

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

IGOR RAFAEL ARAUJO CAVALLIM
JAIRO CHOPERENA MOLINA JUNIOR
JULIANO IRUME MAUGER

OTIMIZAÇÃO DE PRODUTOS GUIADOS POR INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL
NA INDÚSTRIA 4.0

CURITIBA

2025

IGOR RAFAEL ARAUJO CAVALLIM
JAIRO CHOPERENA MOLINA JUNIOR
JULIANO IRUME MAUGER

OTIMIZAÇÃO DE PRODUTOS GUIADOS POR INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL
NA INDÚSTRIA 4.0

Trabalho de conclusão de curso apresentada ao curso de Pós-Graduação Especialização MBA Gestão em Engenharia, Setor Ciências Sociais e Aplicadas, Departamento de Ciência e Gestão da Informação da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista MBA em Gestão em Engenharia.

Orientador: Prof. Dr. Egon Walter Wildauer

CURITIBA
2025

Dedicamos esse trabalho ao Professor que
apresenta o mesmo espírito de Ralph Waldo
Emerson.

AGRADECIMENTOS

Expressamos nossa gratidão e respeito aos Professores Egon Walter Wildauer e Jose Simão de Paula Pinto, pelo compromisso docente e pela inspiração.

*“O ser humano se torna eu pela relação com o você.
À medida que me torno eu, digo você. Todo viver real
é encontro.”*

(Martin Buber, 1923)

RESUMO

A Empresa Y, com mais de duas décadas de atuação no mercado automotivo, está em processo de reformulação tecnológica. A necessidade de reduzir o tempo de produção em pelo menos 5% no segmento de sistemas limpadores de para-brisas panorâmicos foi identificada. A utilização de Inteligência Artificial (IA) surge como uma solução potencial para otimizar o tempo de produção. Como objetivo geral levantou-se identificar soluções de redução e otimização do tempo de produção utilizando a ferramenta de Inteligência Artificial (IA) em uma linha de componentes automotivos, como objetivos específicos; identificar as necessidades da empresa em relação ao uso de IA em seus produtos, verificar os conhecimentos e a aplicabilidade da IA no setor estudado, aplicar as soluções pesquisadas e viáveis encontradas e ainda demonstrar o ganho de otimização de tempo com o uso da IA. A implementação de IA na linha de produção da Empresa Y visa não apenas a redução do tempo de produção, mas também a melhoria contínua dos processos, garantindo maior eficiência e competitividade no mercado automotivo.

Palavras-chave: Inteligência Artificial, otimização de tempo, produção automotiva, sistemas limpadores de para-brisas, tecnologias emergentes

ABSTRACT

Company Y, which has been operating in the automotive market for over two decades, is undergoing a technological overhaul. The need to reduce production time by at least 5% in the panoramic windshield wiper system segments was identified. The use of Artificial Intelligence (AI) emerges as a potential solution to optimize the production rate. The general objective announced was to identify solutions for reducing and optimizing production time using the Artificial Intelligence (AI) tool in a line of automotive components. The specific objectives were: Identify the company's needs regarding the use of AI in its products, verify the knowledge and applicability of AI in the trained sector, apply the researched and viable solutions found, and also demonstrate the gain in time optimization with the use of AI. The implementation of AI in the Company's production line aims not only to reduce production time, but also to continuously improve processes, ensuring greater efficiency and competitiveness in the automotive market.

Keywords: Artificial Intelligence, time optimization, automotive production, windshield wiper systems, emerging technologies

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistema Simples de Limpadores de Para-brisa	15
Figura 2 - Evolução das Indústrias	27
Figura 3 - Indústria 4.0 - framework e tecnologias digitais colaborativas	38
Figura 4 - Fluxograma do Trabalho	544
Figura 5 - Fluxograma do processo de seleção de componentes	62

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Tempo	64
Gráfico 2 - Utilização do Tempo	64
Gráfico 3 - Desempenho	65
Gráfico 4 - Indicadores de Desempenho.....	66

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Exemplo de Algoritmo.....	51
Quadro 2 - Indicadores de Desempenho.....	55
Quadro 3 - Modelos praticados na Indústria de IA.....	56
Quadro 4 - Comparação dos resultados obtidos com feedback.....	58
Quadro 5 - Resultados do tempo pelo uso da IA.....	59
Quadro 6 - Ferramentas utilizadas pela empresa no segmento observado.....	60
Quadro 7 - Tempo utilizado antes da I A.....	63
Quadro 8 - Resultados obtidos por engenheiro.....	65

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

CPS - SISTEMAS CIBERFÍSICOS

IOT - INTERNET DAS COISAS

RA - REALIDADE AUMENTADA

RV - REALIDADE VIRTUAL

CAD - COMPUTER-AIDED DESIGN

COVID-19 - DOENÇA DO CORONAVÍRUS 2019

CREO - COMPUTER-AIDED DESIGN SOFTWARE

IA - INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

IMAI - INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E MACHINE LEARNING

RFID - IDENTIFICAÇÃO POR RADIOFREQUÊNCIA

RTLS - SISTEMAS DE LOCALIZAÇÃO EM TEMPO REAL

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 PROBLEMA	16
1.2 OBJETIVOS	16
1.2.1 Objetivo geral	16
1.2.2 Objetivos específicos.....	17
1.3 JUSTIFICATIVA	17
2 LITERATURA PERTINENTE.....	19
2.1 PRODUTO	19
2.2 PROCESSOS.....	23
2.3 INDÚSTRIA 4.0.....	26
2.4 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL (IA)	38
2.4.1 A evolução da inteligência artificial na indústria	39
2.4.2 A inteligência artificial e a indústria	41
2.4.3 Era da Indústria 4.0	41
2.4.4 IA em Manutenção Preditiva	42
2.4.5 Uso da Inteligência Artificial na Gestão de Otimização de Tempo	43
2.5 AUTOMAÇÃO DE TAREFAS.....	44
2.5.1 Creo Parametric 6	47
2.5.2 Algoritmo em PHP	50
3 METODOLOGIA	53
3.1 MÉTODOS	53
4 RESULTADOS OBTIDOS	63
4.1 CENÁRIO ANTERIOR.....	63
4.1.1 Resultados por Engenheiro	65
4.2 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	67
5 REFERÊNCIAS.....	69

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de produtos é um campo fundamental em diversas indústrias, onde a capacidade de inovar e levar novos produtos ao mercado de forma eficiente é crucial para o sucesso; no âmbito desse processo, a indústria 4.0 desempenha um papel de destaque, e gerir o tempo se tornou uma consideração crítica, uma vez que os atrasos na adoção da mesma podem resultar em custos substanciais, perda de vantagem competitiva e insatisfação do cliente. A rapidez com que um produto é concebido, projetado e lançado no mercado tem um impacto direto em sua viabilidade e no retorno sobre o investimento.

No cenário atual, a busca por reduzir o tempo de desenvolvimento é uma prioridade constante; assim a Inteligência Artificial (IA) emerge como uma ferramenta promissora, que possui o potencial de otimizar e acelerar o desenvolvimento de produtos de várias maneiras, desde a automação de tarefas de rotina até a análise de grandes conjuntos de dados para insights, a sua utilização pode contribuir para a identificação de oportunidades de otimização do processo de desenvolvimento, melhorando a previsão de prazos e aumentando a eficiência geral.

Este trabalho, tem como tema o uso da Inteligência Artificial (IA) como instrumento na gestão de otimização de tempo, em uma empresa de produção de peças automotivas com existência de mais de duas décadas no mercado. Como problemática foi levantado a necessidade de reduzir significativamente o tempo de desenvolvimento de produtos de uma linha de componentes automotivos de sistemas de limpadores de para-brisas da empresa 'Y' (Figura 1) demonstra um sistema de limpadores simples para para-brisa para compreensão da dinâmica e complexidade da produção.

Figura 1 - Sistema Simples de Limpadores de Para-brisa



Fonte: Arquivo da empresa departamento de divulgação (2024)

1.1 PROBLEMA

A empresa Y, desenvolve produtos automotivos em larga escala com atuação no mercado com mais de duas décadas, neste momento passa por reformulação de uso de novas tecnologias e ferramentas. Na observação realizada na empresa levantou-se que nesse momento se faz necessário buscar formas de diminuir o tempo na produção num segmento específico, onde acontece a produção sistemas limpadores de para-brisas (modelo panorâmico) de no mínimo 5% do tempo utilizado atualmente. Como a empresa está se utilizando de novas ferramentas aventou-se o uso da IA (Inteligência Artificial) para otimizar as ações do uso do tempo, assim criando o problema a ser investigado: o uso da IA como ferramenta para a redução de tempo da produção do componente automotivo de uma linha de produção da empresa Y.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo configura-se como a declaração concisa e precisa da meta que se almeja alcançar por meio da investigação científica. Ele representa o ponto de convergência dos esforços do pesquisador, delineando o escopo da pesquisa, segundo Gil (2002), o objetivo de uma pesquisa "expressa o que se pretende atingir com a pesquisa". Ele deve ser formulado de maneira clara, concisa e delimitada, evitando ambiguidades e imprecisões. A clareza do objetivo é crucial para orientar a coleta e análise de dados, a interpretação dos resultados e a elaboração das conclusões. Para isso ele se divide em dois:

1.2.1 Objetivo geral

Identificar soluções de redução / otimização de tempo de produção utilizando-se da ferramenta de Inteligência Artificial (IA), em uma linha de componentes automotivos

1.2.2 Objetivos específicos

- Identificar as necessidades da empresa em relação a Inteligência Artificial (IA) para uso em seus produtos;
- Verificar os conhecimentos e aplicabilidade da Inteligência Artificial (IA) no setor estudado;
- Aplicar as soluções pesquisadas e viáveis encontradas;
- Demonstrar o ganho de otimização de tempo como o uso da Inteligência Artificial (IA).

1.3 JUSTIFICATIVA

A indústria 4.0, caracterizada pela integração de tecnologias avançadas, como a IA, desempenha um papel crucial na transformação dos processos produtivos. A capacidade de inovar e levar novos produtos ao mercado de forma eficiente é essencial para manter a competitividade e a satisfação dos clientes. No cenário atual, a rapidez com que um produto é concebido, projetado e lançado no mercado tem um impacto direto em sua viabilidade e no retorno sobre o investimento.

A utilização da IA pode contribuir de diversas maneiras para a otimização do tempo de desenvolvimento de produtos. Desde a automação de tarefas de rotina até a análise de grandes conjuntos de dados para obter insights valiosos, a IA tem o potencial de identificar oportunidades de melhoria no processo de desenvolvimento, prever prazos com maior precisão e aumentar a eficiência geral.

Diante da necessidade de reduzir o tempo de produção de componentes automotivos em pelo menos 5%, a empresa Y busca implementar soluções baseadas em IA para alcançar esse objetivo. A aplicação da IA pode não apenas acelerar o desenvolvimento de produtos, mas também proporcionar uma vantagem competitiva significativa, reduzir custos e aumentar a satisfação dos clientes.

