsa\\_acc=7964138385&hsa\\_cam=11384329873&hsa\\_grp=111087461203&hsa\\_ad=687448474447&hsa\\_src=g&hsa\\_tgt=aud-527303763294:dsa-425656816943&hsa\\_kw=&hsa\\_mt=&hsa\\_net=adwords&hsa\\_ver=3&gad\\_source=1&gclid=Cj0KCQjwj9-zBhDyARIsAERjds1LB7pdKRccZf54BCzDI7C0dx\\_w9rE\\_FAzqDC4OsfHBNgIiCAfWfacaAiy\\_mEALw\\_wcB](https://www.alura.com.br/artigos/o-que-e-pln?utm_term=&utm_campaign=%5BSearch%5D+%5BPerformance%5D+-+Dynamic+Search+Ads+-+Artigos+e+Conte%C3%BAdos&utm_source=adwords&utm_medium=ppc&hsa_acc=7964138385&hsa_cam=11384329873&hsa_grp=111087461203&hsa_ad=687448474447&hsa_src=g&hsa_tgt=aud-527303763294:dsa-425656816943&hsa_kw=&hsa_mt=&hsa_net=adwords&hsa_ver=3&gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwj9-zBhDyARIsAERjds1LB7pdKRccZf54BCzDI7C0dx_w9rE_FAzqDC4OsfHBNgIiCAfWfacaAiy_mEALw_wcB) .

GOV. Proposta brasileira de rede de tecnologia para a indústria 4.0 integra livro internacional. Gov BR, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/noticias/2021/05/proposta-brasileira-de-rede-de-tecnologia-para-a-industria-4-0-integra-livro-internacional> .

IBM. Deep Learning. IBM, sem ano. Disponível em: <https://www.ibm.com/br-pt/topics/deep-learning> .

KNAUF. Como é a Revolução Industrial 4.0 na indústria automotiva? Knauf Industries, 2020. Disponível em: <https://knaufautomotive.com/pt-br/supply-chain-e-industria-4-0-na-industria-automotiva/> .

MCKINSEY. O que são Indústria 4.0, Quarta Revolução Industrial e 4IR? McKinsey & Company, 2022. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/featured-insights/mckinsey-explainers/what-are-industry-4-0-the-fourth-industrial-revolution-and-4ir> .

MCKINSEY. Transformando a manufatura avançada por meio da Indústria 4.0. McKinsey, 2022. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/transforming-advanced-manufacturing-through-industry-4-0> .

MELO, V. Indústria 4.0 no Brasil. Geofusion, 2022. Disponível em: [https://blog.geofusion.com.br/blog/industria-4-0-brasil?utm\\_matchtype=&utm\\_adgroup=geral&utm\\_device=c&placement=&gclid=Cj0KCQjwj9-zBhDyARIsAERjds0APi2\\_XsBhmgKxeN-KUKV5F8hiR7-4-0aOsY\\_HhufAqxBupnZG0vgaAq64EALw\\_wcB&utm\\_placement=&utm\\_creative=&utm\\_source=adwords&utm\\_campaign=PMAX\\_ALWAYS\\_ON\\_GERAL\\_GOOGLE&utm\\_medium=ppc&utm\\_content=responsivo\\_pmax\\_geral&utm\\_term=&hsa\\_acc=4920961291&hsa\\_cam=20772569990&hsa\\_grp=&hsa\\_ad=&hsa\\_src=x&hsa\\_tgt=&hsa\\_kw=&hsa\\_mt=&hsa\\_net=adwords&hsa\\_ver=3&gad\\_source=1](https://blog.geofusion.com.br/blog/industria-4-0-brasil?utm_matchtype=&utm_adgroup=geral&utm_device=c&placement=&gclid=Cj0KCQjwj9-zBhDyARIsAERjds0APi2_XsBhmgKxeN-KUKV5F8hiR7-4-0aOsY_HhufAqxBupnZG0vgaAq64EALw_wcB&utm_placement=&utm_creative=&utm_source=adwords&utm_campaign=PMAX_ALWAYS_ON_GERAL_GOOGLE&utm_medium=ppc&utm_content=responsivo_pmax_geral&utm_term=&hsa_acc=4920961291&hsa_cam=20772569990&hsa_grp=&hsa_ad=&hsa_src=x&hsa_tgt=&hsa_kw=&hsa_mt=&hsa_net=adwords&hsa_ver=3&gad_source=1) .

MICROSOFT. O que é análise de Big Data? Microsoft, 2023. Disponível em: <https://azure.microsoft.com/pt-br/resources/cloud-computing-dictionary/what-is-big-data-analytics> .

MORBI, H. Simulação na Indústria 4.0. Business to Improvement, 2019. Disponível em: <https://b2i.network/simulacao-na-industria-4-0-o-que-e-e-quais-sao-suas-vantagens/>.

NATIONAL GEOGRAPHIC. Qual é a diferença entre Realidade Aumentada e Realidade Virtual? National Geographic Portugal, 2024. Disponível em: [https://www.nationalgeographic.pt/ciencia/qual-e-diferenca-entre-realidade-aumentada-e-realidade-virtual\\_4615](https://www.nationalgeographic.pt/ciencia/qual-e-diferenca-entre-realidade-aumentada-e-realidade-virtual_4615) .