A motivação para a realização deste trabalho baseia-se na importância da gestão eficaz de projetos no setor de componentes automotivos. A empresa Y, com mais de duas décadas de atuação no mercado, enfrenta atualmente o desafio de reduzir significativamente o tempo de desenvolvimento de seus produtos. A adoção de novas tecnologias, como a Inteligência Artificial (IA), surge como uma solução promissora para otimizar e acelerar o processo de desenvolvimento de produtos.

Diante do exposto, a justificativa deste trabalho se dá pela necessidade de explorar e implementar soluções de IA que possam otimizar o tempo de desenvolvimento de produtos na empresa Y, contribuindo para a sua eficiência operacional e sucesso no mercado.

2 LITERATURA PERTINENTE

A literatura pertinente tem como objetivo explorar e sintetizar o conhecimento existente sobre o tema, fornecendo uma base sólida para a construção do argumento e do embasamento teórico do trabalho. Além disso, busca investigar as principais teorias, metodologias, ferramentas e melhores práticas relacionadas uso da Inteligência Artificial

2.1 PRODUTO

A indústria automotiva é um dos setores mais complexos e dinâmicos da economia global. O desenvolvimento de produtos nesse setor envolve uma série de processos inter-relacionados que abrangem desde a concepção inicial até a produção em massa de veículos. As pressões por inovação, sustentabilidade e segurança, aliadas à evolução das tecnologias e expectativas dos consumidores, tornam o desenvolvimento de produtos automotivos um desafio constante.

Para desenvolvimento de um produto automotivo passa por várias etapas, desde o planejamento estratégico até a fabricação e o lançamento no mercado. Segundo Clark e Fujimoto (1991), a competitividade na indústria automotiva depende da capacidade das empresas em integrar as diversas etapas do desenvolvimento de produtos com eficiência e agilidade. Eles destacam que empresas que conseguem sincronizar design, engenharia e produção obtêm vantagens em termos de custo, qualidade e tempo de lançamento.

Essa integração é facilitada por ferramentas de engenharia simultânea, que visam reduzir o tempo de desenvolvimento e melhorar a comunicação entre equipes multidisciplinares. Conforme Eppinger e Ulrich (2015), a aplicação de metodologias ágeis e o uso de tecnologias como CAD (Computer-Aided Design) têm sido cruciais para permitir a personalização e a rápida adaptação às mudanças no mercado automotivo.

A inovação vem como um fator essencial no desenvolvimento de novos produtos automotivos. A busca por soluções mais eficientes e sustentáveis tem levado ao desenvolvimento de tecnologias como veículos elétricos e híbridos,

materiais leves e técnicas de produção que minimizam o impacto ambiental. De acordo com Abernathy e Clark (1985), o conceito de "inovação disruptiva" tem sido aplicado ao setor automotivo com o advento de tecnologias como a eletrificação e a condução autônoma, que estão transformando profundamente o design dos veículos e os modelos de negócios.

Manter o compromisso com a sustentabilidade tem sido uma exigência cada vez maior tanto por parte de consumidores quanto de órgãos reguladores. Como observam Wells e Nieuwenhuis, (2017), a transição para um modelo mais sustentável na indústria automotiva exige uma reavaliação de toda a cadeia produtiva, desde a extração de matérias-primas até o descarte de veículos no final de sua vida útil.

Na indústria automotiva existem diversos desafios no desenvolvimento de produtos. Um deles é o equilíbrio entre inovação e custo. Enquanto a introdução de novas tecnologias, como sistemas de propulsão elétrica e condução autônoma, é crucial para atender às demandas dos consumidores e regulações ambientais, elas também aumentam significativamente os custos de desenvolvimento. Segundo Sako, (2004), as montadoras estão cada vez mais dependentes de suas redes de fornecedores para obter componentes especializados e tecnologias inovadoras, o que aumenta a complexidade do processo de desenvolvimento de produtos.

Um desses desafios significativos é a crescente complexidade dos sistemas eletrônicos e de software nos veículos modernos. De acordo com Broy et al. (2007), a eletrônica automotiva tem se tornado um fator crítico de diferenciação de produtos, mas também introduz novos riscos em termos de confiabilidade e segurança, uma vez que defeitos em sistemas eletrônicos podem ter consequências graves para a segurança dos usuários.

Os produtos na indústria automotiva é um processo intrincado e multifacetado, que demanda constante inovação e adaptação às mudanças tecnológicas, econômicas e ambientais. A competitividade nesse setor depende da capacidade das empresas de integrar novos conceitos de design e engenharia com eficiência de produção, ao mesmo tempo em que enfrentam desafios como o aumento dos custos e a complexidade dos sistemas eletrônicos, ter uma transição mais sustentável e uma evolução das demandas dos consumidores demonstra que o desenvolvimento de produtos automotivos continuará sendo um campo em

constante transformação, exigindo das empresas agilidade, inovação e capacidade de adaptação.

Dentro da esfera de desenvolvimento de produtos vale destacar a aplicação da metodologia DFM - Design For Manufacturing ou Design para Manufatura, que visa integrar o processo de design com a fabricação desde as primeiras etapas do projeto. O principal objetivo do DFM é garantir que o design de um produto leve em consideração os processos de fabricação, resultando em produtos que sejam fáceis de fabricar, economicamente viáveis e de alta qualidade. Essa abordagem permite que as empresas otimizem a produção, reduzam custos, melhorem a eficiência e minimizem problemas durante a fabricação. A aplicação do DFM contribui significativamente para a redução dos custos de produção. Segundo Boothroyd, Dewhurst e Knight, (2010), ao projetar produtos que exigem menos operações de fabricação e montagem, os custos associados à mão-de-obra, materiais e tempo de produção podem ser substancialmente reduzidos. Além disso, a simplificação do design, que é um princípio central do DFM, pode resultar em menos peças, o que diminui os custos de inventário e de montagem.

O DFM também melhora a eficiência do processo de fabricação ao garantir que os produtos sejam projetados para serem produzidos de forma mais simples e direta. Segundo Bralla, (1999), ao considerar as limitações e capacidades dos processos de fabricação disponíveis, o DFM ajuda a minimizar a complexidade da produção, reduzindo o tempo de ciclo e aumentando a eficiência geral da operação.

Outro benefício importante do DFM é a melhoria da qualidade do produto. Ulrich e Eppinger, (2012), destacam que o DFM promove o design de produtos que são mais fáceis de montar corretamente e que têm menor probabilidade de apresentar defeitos. Ao prever possíveis dificuldades de fabricação durante a fase de design, é possível minimizar problemas de qualidade, resultando em produtos mais confiáveis e duráveis. O DFM também contribui para a redução dos leads times e do tempo total de desenvolvimento do produto. De acordo com Clark e Fujimoto, (1991), ao integrar considerações de fabricação desde o início do processo de design, as empresas podem reduzir o número de iterações necessárias e acelerar o tempo de lançamento no mercado. Isso é particularmente importante em setores altamente competitivos, onde o tempo de lançamento pode ser um fator decisivo para o sucesso. A seleção de materiais é uma etapa crucial no DFM, pois os

materiais escolhidos devem ser adequados para os processos de fabricação pretendidos.

Segundo Ashby, (2010), a escolha de materiais afeta diretamente a facilidade de fabricação, os custos e a qualidade do produto final. Materiais que são difíceis de processar ou que não atendem às especificações do processo podem aumentar os custos e complicar a produção. Considerar a facilidade de teste e manutenção é outro aspecto importante do DFM. Segundo Ulrich e Eppinger, (2012), projetos que permitem fácil acesso para inspeção e manutenção podem reduzir os custos ao longo do ciclo de vida do produto. Além disso, a consideração de métodos de teste durante o design pode ajudar a garantir que o produto final atenda às especificações e aos padrões de qualidade.

O desenvolvimento de produto e a manufatura estão intimamente conectados em um ciclo interdependente que transforma uma ideia em um produto tangível. Como citado anteriormente, durante o processo de desenvolvimento, as equipes de design e engenharia trabalham para criar protótipos e especificações que atendam às necessidades dos consumidores, exigências do mercado e claro as boas práticas industriais (DFM). Essas especificações são fundamentais para orientar a manufatura, que deve traduzir o design em processos produtivos eficientes, garantindo qualidade, custo-efetividade e escalabilidade.

A manufatura, por sua vez, fornece feedback crítico ao desenvolvimento, identificando limitações de produção e sugerindo modificações no design que podem melhorar a fabricação ou reduzir custos. Essa interação contínua entre desenvolvimento e manufatura é crucial para a criação de produtos inovadores que possam ser produzidos em larga escala com qualidade consistente, mantendo-se competitivos no mercado. Assim, o sucesso do produto final depende tanto de um desenvolvimento robusto quanto de uma execução de manufatura precisa e integrada, onde a importância desses processos se manifesta em várias dimensões como:

Qualidade Consistente: Processos industriais bem-definidos e controlados permitem a produção de produtos com características uniformes, minimizando a variabilidade e garantindo que os produtos atendam aos padrões de qualidade exigidos. A implementação de métodos como o controle estatístico de processos (CEP) auxilia na identificação e correção de desvios, promovendo a consistência na produção, Montgomery, (2012).

Eficiência e Produtividade: A otimização dos processos industriais é essencial para maximizar a eficiência produtiva, reduzindo o desperdício de materiais e tempo. A utilização de técnicas de manufatura enxuta (lean manufacturing) e a automação industrial são exemplos de como os processos podem ser aprimorados para aumentar a produtividade e reduzir custos operacionais Womack et al., (2007).

Escalabilidade: Processos industriais bem projetados possibilitam a escalabilidade da produção, permitindo que as empresas aumentem sua capacidade produtiva sem comprometer a qualidade. Isso é particularmente importante em indústrias de alta demanda, onde a capacidade de aumentar a produção rapidamente pode ser um diferencial competitivo Chopra & Meindl, (2015).

Sustentabilidade: Processos industriais eficientes também contribuem para a sustentabilidade, reduzindo o consumo de energia e a geração de resíduos. A adoção de práticas de manufatura sustentável é cada vez mais importante, tanto para o cumprimento de regulamentações ambientais quanto para a construção de uma imagem corporativa responsável. Jovane et al., (2008).

2.2 PROCESSOS

A indústria automotiva é caracterizada por processos produtivos altamente complexos, nos quais a eficiência operacional, a automação e o controle de qualidade são essenciais para garantir a competitividade em um mercado globalizado. O gerenciamento eficaz desses processos influencia diretamente a capacidade de uma montadora em reduzir custos, aumentar a produtividade e entregar produtos de alta qualidade em prazos reduzidos.

A busca por eficiência é um dos pilares da indústria automotiva, e isso é alcançado por meio da melhoria contínua dos processos de produção. A aplicação de técnicas como o lean manufacturing, desenvolvida inicialmente pela *Toyota*, tem sido amplamente adotada para eliminar desperdícios e otimizar o fluxo de produção. Segundo Womack, Jones e Roos, (1990), o modelo de produção enxuta transformou radicalmente a maneira como os veículos são fabricados, focando na eliminação de atividades que não agregam valor ao produto final.

Além disso, a produção em larga escala na indústria automotiva é facilitada pela padronização dos processos e componentes, o que permite ganhos em escala e a redução de custos. De acordo com Monden, (2012), a padronização é um dos princípios centrais do Sistema Toyota de Produção (STP), permitindo que a produção seja ajustada rapidamente conforme as variações de demanda, sem comprometer a eficiência.

A automação tem desempenhado um papel cada vez mais relevante na transformação dos processos industriais, especialmente na indústria automotiva. A introdução de robôs industriais para tarefas como soldagem, pintura e montagem não apenas aumentou a eficiência das fábricas, mas também melhorou a qualidade e a precisão das operações. Conforme relatado por Koren, (2010), o uso de sistemas de manufatura flexível, que combinam automação com tecnologias de informação, permite que as fábricas automotivas ajustem rapidamente suas linhas de produção para diferentes modelos de veículos, otimizando recursos e minimizando tempos de inatividade.

A chegada da Indústria 4.0 tem levado a automação a um novo patamar, integrando tecnologias digitais como a Internet das Coisas (IoT), big data e inteligência artificial (IA) aos processos produtivos. De acordo com Hermann, Pentek e Otto, (2016), a Indústria 4.0 possibilita a criação de fábricas inteligentes, onde máquinas, sistemas e seres humanos interagem de forma mais eficiente e autônoma, permitindo um controle mais preciso dos processos e melhorando a tomada de decisões em tempo real.

Deve-se levar em conta outro aspecto fundamental dos processos na indústria automotiva que é a gestão da cadeia de suprimentos. A cadeia de suprimentos automotiva é complexa e envolve um grande número de fornecedores, que devem estar integrados de forma eficaz para garantir que os componentes certos estejam disponíveis na hora certa. Segundo Chopra e Meindl, (2016), a eficiência da cadeia de suprimentos automotiva depende da coordenação precisa entre montadoras e fornecedores, o que requer um fluxo constante de informações e a capacidade de reagir rapidamente a alterações na demanda ou interrupções no fornecimento.

Com a globalização da produção automotiva aumentou a complexidade da cadeia de suprimentos, tornando a coordenação logística e o gerenciamento de riscos ainda mais críticos. De acordo com Christopher, (2016), a resiliência da cadeia de suprimentos tem se tornado uma prioridade, especialmente após eventos como a pandemia de COVID-19, que expôs vulnerabilidades nas redes globais de fornecimento.

Desta forma o controle de qualidade é uma das principais preocupações da indústria automotiva, dado que falhas nos processos produtivos podem ter consequências graves para a segurança dos veículos e a reputação das empresas. A implementação de sistemas de gestão da qualidade, como a norma ISO 9001, tem sido amplamente adotada para garantir que os processos produtivos estejam em conformidade com os mais altos padrões de qualidade.

Práticas como o kaizen, que se traduz como "melhoria contínua", têm sido incorporadas nas operações das montadoras para promover a inovação incremental nos processos. De acordo com Imai, (1986), é uma filosofia que envolve todos os funcionários da organização, desde os trabalhadores da linha de produção até a alta gerência, no esforço contínuo de melhorar a eficiência e a qualidade dos processos.

Os processos na indústria automotiva são fundamentais para garantir a competitividade e a sustentabilidade do setor. A eficiência operacional, impulsionada por práticas como o *Lean Manufacturing* e a automação, tem permitido que as montadoras atendam à demanda global de forma mais ágil e com maior precisão. Ao mesmo tempo, a gestão eficaz da cadeia de suprimentos e o controle rigoroso da qualidade são essenciais para garantir a entrega de veículos que atendam às expectativas dos consumidores e cumpram as exigências de segurança.

À medida que a indústria evolui para a era da Indústria 4.0, os processos produtivos continuarão a se transformar, impulsionados pela digitalização e pelo uso de tecnologias avançadas. As montadoras que conseguirem adaptar seus processos de maneira flexível e inovadora estarão melhor posicionadas para enfrentar os desafios e oportunidades do futuro.

2.3 INDÚSTRIA 4.0

Diante da crescente necessidade de qualidade, escalabilidade, sustentabilidade, inovação e flexibilidade para atender às demandas dinâmicas do mercado, surge a Indústria 4.0 como a próxima fase da evolução industrial. Essa transformação não é apenas uma resposta às exigências contemporâneas, mas também um catalisador para o desenvolvimento de capacidades produtivas e organizacionais.

Para compreender a Indústria 4.0, é importante considerar a evolução das revoluções industriais anteriores (Figura 2). Essas transformações moldaram o desenvolvimento econômico e tecnológico ao longo dos séculos, cada uma trazendo inovações significativas que revolucionaram os processos de produção e a sociedade como um todo.

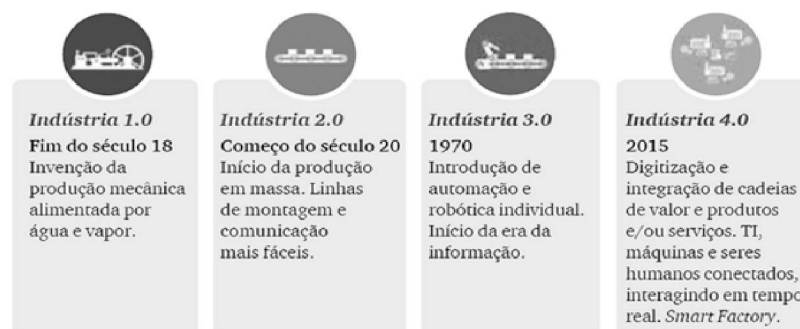
A Primeira Revolução Industrial, que ocorreu entre o final do século XVIII e o início do século XIX, foi impulsionada pela mecanização e pelo uso da energia a vapor. Esse período marcou a transição de uma economia agrária e artesanal para uma economia industrial e mecanizada. A invenção da máquina a vapor por James Watt foi um dos principais catalisadores dessa transformação. A mecanização possibilitou o aumento significativo da produtividade e a criação de fábricas, onde as máquinas realizavam tarefas antes feitas manualmente. Indústrias como a têxtil e a siderúrgica se expandiram rapidamente, e novas tecnologias, como o tear mecânico e a locomotiva a vapor, revolucionaram os métodos de produção e transporte Mokyr, (1990).

A Segunda Revolução Industrial, ocorrida entre o final do século XIX e o início do século XX, foi marcada por transformações significativas, como a eletrificação, a produção em massa e a introdução das linhas de montagem. A eletricidade emergiu como a principal fonte de energia, substituindo o vapor, e possibilitou o desenvolvimento de novas máquinas e processos industriais, Mokyr, (1998). Henry Ford foi um dos pioneiros da produção em massa, ao implementar a linha de montagem na fabricação de automóveis, o que resultou em uma redução drástica nos custos de produção e no tempo necessário para fabricar produtos Hounshell, (1984). Além disso, a divisão do trabalho tornou-se uma prática comum, onde tarefas complexas foram subdivididas em etapas simples, executadas por trabalhadores especializados Braverman, (1974).

A Terceira Revolução Industrial, iniciada na segunda metade do século XX, foi caracterizada pela automação e pela digitalização dos processos produtivos. A introdução de computadores e robôs programáveis nas fábricas transformou profundamente a maneira como os produtos eram fabricados Rifkin, (2011). A automação possibilitou maior precisão, eficiência e consistência na produção, reduzindo significativamente a necessidade de intervenção humana em tarefas repetitivas, Zuboff, (1988). Além disso, a digitalização facilitou a gestão de informações e o controle dos processos produtivos, permitindo uma integração mais eficiente entre diferentes etapas da produção Castells, (1996). Esse período também testemunhou o surgimento de tecnologias como a eletrônica, a informática e a comunicação digital, que não só revolucionaram a indústria, mas também impactaram os serviços e a sociedade como um todo Bell, (1973).

A Indústria 4.0, ou a Quarta Revolução Industrial, ver figura1 (evolução das indústrias) surge como uma continuação e ampliação das revoluções anteriores, integrando tecnologias avançadas como Internet das Coisas (IoT), inteligência artificial (IA), big data, robótica, computação em nuvem, manufatura aditiva e realidade aumentada Hermann, Pentek, & Otto, (2016). Esta nova fase é caracterizada pela criação de fábricas inteligentes, onde sistemas ciberfísicos monitoram e controlam os processos físicos, criando um ambiente de produção altamente flexível, eficiente e personalizado. A interconexão e a comunicação contínua entre máquinas, sistemas e produtos possibilitam uma produção descentralizada e decisões em tempo real, promovendo uma nova era de inovação e competitividade Schwab, (2017).

Figura 2 - Evolução das Indústrias



Fonte: Rômulo Machado (2024).

Para a implementação bem-sucedida da transformação da Indústria 4.0, três tecnologias principais e nove fundamentais são necessárias para fazer parte de todo o sistema.

Robótica adaptativa: Como consequência da combinação de microprocessadores e metodologias de IA, os produtos, máquinas e serviços se tornam mais inteligentes em termos de ter não apenas as habilidades de computação, comunicação e controle, mas também ter autonomia e sociabilidade.

Nesse sentido, robôs adaptáveis e flexíveis combinados com o uso de inteligência artificial proporcionam uma fabricação mais fácil de diferentes produtos ao reconhecer os segmentos inferiores de cada parte. Essa segmentação propõe proporcionar custos de produção decrescentes, reduzindo o tempo de produção e o tempo de espera nas operações. Além disso, robôs adaptáveis são úteis em sistemas de manufatura especialmente nas fases de projeto, manufatura e montagem, Wittenberg, (2015). Por exemplo, tarefas atribuídas são divididas em sub problemas mais simples e então são constituídos um conjunto de módulos para resolver cada sub problema. No final da conclusão de cada sub tarefa, a integração dos módulos para alcançar uma solução ótima é essencial.

Sistemas embarcados (infraestrutura física cibernética): Sistemas embarcados, chamados de Sistemas Ciberfísicos (CPS), podem ser explicados como tecnologia de suporte para a organização e coordenação de sistemas de rede entre sua infraestrutura física e capacidades computacionais. A este respeito, ferramentas físicas e digitais devem ser integradas e conectadas com outros dispositivos para alcançar ações descentralizadas. Em outras palavras, sistemas embarcados geralmente integram a realidade física com relação a funcionalidades inovadoras, incluindo computação e infraestrutura de comunicação Bagheri et al., (2015). Em geral, um sistema embarcado obtém dois requisitos funcionais principais:

(1) o nível avançado de rede para fornecer processamento de dados em tempo real da infraestrutura física e feedback de informações da estrutura digital;

(2) processamento inteligente de dados, tomada de decisão e capacidade computacional que suportam a infraestrutura física Lee et al. (2015). Para esse propósito, os sistemas embarcados consistem em tecnologias RTLS, sensores, atuadores, controladores e sistemas em rede dos quais dados ou informações estão sendo transformados e transferidos de todos os dispositivos. Além disso, a aquisição de informações pode ser derivada do processamento de dados e aquisição de dados

em termos de aplicação de inteligência computacional suportada por estratégias de aprendizagem, como raciocínio baseado em casos.