NATIONAL GEOGRAPHIC BRASIL. Qual é a origem da humanidade segundo a ciência. National Geographic Brasil, 2022. Disponível em: <https://www.nationalgeographicbrasil.com/historia/2022/12/qual-e-a-origem-da-humanidade-segundo-a-ciencia> .

NEPIN. Tecnologia industrial – De onde ela surgiu e quais benefícios e transformações ela gera no mercado. Nepin, 2021. Disponível em: <https://www.nepin.com.br/blog/solucoes-industriais/tecnologia-industrial-de-onde-ela-surgiu-e-quais-beneficios-e-transformacoes-ela-gera-no-mercado/> .

PALUDO, L. O que é manufatura aditiva, como funciona e quais as vantagens. SENAI, 2022. Disponível em: <https://blog.sesisenai.org.br/o-que-e-manufatura-aditiva/> .

PEDERNEIRAS, G. Sistema ciber físico na Indústria 4.0. Ind. 4.0 Manufatura Avançada, 2023. Disponível em: <https://www.industria40.ind.br/artigo/18514-sistema-ciber-fisico-na-industria-40> .

PERASSO, V. O que é a 4ª revolução industrial - e como ela deve afetar nossas vidas. BBC News Brasil, 2016. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/geral-37658309> .

RONNANG, M. Como as fábricas automotivas extraem benefícios do gerenciamento de instalações digitais. FARO Technologies, 2022. Disponível em: <https://www.faro.com/pt-BR/Resource-Library/Article/Automotive-Factories-and-Digital-Facilities> .

SANTOS, L. Conheça as quatro Revoluções Industriais que moldaram a trajetória do mundo. Conselho Federal de Administração - CFA, 2019. Disponível em: <https://cfa.org.br/as-outras-revolucoes-industriais/> .

SCARABOTTO, N. Como a Indústria 4.0 pode dar impulso à retomada do setor automotivo. Automotive Business, 2020. Disponível em: <https://automotivebusiness.com.br/pt/posts/noticias/como-a-industria-4-0-pode-dar-impulso-a-retomada-do-setor-automotivo/> .

SCHWAB, K. A Quarta Revolução Industrial. Edipro 1ª ed, 2016. Disponível em: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4212041/mod\\_folder/content/0/Schwab%20%282016%29%20A%20quarta%20revolucao%20industrial.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4212041/mod_folder/content/0/Schwab%20%282016%29%20A%20quarta%20revolucao%20industrial.pdf) .

SCHWAB, K. A Quarta Revolução Industrial. Brasil, Edipro, 2019.

SIEMENS. Serviços de Consultoria com foco em digitalização. Siemens BR, 2023. Disponível em: [Serviços de Consultoria - Siemens BR](#) .

SIEMENS. História da Siemens. Siemens, S/D. Disponível em: [História - Siemens BR](#) .

SIEMENS. Serviços e Produtos. Siemens S/D. Disponível em: [Serviços e Produtos - Siemens BR](#).

SIEMENS. A VinFast utiliza todo o portfólio da Siemens para entregar carros antes do prazo. Siemens, 2019. Disponível em: [Press release: VinFast deploys Siemens' full portfolio to deliver cars ahead of schedule](#) .

SIEMENS. Fábrica automotiva totalmente digital no Sudeste Asiático. Siemens, S/D. Disponível em: [VinFast – Uma fábrica automotiva totalmente digital - Siemens BR](#) .

SIEMENS. Siemens Xcelerator. Siemens, S/D. Disponível em: [Siemens Xcelerator para a Transformação Digital - Siemens BR](#) .

SIEMENS. Automação Totalmente Integrada da Siemens. Siemens, S/D. Disponível em: [Automação Totalmente Integrada \(TIA\) - Siemens BR](#) .

SIEMENS. Soluções para indústria automotiva. Siemens Brasil, 2024. Disponível em: <https://www.siemens.com/br/pt/solucoes/setor-automotivo.html> .

SYDLE. Tecnologias da Indústria 4.0: quais são e como funcionam? Sydle, 2024. Disponível em: <https://www.sydle.com/br/blog/tecnologias-industria-4-0-5fa55ba5d70a374444371979> .

TAMANINI, C. WILTGEN, F. Manufatura Aditiva e as Mudanças na Indústria Automotiva. RECIT, 2022. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/recit/article/download/000014510/14510> .

TOTVS. Caminho até a Indústria 4.0: os destaques das revoluções industriais. A voz da Indústria. TOTVS, 2020. Disponível em: <https://avozdaindustria.com.br/industria-40-totvs/caminho-ate-industria-40-os-destaques-das-revolucoes-industriais> .

TOTVS. Indústria 4.0: pilares, tecnologias, impactos e desafios. TOTVS, 2023. Disponível em: <https://www.totvs.com/blog/gestao-industrial/industria-4-0/> .

UNIVERSAL ROBOTS. Robótica avançada: o que é, benefícios e principais aplicações. Universal Robots Brasil, 2023. Disponível em: <https://www.universal-robots.com/br/blog/rob%C3%B3tica-avancada-o-que-%C3%A9-benef%C3%ADcios-e-principais-aplicac%C3%B5es/> .