Fabricação aditiva: A fabricação aditiva é um conjunto de tecnologias emergentes que produz objetos tridimensionais diretamente de modelos digitais por meio de um processo aditivo, principalmente armazenando e unindo os produtos com polímeros, cerâmicas ou metais adequados. Em detalhes, a fabricação aditiva é iniciada pela formação de design auxiliado por computador (CAD) e modelagem que organiza um conjunto de recursos digitais do produto e envia descrições dos itens para máquinas industriais. As máquinas executam as descrições transmitidas como projetos para formar o item adicionando camadas de material. As camadas, que são medidas em microns, são adicionadas inúmeras vezes até que um objeto tridimensional surja. Matérias-primas podem estar na forma de um líquido, pó ou folha e são especialmente compostas de plásticos, outros polímeros, metais ou cerâmicas, Gaub, (2015). Nesse aspecto, a manufatura aditiva é composta de dois níveis como software de obtenção de objetos 3D e lado de aquisição de material.

Embora barreiras à tecnologia existente apareçam especialmente em processos de produção, há propriedades incomparáveis usando impressoras 3D e manufatura aditiva. Por exemplo, processos de manufatura aditiva superam mecanismos de manufatura convencionais para alguns produtos, incluindo moldagem de geometrias inicialmente impossíveis, como estruturas de treliça piramidal. Obviamente, o mecanismo de impressão reduz o desperdício de material ao utilizar apenas os materiais necessários Ford, (2014). Além disso, o sistema em rede composto de pedidos, seleção de moldagem por injeção também é necessário para monitorar as variáveis e parâmetros do processo em uma interface específica.

Os requisitos do cliente também estão envolvidos no design de fabricação e os componentes necessários para a fabricação dessas peças plásticas são reunidos com antecedência. A máquina de moldagem por injeção encapsula as lâminas de metal e o sistema de informações para recursos de design interconecta as etapas individuais do processo de design com operações adequadas do sistema de manufatura aditiva. Além disso, uma fase de marcação a laser também é adotada na linha de produção Gaub, (2015).

Tecnologias de nuvem: A operação baseada em nuvem é outro tópico essencial para a contribuição da integração de sistemas em rede na transformação da Indústria 4.0. O termo “nuvem” inclui computação em nuvem e fabricação e

design baseados em nuvem. A fabricação em nuvem implica a produção coordenada e vinculada que resulta na fabricação “disponível sob demanda”. A fabricação baseada em demanda usa a coleção de recursos de fabricação distribuídos para criar e operar processos de fabricação ciberfísicos reconfiguráveis. O objetivo principal é aumentar a eficiência reduzindo os custos do ciclo de vida do produto e permitindo a utilização ideal de recursos lidando com trabalhos focados no cliente de demanda variável Thames e Schaefer, (2017). De forma abrangente, as operações de design e fabricação baseadas em nuvem indicam modelos de desenvolvimento de produtos integrados e coletivos baseados em inovação aberta por meio de redes e plataformas de *crowdsourcing* Thames e Schaefer, (2017).

Como Consequência dos avanços nas tecnologias de nuvem, como a diminuição da quantidade de tempos de reação, os dados de fabricação serão cada vez mais praticados nos sistemas de nuvem que fornecem mais tomada de decisão baseada em dados para sistemas de serviço e produção Rübmann et al. (2015). Por outro lado, de acordo com o relatório “*From Industry 4.0 to Digitalizing Manufacturing*” enviado pelo *Manufacturing Technology Center*, questões de privacidade e segurança decorrentes de deficiências no sistema precisam ser consideradas e, em segundo lugar, necessidades extras de armazenamento, opções de pagamento e localização física devem ser cuidadosamente decididas com antecedência Wu et al., (2014).

Tecnologias de virtualização (Realidade Virtual (RV) e Realidade Aumentada (RA): As tecnologias de virtualização são baseadas em ferramentas de RA e RV que são intituladas a integração de reflexão suportada por computador de um ambiente do mundo real com informações adicionais e valiosas, Paelke, (2014). Em outras palavras, as informações virtuais podem ser abrangentes à apresentação do mundo real com o objetivo de enriquecer a percepção humana da realidade com objetos e elementos aumentados Syberfeldt et al., (2016).

Para esse propósito, os aplicativos de RV e RA existentes associam interfaces gráficas à visão do usuário do ambiente atual. O papel essencial das interfaces gráficas do usuário é que os usuários podem afetar diretamente as representações visuais dos elementos usando comandos que aparecem na tela e interagem com esses menus referenciados por feedbacks.

De acordo com esses propósitos, as tecnologias de visualização têm quatro requisitos funcionais: (i) captura de cena, (ii) identificação de cena, (iii)

processamento de cena, (iv) visualização de cena. Assim, hardware como dispositivos portáteis, sistemas de visualização estacionários, sistemas de visualização espacial, visores montados na cabeça, óculos inteligentes e lentes inteligentes são utilizados para implementação. Por outro lado, os principais desafios para a adaptação de casos de visualização apresentam o ambiente com objetos realistas para melhor experiência do usuário, adicionando informações necessárias por meio de meta gráficos e enriquecendo a percepção dos usuários por saturação de cor e contraste. A esse respeito, as abordagens para visores de tecnologias de visualização são baseadas em três focos: (i) adaptação baseada em vídeo suportada pela câmera que auxilia na informação aumentada, (ii) adaptação óptica que o usuário fornece informações usando um visor especial e (iii) projeção de objetos declarados, Paelke, (2014).

Simulação: Antes da aplicação de um novo paradigma, o sistema deve ser testado e as reflexões devem ser cuidadosamente consideradas. Assim, tipos diversificados de simulação incluindo eventos discretos e simulação de movimento 3D podem ser realizados em vários casos para melhorar o planejamento do produto ou processo, Kühn, (2006). Por exemplo, a simulação pode ser adaptada no desenvolvimento de produtos, teste e otimização, desenvolvimento e otimização do processo de produção e projeto e melhoria de instalações.

Na perspectiva da Indústria 4.0, a simulação pode ser avaliada como uma ferramenta de suporte para acompanhar as reflexões coletadas de várias alterações de parâmetros e permite a visualização na tomada de decisões. Portanto, as ferramentas de simulação podem ser usadas com outras tecnologias fundamentais da Indústria 4.0. Por exemplo, a integração CAD baseada em simulação garante o funcionamento de sistemas CAD múltiplos e diferentes alterando parâmetros críticos. Além disso, a simulação pode refletir cenários hipotéticos para melhorar a robustez dos processos. Especialmente para fábricas inteligentes, a simulação virtual permite a avaliação de regras de planejamento autônomo de acordo com a robustez do sistema Tideman et al., (2008).

Análise de Dados: Em consequência de as empresas de manufatura começarem a adotar tecnologias avançadas de informação e conhecimento para facilitar seu fluxo de informações, uma enorme quantidade de dados em tempo real relacionados à manufatura é acumulada de várias fontes. Os dados coletados que ocorrem durante os processos de P&D, produção, operações e manutenção estão

aumentando em velocidade exponencial, Zhang et al., (2016). Em particular, a integração e o processamento de dados na Indústria 4.0 são aplicados para melhorar uma adaptação fácil e altamente escalável para análise de desempenho baseada em fluxo de dados de máquinas e processos em rede, Blanchet et al., (2014). Os dados aparecem em grande volume, precisam ser processados rapidamente e exigem a combinação de várias fontes de dados em formatos diversificados. A análise de todos esses dados pode trazer vantagem competitiva significativa para as empresas que são capazes de avaliar significativamente todos os processos, Obitko e Jirkovský, (2015).

Algumas das abordagens de mineração de dados combinadas com máquinas de vetores de suporte, algoritmo de árvore de decisão, redes neurais, algoritmos heurísticos são aplicados com sucesso para classificação de cluster e casos de aprendizado profundo. Além disso, as abordagens de mineração de dados são geralmente combinadas com métodos de pesquisa operacional incluindo programação inteira mista e programação estocástica. Por exemplo, problemas de visualização de dados causados por dados de alta dimensão são especialmente enfrentados no gerenciamento de big data e para superar esse problema, a adaptação de formulações de problemas de atribuição quadrática é necessária com antecedência.

Ao contrário do processamento de dados em bancos de dados relacionais, três funções devem ser consideradas para construir uma infraestrutura de big data que possa operar com sucesso com componentes da Indústria 4.0: (i) Aquisição e integração de big data (ii) Processamento e armazenamento de big data (iii) Mineração de big data e descoberta de conhecimento em banco de dados. A fase de aquisição e integração de big data inclui coleta de dados de leitores RFID, sensores inteligentes e etiquetas RFID etc. O processamento e armazenamento de big data configuram dados em tempo real e não em tempo real como uma forma de dados estruturados e não estruturados por meio de limpeza, transformação e integração. Finalmente, a mineração de big data é adotada por meio de agrupamento, classificação, associação e previsão usando árvores de decisão, algoritmo genético, máquinas de vetores de suporte e teoria de conjuntos aproximados para mineração de big data e descoberta de conhecimento. Particularmente, a mineração de big data não requer apenas uma certa compreensão do aplicativo correto, mas também requer lidar com dados não estruturados. Assim, uma grande quantidade de

preparação de dados, incluindo a especificação de variáveis substanciais e a extração de dados apropriados, é conduzida para fazer previsões e classificações precisas, Zhang et al., (2016).

Comunicação e Rede (Internet Industrial): Comunicação e rede podem ser descritas como um link entre sistemas físicos e distribuídos que são definidos individualmente. Usando ferramentas e dispositivos de comunicação, as máquinas podem interagir para atingir metas dadas, focar na incorporação de sensores inteligentes em ambientes e processos do mundo real. A Internet Industrial das Coisas (IIoT) depende em objetos inteligentes e redes inteligentes e também permite a integração de objetos físicos à rede em processos de fabricação e serviço. Em outras palavras, o principal objetivo da IIoT é fornecer computadores e máquinas para ver e sentir as aplicações do mundo real que podem fornecer conectividade a qualquer hora, em qualquer lugar para qualquer pessoa para qualquer coisa Ierc, (2011).

Os principais requisitos para comunicação e rede são listados como (i) computação distribuída e computação paralela para processamento de dados, (ii) Protocolo de Internet (IP), (iii) tecnologia de comunicação, (iv) dispositivos incorporados, incluindo etiquetas RFID ou Redes de Sensores Sem Fio (WSN) e (v) aplicação, Borgia, (2014). Além desses requisitos, Uckelmann et al., (2011) adicionaram Internet das Pessoas e Intranet/Extranet das Coisas para refletir a integridade das partes internas do negócio nelas e aprimorar a orientação de serviço com contiguidade efetiva de outros dispositivos. Por outro lado, a questão principal para o período de integração é a construção de padrões para a comunicação de vários dispositivos. As empresas também enfrentam outro problema, falhas de segurança, conforme percebido em questões de privacidade, Zuehlke, (2010).

A determinação do status físico de objetos por meio de sensores e integração de tecnologias Web 2.0 pode causar a enorme coleta e processamento de dados operacionais, permite resposta em tempo real como uma reação ao status das coisas, Ierc, (2011). Hoje, a interoperabilidade com plataformas de processamento de big data pode fornecer serviços baseados em agentes, análises em tempo real e sistemas de inteligência empresarial, o que é essencial para redes.

Considerando os avanços de fabricação suportados por tecnologias de comunicação e de rede, as indústrias de fabricação estão prontas para melhorar os processos de produção com análises de big data para aproveitar a vantagem de

maior desempenho computacional com padrões abertos e obter a disponibilidade de know-how da indústria com antecedência, Pittaway et al., (2004). Como resultado da penetração da inteligência de fabricação, os fabricantes podem melhorar a qualidade, aumentar a produção de fabricação. Esse conhecimento fornece melhores insights para detectar a causa raiz dos problemas de produção e mapeamento de defeitos, monitorar o desempenho da máquina e reduzir falhas e tempo de inatividade da máquina. Portanto, IIoT ou sistemas comunicativos não são apenas considerados como uma tecnologia da Indústria 4.0, mas também avaliados como uma “capa” que contém muitos recursos das ferramentas da Indústria 4.0, Ierc, (2011).

Tecnologias RTLS e RFID: A *Smart Factory* tem algumas operações críticas, como logística inteligente, transporte e armazenamento, satisfazendo a coordenação eficiente de sistemas embarcados e logística de informações. Essas operações incluem identificação, detecção de localização e monitoramento de condições de objetos e recursos dentro da organização e em toda a empresa usando tecnologias Auto-ID. A agregação e processamento dos dados em tempo real coletados de processos de produção e vários recursos ambientais auxiliam na integração das funções da organização e permitem auto tomada de decisão das máquinas e outros dispositivos inteligentes. Assim, identificação por radiofrequência (RFID) e sistemas de localização em tempo real (RTLS) podem gerar valor em operações de fabricação e logística, como Uckelmann, (2008) descreveu os conceitos básicos de sistemas de monitoramento em tempo real da seguinte maneira:

- Identificação — especialmente RFID com leitura única e em massa,
- Localização — RTLS como GPS e outros,
- Detecção — por exemplo, sensores de temperatura e umidade.

A este respeito, a possibilidade de rastreamento baseado em itens para processos logísticos (por exemplo, controle de mercadorias recebidas) e também essencial para processos de produção (por exemplo, controle de peças corretas montadas) garante a automação dos processos existentes e remanufatura de peças. Assim, os profissionais adaptam amplamente as tecnologias baseadas em RTLS e RFID para implementação bem-sucedida de fábricas e processos inteligentes.

Os resultados dos sistemas baseados em RTLS e RFID aparecem da seguinte forma:

- Produção otimizada de um produto em um grande número de versões,

- Funcionalidade e flexibilidade aprimoradas da linha de montagem,
- Um alto grau de transparência de dados,
- Fluxo de dados em tempo real para permitir suporte rápido aos trabalhadores.

Segurança cibernética: Conforme mencionado nas seções anteriores, a transformação da Indústria 4.0 exige atividades intensivas de coleta e processamento de dados. Portanto, a segurança dos processos de armazenamento e transferência de dados é um conceito fundamental para as empresas. A segurança deve ser fornecida em tecnologias de nuvem, máquinas, robôs e sistemas automatizados considerando os seguintes problemas segundo Costa, (2024)

- Segurança das tecnologias de exportação de dados;
- Regulamentações de privacidade e padronização de protocolos de comunicação;
- Nível de autorização pessoal para compartilhamento de informações;
- Detecção e reação a mudanças inesperadas e acesso não autorizado por algoritmos padronizados.

Para evitar os resultados desses problemas, a recuperação operacional, a educação do usuário final, a segurança da rede e a segurança da informação devem ser garantidas por programas de resposta a incidentes cibernéticos, recuperação de operação crítica e detecção de nível de autorização.

Outras ações preventivas podem ser controles de acesso de conta de usuário, firewalls, sistemas de detecção de intrusão e testes de penetração que usam os scanners de vulnerabilidade.

Os benefícios dos sistemas de segurança cibernética são fornecidos da seguinte forma segundo, Souza, (2024)

- Algoritmos de criptografia para proteção baseada em hardware,
- Protocolos de comunicação confiáveis entre sensores, dispositivos e máquinas habilitados usando assinatura digital e certificados,
- Modelos de licenciamento flexíveis e detecção de nível de autorização,
- Automação de *back office* mais rápida com a integração perfeita de licenças em todos os principais sistemas de CRM, ERP e e-commerce (Machinery and Equipment Manufacturers Association, - Vdma, 2016).

Sensores e atuadores: Sensores e atuadores são a tecnologia básica para sistemas embarcados, pois todo o sistema obtém uma unidade de controle, geralmente um ou mais microcontroladores, que monitoram os sensores e atuadores necessários para interagir com o mundo real. Na adaptação industrial da Indústria 4.0, os sistemas embarcados consistem de forma semelhante em uma unidade de controle, vários sensores e atuadores, que são conectados à unidade de controle por meio de barramentos de campo, Alberto, (2023).

A unidade de controle realiza a função de processamento de sinal em tais sistemas. Como sensores e atuadores inteligentes foram desenvolvidos para condições industriais, os sensores lidam com o processamento do sinal e os atuadores verificam independentemente o status atual da produção e o corrigem, se necessário. Esses sensores transmitem seus dados para uma unidade de controle central, por exemplo, por meio de barramentos de campo. Nesse sentido, sensores e atuadores podem ser definidos como os elementos centrais para sistemas embarcados inteiros, Jazdi, (2014).

Os benefícios dos sensores e atuadores são:

- Rastreamento em tempo real ao longo de todos os sistemas de produção ou serviço,
- Documentação e coleta de dados contínuas para dar suporte a análises de big data, aprendizado profundo e extração de conhecimento,
- Disponibilidade enriquecida do sistema por meio do monitoramento de condições, (Machinery and Equipment Manufacturers Association, - Vdma, 2016).

Tecnologias móveis: Os dispositivos móveis fizeram um progresso significativo depois que esses dispositivos foram introduzidos pela primeira vez e agora são muito mais do que apenas ferramentas básicas de comunicação. Esses dispositivos garantem que a Internet habilite o recebimento e o processamento de grandes quantidades de informações e são fornecidos com câmeras e microfones de alta qualidade, o que novamente permite que eles gravem e transmitam informações. Considerando a implementação da comunicação e da rede na adaptação da Indústria 4.0, a conectividade com objetos inanimados permite que as empresas se comuniquem entre si. Quando os dispositivos móveis se tornam habilitados para a Internet e enriquecidos pela tecnologia Wi-Fi, eles chegam à mesma plataforma que outros equipamentos de processo. Essa situação implica que os dispositivos móveis podem receber e transmitir dados relacionados ao processo

com antecedência e permitir que os usuários abordem os problemas à medida que lidam com a tomada de decisões em tempo real. Usando tecnologias móveis, os problemas agora podem ser reconhecidos e lidados mais rapidamente, pois as informações se movem com maior velocidade na posição correta. Os dispositivos móveis agora são usados de forma prática e capazes de interagir com equipamentos de processo, materiais, produtos acabados e peças por meio da IIoT. Antes de implementar a Indústria 4.0, os princípios de design devem ser levados em consideração. Os princípios de design fornecem a adaptação abrangente de todo o sistema e permitem a coordenação entre os componentes da Indústria 4.0, algumas das tecnologias que apoiam a Indústria 4.0, (Figura 3)

Nos princípios de design Hermann et al., (2016), que apareceram na aplicação e implementação da Indústria 4.0 como: Agilidade, Interoperabilidade, Virtualização, Descentralização, Gerenciamento de dados em tempo real, Orientação de serviço e Processos de negócios integrados. A interoperabilidade implica a comunicação de componentes de sistemas físicos cibernéticos entre si usando a Internet Industrial e processos de padronização regulares para criar uma fábrica inteligente. Além disso, a virtualização permite o monitoramento de todo o sistema, a adaptação de novos sistemas e as mudanças no sistema usando ferramentas de simulação ou realidade aumentada. Descentralização é um termo chave para auto decisão das máquinas e depende do aprendizado de eventos e ações anteriores.

O gerenciamento de dados em tempo real é o rastreamento e o rastreamento do sistema por meio de monitoramento on-line para evitar falhas no sistema quando uma falha aparece. A orientação de serviço é a satisfação dos requisitos do cliente, adaptação a todo o sistema usando uma perspectiva de integração de subsistemas internos e externos. O processo de negócios integrado é o elo entre sistemas físicos e plataformas de software, permitindo o mecanismo de comunicação e coordenação auxiliado por serviços de gerenciamento de dados corporativos e redes conectadas. Último princípio, agilidade significa a flexibilidade do sistema para alterar os requisitos, substituindo ou aprimorando módulos separados com base em interfaces padronizadas de software e hardware, Hermann et al., (2016).

Figura 3 - Indústria 4.0 - framework e tecnologias digitais colaborativas



Fonte: Framework Tecnologias Digitais – PWC Pesquisa Global Industria, página 8.

A indústria 4.0 não se limita apenas à otimização dos processos de produção; ela também está transformando significativamente o desenvolvimento de produtos. Integrando tecnologias avançadas e digitalização, a Indústria 4.0 está revolucionando todas as etapas do ciclo de vida do produto, desde a concepção até a produção e o pós-venda. Esta transformação oferece vantagens como maior eficiência, personalização, redução de custos e tempos de desenvolvimento mais curtos. Uma das principais inovações trazidas pela Indústria 4.0 ao desenvolvimento de produtos é a utilização de design assistido por computador e simulações virtuais. Essas ferramentas permitem que engenheiros e designers criem, testem e modifiquem modelos digitais de produtos antes de passarem para a produção física. A prototipagem virtual reduz significativamente o tempo e os custos associados ao desenvolvimento de protótipos físicos, permitindo ajustes rápidos e iterativos, Gorecky et al., (2014).

2.4 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL (IA)

A inteligência artificial (IA) é uma área da ciência da computação que busca criar sistemas capazes de realizar tarefas que, normalmente, exigiriam inteligência

humana. Segundo Stuart, (2016) abordam que a IA pode ser definida como o estudo de agentes que recebem percepções do ambiente e realizam ações.

Também como a ciência e a engenharia de fazer máquinas inteligentes acreditava-se que a IA poderia simular aspectos do comportamento humano, como a aprendizagem e a resolução de problemas.

Essas definições demonstram a diversidade de abordagens e perspectivas dentro do campo da IA, que continua a evoluir rapidamente, impulsionada por avanços em áreas como aprendizado de máquina, processamento de linguagem natural e robótica.

2.4.1 A evolução da inteligência artificial na indústria

A inteligência artificial (IA) é um campo da ciência da computação dedicado ao desenvolvimento de sistemas capazes de realizar tarefas que, normalmente, exigem inteligência humana. A trajetória da IA é marcada por avanços teóricos e tecnológicos que se entrelaçam com a evolução da computação e da matemática.

Ela tem transformado diversos setores industriais ao longo das últimas décadas, promovendo avanços significativos em eficiência, produtividade e inovação. Desde suas primeiras aplicações até as tecnologias avançadas de hoje, a IA tem desempenhado um papel crucial na revolução industrial moderna.

As primeiras ideias sobre a possibilidade de máquinas pensantes remontam à antiguidade, com mitos e histórias sobre autômatos e entidades artificiais. No entanto, foi no século XX que a IA começou a se consolidar como um campo científico. Em 1950, Alan Turing, um matemático e lógico britânico, publicou um artigo seminal intitulado "Computing Machinery and Intelligence". Onde Turing propôs o "Teste de Turing" como um critério para determinar se uma máquina poderia exibir comportamento inteligente indistinguível do humano.

O termo "inteligência artificial" foi cunhado em 1956, durante a Conferência de *Dartmouth*, organizada por *John McCarthy*, *Marvin Minsky*, *Nathaniel Rochester* e *Claude Shannon*. Esse evento é frequentemente considerado o ponto de partida oficial da IA como disciplina científica. A conferência reuniu pesquisadores interessados na criação de máquinas capazes de simular qualquer aspecto da aprendizagem ou inteligência humana.

Ainda durante as décadas de 1950 e 1960, a IA experimentou um período de otimismo. Pesquisadores desenvolveram programas capazes de resolver problemas matemáticos, jogar xadrez e provar teoremas. Um dos primeiros sistemas de IA foi o "*Logic Theorist*", criado por Allen Newell e Herbert A. Simon, que podia provar teoremas de lógica formal

Já as aplicações da IA na indústria começaram a ganhar destaque nas décadas de 1980 e 1990, quando sistemas especializados e robôs industriais foram introduzidos em linhas de produção.

Apesar dos primeiros sucessos, a IA encontrou vários desafios práticos. Sistemas baseados em regras e lógica formal se mostraram limitados quando aplicados a problemas do mundo real, que frequentemente envolvem incerteza e ambiguidades. Nos anos 1970 e 1980, houve uma diminuição significativa no financiamento e no interesse pela pesquisa em IA, período conhecido como o "Inverno da IA". Durante esse tempo, muitos projetos promissores foram abandonados devido à falta de resultados concretos.

O renascimento da IA começou na década de 1990 com o aumento do poder computacional e o desenvolvimento de novos métodos, como redes neurais artificiais e algoritmos de aprendizado de máquina. Em 1997, o programa de xadrez *Deep Blue* da IBM derrotou o campeão mundial Garry Kasparov, marcando um momento histórico para a IA.

Na década de 2000, a IA começou a ser utilizada para melhorar o controle de qualidade e a automação dos processos industriais. Russell e Norvig, (2009).

No século XXI, o avanço das técnicas de aprendizado profundo (deep learning) revolucionou o campo. Algoritmos capazes de aprender a partir de grandes quantidades de dados, como redes neurais profundas, começaram a superar o desempenho humano em diversas tarefas. Exemplos notáveis incluem o sistema de reconhecimento de imagens do *Google* e o *AlphaGo*, da *DeepMind*, que derrotou campeões mundiais no complexo jogo de Go.

A IA está presente e suas aplicações abrangem diversas áreas, incluindo saúde, finanças, transporte e entretenimento. Assistentes virtuais como *Siri* e *Alexa*,

sistemas de recomendação de conteúdo e veículos autônomos são apenas algumas das inovações impulsionadas pela IA.

2.4.2 A inteligência artificial e a indústria

A inteligência artificial (IA) tem transformado diversos setores industriais ao longo das últimas décadas, promovendo avanços significativos em eficiência, produtividade e inovação. Desde suas primeiras aplicações até as tecnologias avançadas de hoje, a IA tem desempenhado um papel crucial na revolução industrial moderna.

A IA na indústria começaram a ganhar destaque nas décadas de 80 e 90, com sistemas especializados e robôs industriais nas linhas de produção. Esses sistemas eram projetados para realizar tarefas específicas, como montagem e inspeção, com uma precisão e consistência superiores às capacidades humanas. De acordo com, Nilsson, (1998), os sistemas especialistas, que utilizam regras baseadas em conhecimento para tomar decisões, foram amplamente adotados em setores como a manufatura e a automação.

Na década de 2000, a IA passou a ser utilizada para melhoria do controle de qualidade e a automação dos processos industriais. Essa introdução de redes neurais e algoritmos de aprendizado de máquina permitiu que máquinas e sistemas aprendessem a partir de dados, melhorando continuamente seu desempenho. Russell e Norvig, (2009) destacam que esses avanços permitiram a implementação de sistemas de visão computacional para a inspeção de produtos, reduzindo significativamente os erros e aumentando a eficiência das linhas de produção.

2.4.3 Era da Indústria 4.0

Com o advento da Indústria 4.0, a integração da IA com a Internet das Coisas (*IoT*), big data e tecnologias de computação em nuvem tornou-se uma realidade. Esta nova era é caracterizada pela interconectividade e automação total dos processos industriais. Segundo Schwab, (2016), a Indústria 4.0 está transformando fábricas em "fábricas inteligentes", onde sistemas ciberfísicos monitoram processos físicos, criando uma cópia virtual do mundo físico e tomando decisões descentralizadas.

2.4.4 IA em Manutenção Preditiva

Um dos avanços mais significativos trazidos pela IA na indústria é a manutenção preditiva. Algoritmos de aprendizado de máquina analisam grandes volumes de dados provenientes de sensores instalados em máquinas para prever falhas antes que elas ocorram. Essa abordagem não só reduz o tempo de inatividade e os custos de manutenção, mas também aumenta a vida útil dos equipamentos. De acordo com Lee et al., (2014), a manutenção preditiva baseada em IA tem se mostrado essencial para garantir a continuidade operacional e otimizar os recursos na indústria.

Outro desenvolvimento importante é a robótica avançada e colaborativa. Robôs equipados com IA são capazes de trabalhar ao lado de humanos de forma segura e eficiente, adaptando-se às mudanças no ambiente e aprendendo novas tarefas. Bogue, (2016) aponta que os "cobots" (robôs colaborativos) são cada vez mais comuns em fábricas, realizando tarefas que exigem precisão e repetitividade, ao mesmo tempo em que liberam os trabalhadores humanos para funções mais complexas e criativas.

Apesar dos avanços, a implementação da IA na indústria enfrenta desafios, como a necessidade de grandes quantidades de dados de alta qualidade e a integração com sistemas legados. Além disso, questões éticas e de segurança também são preocupações importantes. No entanto, a tendência é que a IA continue a evoluir e a desempenhar um papel central na transformação digital das indústrias. Segundo Davenport e Ronanki, (2018), o futuro da IA na indústria promete ainda mais inovação, com o desenvolvimento de tecnologias como a inteligência artificial explicável (XAI) e a IA de próxima geração.

A evolução da inteligência artificial na indústria tem sido marcada por avanços notáveis que transformaram processos produtivos e operacionais. Desde as primeiras aplicações de sistemas especializados até a era da Indústria 4.0, a IA continua a ser uma força motriz na busca por maior eficiência, precisão e inovação. A contínua integração da IA com outras tecnologias emergentes promete moldar o futuro da indústria de maneiras ainda mais profundas e impactantes.

2.4.5 Uso da Inteligência Artificial na Gestão de Otimização de Tempo

A inteligência artificial (IA) tem emergido como uma ferramenta essencial na gestão de otimização de tempo em diversos setores industriais. A aplicação de IA permite não apenas a automação de processos, mas também a análise preditiva e a tomada de decisões mais eficientes, impactando diretamente na redução do tempo de desenvolvimento de produtos. A IA pode ser utilizada para reduzir significativamente o tempo de desenvolvimento de produtos de uma linha de componentes automotivos em uma empresa por exemplo.

A indústria automotiva enfrenta desafios constantes relacionados à necessidade de inovar rapidamente e colocar novos produtos no mercado. Uma empresa, especializada na produção de componentes automotivos, a necessidade urgente de reduzir o tempo de desenvolvimento de seus produtos para se manter competitiva. Esse desafio inclui a integração de novos materiais, tecnologias e design, além de atender às rigorosas normas de qualidade e segurança do setor.

A IA pode ser aplicada na gestão de projetos de desenvolvimento de produtos através de várias técnicas, incluindo aprendizado de máquina, algoritmos de otimização e análise preditiva. De acordo com Chien e Chen, (2010), a aplicação de sistemas de IA na gestão de projetos pode ajudar a prever atrasos, alocar recursos de maneira eficiente e otimizar cronogramas de produção. Esses sistemas utilizam dados históricos e em tempo real para ajustar os planos de projeto dinamicamente, reduzindo assim o tempo total de desenvolvimento.

Uma das maneiras mais diretas pelas quais a IA pode ajudar na redução do tempo de desenvolvimento é através da automação de tarefas repetitivas e demoradas. Robôs equipados com IA podem realizar tarefas de montagem, testes e inspeção com precisão e velocidade superiores às capacidades humanas. Segundo Brougham e Haar, (2018), a automação robótica de processos (RPA) permite que as empresas acelerem significativamente seus ciclos de produção, eliminando gargalos e reduzindo o tempo de inatividade.

Na análise preditiva, utilizando algoritmos de aprendizado de máquina, permite prever falhas em equipamentos e planejar manutenções preventivas de maneira eficiente. Para uma empresa, isso significa menos interrupções não planejadas e maior tempo de operação das linhas de produção. De acordo com Lee et al. (2014), a manutenção preditiva pode reduzir o tempo de inatividade em até 50%, impactando diretamente a eficiência do desenvolvimento de produtos.

A IA também pode otimizar a gestão da cadeia de suprimentos, um aspecto crucial no desenvolvimento de novos produtos. Algoritmos de IA podem prever demandas, gerenciar estoques e otimizar a logística de suprimentos, garantindo que os materiais necessários estejam disponíveis exatamente quando necessário. Chopra e Meindl, (2016) destacam que a otimização da cadeia de suprimentos pode reduzir significativamente o tempo de desenvolvimento de produtos ao eliminar atrasos na obtenção de componentes críticos.

Outra aplicação emergente da IA no desenvolvimento de produtos é o design generativo, onde algoritmos de IA criam e testam automaticamente milhares de variações de design para encontrar a solução mais eficiente e inovadora. Segundo Rosen et al., (2015), essa abordagem permite explorar rapidamente um espaço de design vasto, identificando soluções que um designer humano pode não considerar, acelerando o processo de desenvolvimento e melhorando a qualidade final do produto.

2.5 AUTOMAÇÃO DE TAREFAS

A automação de tarefas na indústria tem uma longa e rica história que se entrelaça com o desenvolvimento tecnológico e a busca contínua por eficiência e produtividade. Desde os primeiros dispositivos mecânicos até os sofisticados sistemas de automação controlados por inteligência artificial de hoje, a evolução da automação industrial reflete uma progressiva complexidade e capacidade tecnológica.

Os primeiros passos na automação industrial ocorreram durante a Revolução Industrial no final do século XVIII e início do século XIX. A invenção de máquinas a vapor e de dispositivos mecânicos, como o *tear de Jacquard*, que utilizava cartões perfurados para controlar padrões de tecido, marcou o início da automação na

manufatura têxtil, Ashton, (1997). Essas inovações reduziram a necessidade de intervenção manual e aumentaram significativamente a produção.

No século XX, a introdução da eletricidade transformou a automação industrial. O desenvolvimento de motores elétricos e sistemas de controle automático permitiu maior precisão e eficiência. Os primeiros controladores lógicos programáveis (PLC), introduzidos na década de 1960, representaram um avanço significativo, permitindo a automação de processos complexos através de instruções programáveis, Bryan & Bryan, (1997). Este avanço possibilitou a criação de linhas de produção automatizadas em massa, especialmente na indústria automobilística.

Com a chegada da computação na segunda metade do século XX, a automação industrial deu um salto qualitativo. Os sistemas de controle numérico (CNC) e a introdução de robôs industriais, como o Unimate, em 1961, revolucionaram a produção industrial, Dorf & Kusiak, (1994). Esses robôs eram capazes de realizar tarefas repetitivas com alta precisão, aumentando a produtividade e a qualidade dos produtos. A robótica se tornou uma parte integral da manufatura, especialmente nas montadoras de automóveis.

No final do século XX e início do século XXI, a integração da inteligência artificial (IA) com sistemas de automação trouxe novos níveis de eficiência e adaptabilidade. A IA permite que os sistemas automatizados aprendam e se adaptem a novas situações, melhorando continuamente seu desempenho, Russell & Norvig, (2009). Tecnologias como aprendizado de máquina e visão computacional são agora comuns em sistemas de inspeção de qualidade e manutenção preditiva.

A IA pode ser utilizada em várias fases do desenvolvimento de produtos para otimizar o tempo, durante a fabricação, robôs colaborativos (cobots) podem trabalhar ao lado de humanos, realizando tarefas repetitivas e complexas com alta precisão, reduzindo significativamente o tempo de montagem, Bogue, (2016).

A indústria automotiva, desde seus primórdios, tem sido palco de inovações tecnológicas que impulsionam a produção e moldam o futuro da mobilidade. Entre essas inovações, a automação de tarefas se destaca como um elemento crucial para a otimização da produção, o aumento da competitividade e a abertura de portas para novos patamares de eficiência e qualidade. Este trabalho apresenta um estudo abrangente da automação na indústria automotiva, traçando sua história, evolução,

impactos, desafios e papel fundamental na otimização do tempo de desenvolvimento de produtos.

A história da automação na indústria automotiva traz em seu início da produção em série, com a introdução de linhas de montagem e ferramentas mecanizadas no início do século XX, Yong, (2005). Pioneiros como Henry Ford impulsionaram a adoção de métodos padronizados e repetitivos, abrindo caminho para a automação de tarefas manuais simples, Clark, (2008).

Décadas mais tarde, a automação evoluiu significativamente com o advento de tecnologias como robótica, controle numérico computadorizado (CNC) e sistemas de manufatura assistida por computador (CAM), Hollick, (2005). Essas tecnologias permitiram a automação de tarefas mais complexas, como soldagem, pintura e montagem de componentes, com maior precisão, flexibilidade e produtividade, Hermann, (2016).

A automação revolucionou a indústria automotiva, impulsionando a eficiência e a produtividade em diversos níveis. A implementação de robôs em linhas de montagem reduziu significativamente o tempo de ciclo e os erros humanos, enquanto sistemas de controle automatizados otimizaram o uso de recursos e a qualidade dos produtos finais, Bryan, (2017). Estudos demonstram que a automação pode aumentar a produtividade em até 30% e reduzir custos em até 20%, Näslund, (2016).

Diversas empresas automotivas ao redor do mundo colhem os frutos da automação com sucesso. A Toyota, por exemplo, é referência em sua produção lean com automação integrada, alcançando altos níveis de eficiência e qualidade, Womack, (2010). Já a Volkswagen utiliza robôs colaborativos para auxiliar trabalhadores em tarefas complexas, promovendo a segurança e a produtividade, Robotics & Automation, (2019).

Apesar dos benefícios, a automação na indústria automotiva também apresenta desafios e limitações. O alto custo inicial de implementação, a necessidade de mão de obra qualificada para operar e manter os sistemas automatizados e o potencial impacto no emprego são alguns dos principais desafios, Frey & Osborne, (2013). Além disso, a rigidez de alguns sistemas automatizados pode dificultar a adaptação a mudanças rápidas na demanda ou no design dos produtos.

A automação se tornou uma ferramenta essencial para a otimização do tempo de desenvolvimento de produtos na indústria automotiva. Através da automação de tarefas repetitivas e propensas a erros, as empresas podem liberar tempo para atividades mais estratégicas, como inovação, design e testes, Zhang & Wang, (2016). A Ford, por exemplo, reduziu o tempo de desenvolvimento de um novo modelo de carro em 50% utilizando ferramentas de simulação e prototipagem virtual automatizadas, IndustryWeek, (2018).

2.5.1 Creo Parametric 6

Creo Parametric 6 é um software construído e utilizado na engenharia e no design assistido por computador. Desenvolvido pela PTC, este software representa uma evolução significativa nas ferramentas de modelagem 3D, oferecendo uma interface intuitiva e funcionalidades avançadas que atendem tanto às necessidades de iniciantes quanto de profissionais experientes. Com recursos como a modelagem paramétrica, a simulação de desempenho e a gestão de dados de produto, o Creo Parametric 6 não é apenas uma plataforma de criação, mas uma ferramenta que visa otimizar o processo de desenvolvimento de produtos. Ao longo deste ensaio, serão discutidos os principais recursos, as aplicações práticas no setor industrial e os benefícios que a adoção deste software pode proporcionar às empresas, ressaltando sua relevância no atual cenário tecnológico.

Ele representa um avanço significativo no universo dos softwares CAD, proporcionando uma plataforma robusta para o design e modelagem tridimensional. Sua interface intuitiva e suas funcionalidades avançadas permitem que engenheiros e designers desenvolvam produtos com maior eficiência e precisão. Uma das características marcantes da versão 6 é a automação dos processos de verificação, que não só melhora a qualidade dos modelos, mas também contribui para a agilidade do fluxo de trabalho, aspecto vital em projetos de engenharia contemporâneos. Nesse contexto, a evolução das técnicas de modelagem é essencial, pois a qualidade dos modelos impacta diretamente a capacidade de modificação e a agilidade dos sistemas de engenharia (Paukkunen et al., 2018). Ademais, a aplicação do Creo Parametric 6 em situações práticas, como a criação de dispositivos de montagem, ilustra sua relevância em ambientes industriais (Moore et al., 2021). Isso consagra o software como uma ferramenta essencial para a inovação e a competitividade no setor.

No contexto do desenvolvimento de produtos e modelagem de peças, o Creo Parametric 6 se destaca por seus recursos avançados que facilitam a automação e a precisão no design. A integração de ferramentas como o modelamento paramétrico e a análise de superfície permite que os engenheiros desenvolvam peças com complexidade geométrica de maneira eficiente, minimizando a intervenção humana e, conseqüentemente, os erros comuns no processo de design. Além disso, recursos como simulação de carga e análise de tensões contribuem para validar o desempenho das peças antes da produção, assegurando sua funcionalidade em aplicações práticas. Esse enfoque na eficiência também é respaldado por sistemas de produção que utilizam componentes de baixo custo, facilitando a adaptação em indústrias emergentes, como discutido em K. Harish, et al., (2015). O uso dessas tecnologias não apenas melhora a produtividade, mas também possibilita inovações em campos variados, incluindo a engenharia biomédica, como evidenciado em Qian et al., (2019).

A versão mais recente do Creo Parametric 6 trouxe uma série de melhorias significativas e ferramentas inovadoras que visam otimizar a experiência do usuário e ampliar a funcionalidade do software. Entre as principais novidades, destaca-se a implementação de novas estratégias de design assistido por computador (CAD), que não apenas melhoram a eficiência do processo, mas também facilitam a incorporação de feedback de clínicos e pacientes no design de próteses, como observado em estudos da Loughborough University. A pesquisa revela que a interface do corpo com a prótese é essencial para o conforto do usuário, sendo um ponto crítico frequentemente negligenciado por sistemas CAD tradicionais Troy L Bodkin, (2017). Assim, as atualizações em Creo Parametric 6 focam em criar um fluxo de trabalho híbrido, conforme descrito em Bibb et al., (2017), que permite explorar soluções emergentes e adaptar o design às variações de tamanho e forma do membro residual.

A versatilidade do Creo Parametric 6 se reflete em suas diversas aplicações nos campos do design e da engenharia. Este software oferece suporte não apenas para modelagem tridimensional, mas também para a parametrização de projetos, que é fundamental para atender a requisitos específicos de peso, volume e espaço. Através da implementação de parâmetros, designers podem modificar modelos de forma interativa, resultando em atualizações automáticas e uma significativa redução

do tempo dedicado a iterações, conforme ressalta a importância das soluções otimizadas Dhakal et al., (2021). Além disso, inovações como o Spatial Innovation Lab, que utiliza tecnologias intuitivas de criação de imagem em 2D e 3D, ilustram como o Creo pode ser integrado em ambientes de aprendizado e desenvolvimento, promovendo uma experiência mais rica e dinâmica no design de produtos Lawrence et al., (2017). Essas características tornam o Creo Parametric 6 uma ferramenta essencial para profissionais que buscam inovação e eficiência na engenharia.

O Creo Parametric 6 se destaca em diversas indústrias que demandam alta precisão e inovação no design de produtos. Sua aplicação é especialmente evidente em setores como a automotiva, aeroespacial e de manufatura, onde a qualidade dos modelos é fundamental para o sucesso de projetos complexos. Por exemplo, em estudos realizados sobre a qualidade de produtos, foi evidenciado que a verificação automatizada de modelos pode impactar significativamente a agilidade dos sistemas de engenharia, reduzindo tempo e aumentando a precisão dos projetos Paukkunen et al., (2018). Além disso, o uso de materiais compósitos em aplicações mecânicas, como os utilizados por equipes do Baja SAE, demonstra como o Creo Parametric 6 facilita o design e análise estrutural, promovendo a integração de novas tecnologias na modelagem Nauman et al., (2015). Dessa forma, a versatilidade do software torna-o uma ferramenta essencial em cenários industriais diversificados, otimizando processos e elevando a qualidade dos produtos finais.

A utilização de estratégias de design paramétrico permite que engenheiros e designers ajustem rapidamente variáveis críticas, como peso e volume, sem comprometer a qualidade do design final, facilitando assim a inovação e a eficiência no processo de produção Dhakal et al., (2021). Além disso, a capacidade de implementar soluções de baixo custo, particularmente em contextos de desenvolvimento, como no caso do sistema de transporte de carga, demonstra a aplicabilidade prática do Creo Parametric em ambientes onde a automação é desafiada pela disponibilidade de mão de obra K. Harish et al., (2015). Assim, o Creo Parametric 6 não apenas se estabelece como uma ferramenta essencial no arsenal de software de engenharia, mas também como um catalisador para projetos que atendem às necessidades do mercado contemporâneo.

O Creo Parametric 6 tem gerado um impacto significativo na engenharia de design, promovendo não apenas um aumento na eficiência dos processos, mas

também elevando a qualidade das soluções apresentadas. A introdução de recursos avançados, como a modelagem paramétrica e a simulação integrada, tem permitido que engenheiros e designers desenvolvam produtos com maior precisão e em menor tempo. Além disso, a interface mais intuitiva do software facilita a adoção por novos usuários, o que é crucial em um ambiente cada vez mais dinâmico. À medida que o mercado exige inovações rápidas e sustentáveis, as perspectivas futuras do Creo Parametric 6 parecem igualmente promissoras. Espera-se que a ferramenta continue a evoluir, incorporando tecnologias emergentes, como a inteligência artificial e a realidade aumentada, que podem revolucionar ainda mais a forma como os projetos são concebidos e executados, tornando-se um pilar fundamental no design moderno.

2.5.2 Algoritmo em PHP

Na área da computação, um algoritmo é definido como uma sequência finita de instruções bem definidas, que, quando executadas, resolvem um problema específico ou realizam uma tarefa. Goldbarg e Luna, (2006) destacam que um algoritmo deve ser preciso, determinístico e finito, ou seja, deve seguir uma ordem lógica, produzir resultados previsíveis e terminar em um número finito de passos.

No contexto da linguagem de programação PHP, um algoritmo é um conjunto de instruções escritas nesta linguagem que visam resolver um problema ou realizar uma tarefa específica. PHP, por sua vez, é uma linguagem de script amplamente utilizada para desenvolvimento web, permitindo a criação de páginas dinâmicas e interativas. De acordo com Welling e Thomson (2017), o PHP é uma linguagem versátil que pode ser incorporada ao HTML, facilitando a criação de aplicações web complexas.

Um algoritmo em PHP, assim como qualquer algoritmo, segue a estrutura básica de entrada, processamento e saída de dados. (Quadro 1)

1. Entrada: Os dados de entrada são os valores ou informações que o algoritmo recebe para realizar suas operações.

2. Processamento: O processamento é a etapa em que o algoritmo executa as instruções para manipular os dados de entrada e gerar os resultados desejados.

3. Saída: A saída são os resultados ou informações geradas pelo algoritmo após o processamento dos dados de entrada.

QUADRO 1 - EXEMPLO DE ALGORITMO

```
<?php
// Função para somar dois números
function soma($a, $b) {
    return $a + $b;
}
// Definindo os números
$num1 = 10;
$num2 = 20;
// Chamando a função e exibindo o resultado
$resultado = soma($num1, $num2);
echo "A soma de $num1 e $num2 é: $resultado";
?>
```

Fonte: Autores (2024)

Neste exemplo, os números 10 e 20 são as entradas, a operação de soma é o processamento, e a mensagem "A soma de 10 e 20 é: 30" é a saída.

- Diagrama de Blocos

Uma ferramenta útil para representar visualmente um algoritmo é o diagrama de blocos. Este diagrama utiliza formas geométricas para simbolizar as diferentes etapas do algoritmo, como entrada de dados, processamento e saída.

- Passos para Desenvolver um Algoritmo em PHP

Para desenvolver um algoritmo em PHP, é recomendado seguir os seguintes passos:

1. Definir o problema: o problema que o algoritmo deve resolver ou a tarefa que deve realizar.

2. Analisar os dados: Identificar os dados de entrada necessários e os resultados esperados.

3. Elaborar o algoritmo: Escrever a sequência de instruções que resolvem o problema, utilizando uma linguagem de descrição de algoritmos, como pseudocódigo ou diagrama de blocos.

4. Implementar o algoritmo: Traduzir o algoritmo para a linguagem PHP, utilizando a sintaxe correta e as estruturas de controle adequadas.

5. Testar o algoritmo: Verificar se o algoritmo funciona corretamente para diferentes entradas de dados, utilizando testes unitários e testes de integração.

Os algoritmos são ferramentas essenciais na área da computação, permitindo a resolução de problemas de forma sistemática e eficiente. A linguagem PHP, por sua vez, oferece recursos poderosos para a implementação de algoritmos, especialmente no contexto do desenvolvimento web. Ao seguir os passos adequados e utilizar as ferramentas corretas, é possível criar algoritmos em PHP que atendam às necessidades específicas de cada problema.

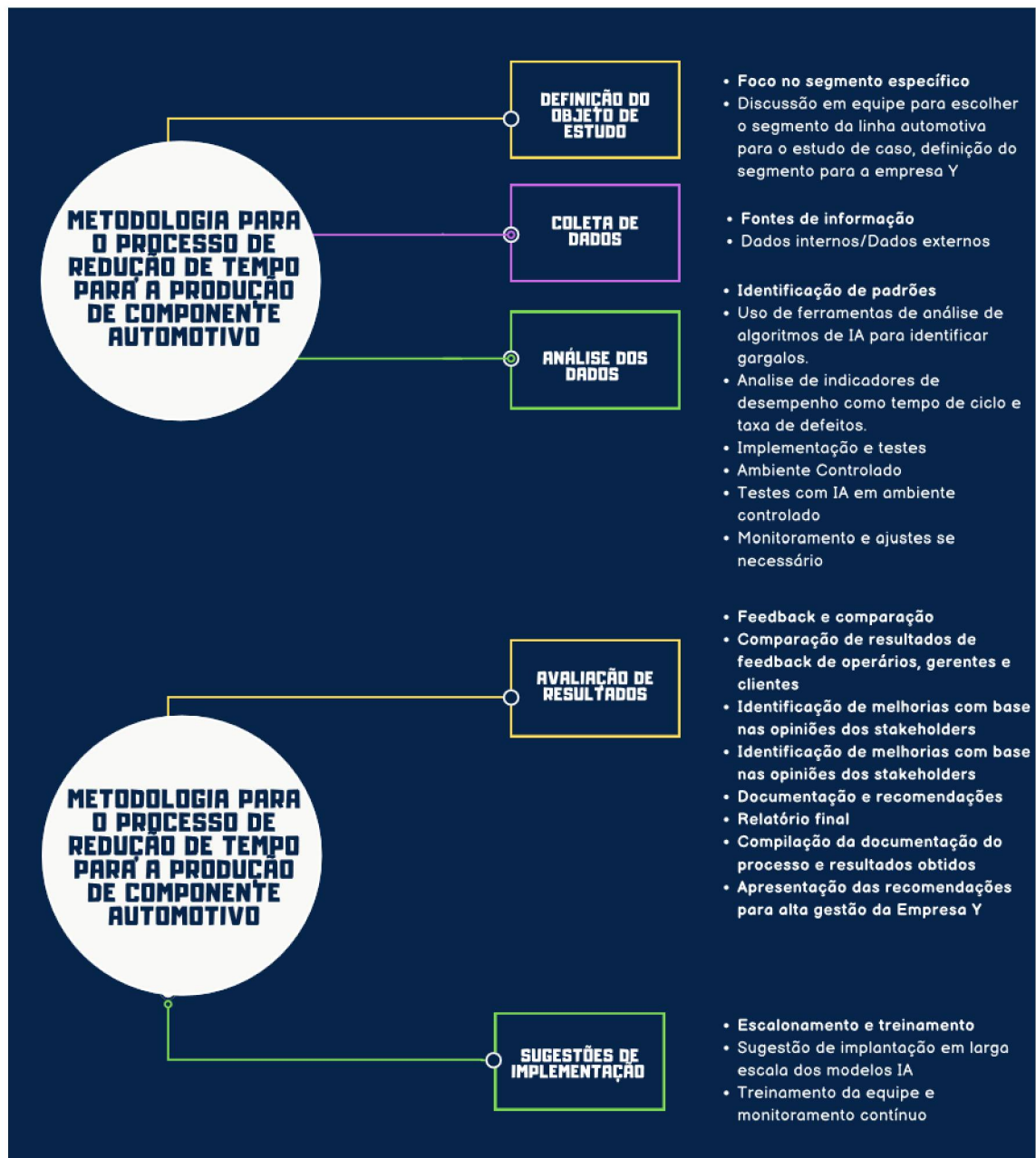
3 METODOLOGIA

A metodologia é um componente da pesquisa, que define os procedimentos e técnicas utilizados para coletar, analisar e interpretar os dados. A escolha da metodologia adequada garante a validade e a confiabilidade dos resultados, permitindo que as conclusões sejam fundamentadas em evidências sólidas. A pesquisa é um processo formal e sistemático de desenvolvimento do método científico. O objetivo fundamental da pesquisa é descobrir respostas para problemas mediante o emprego de procedimentos científicos, Gil, (2008).

2.6 MÉTODOS

Por se tratar de estudo de caso, o método de pesquisa utilizado será investigar um fenômeno dentro de seu contexto real, com o objetivo de compreender suas características, dinâmicas, implicações e sugerir melhorias com base na investigação. A metodologia adotada para reduzir o tempo de produção de componentes automotivos em pelo menos 5% utilizando IA foi estruturada em várias etapas ver fluxograma na Figura 4.

Figura 4 - Fluxograma do Trabalho



Fonte: Autores (2024).

Primeiramente, após discussão em equipe e por se tratar de uma empresa que possui vários segmentos da linha automotiva definiu-se o objeto de estudo focando em um segmento específico, os sistemas limpadores de para-brisas (modelo panorâmico), da linha de produção da empresa Y.

Em seguida, procedeu-se à coleta de dados, tanto internos quanto externos. Os dados internos incluíram históricos de produção, tempos de ciclo, eficiência e

utilização de recursos, enquanto os dados externos abrangeram melhores práticas, opinião de clientes que utilizam esse segmento e benchmarks da indústria.

Na etapa de análise de dados, foram utilizadas ferramentas de análise de dados e algoritmos de IA para identificar padrões e gargalos no processo de produção. Indicadores de desempenho como tempo de ciclo, taxa de defeitos e eficiência analisadas demonstrado no Quadro 2.

QUADRO 2 - INDICADORES DE DESEMPENHO

Etapa do Processo	Descrição da Etapa	Tempo Médio (min)	Taxa de Defeitos (%)	Eficiência (%)	Problemas Identificados	Possíveis Soluções
Recebimento de Materiais	Verificação e armazenamento	40	2	95	Demoras na verificação	Implementar sistema automatizado
Corte do Material	Corte das peças de borracha	27	3	90	Ineficiências no corte	Calibração das máquinas
Montagem	Montagem das peças	54	1.5	92	Falta de padronização	Treinamento e padronização
Testes de Qualidade	Teste de resistência e funcionalidade	34	4	88	Falhas frequentes nos testes	Manutenção preventiva dos equipamentos
Embalagem e Envio	Embalagem dos produtos finalizados	20	1	97	Atrasos na embalagem	Melhorar linha de embalagem

Fonte: Autores (2024)

Com a observação dos dados identificou-se que o tempo de modelagem dos mecanismos dos limpadores de para-brisa estava muito elevado. Utilizou-se ferramentas de monitoramento do tempo de trabalho, para avaliar a eficiência do processo de modelagem. Também, realizou-se uma análise detalhada dos valores obtidos do esqueleto do projeto e da base de dados para identificar componentes que atendiam aos requisitos necessários. Foram selecionados três engenheiros do setor para a realização dos estudos, embora a empresa tenha muitos profissionais, esse número reduzido é pela estrutura da empresa que neste setor conta com apenas três engenheiros.

Posteriormente, utilizou-se modelos praticados na indústria de IA capazes de prever e otimizar o tempo de produção, os quais foram alimentados com os dados coletados para melhorar a precisão das previsões demonstrado na sequência no Quadro 3.

QUADRO 3 - MODELOS PRATICADOS NA INDÚSTRIA DE IA

Modelo de Algoritmo	Descrição	Aplicações Comuns
Regressão Linear	Modelo estatístico que estabelece uma relação linear entre variáveis	Previsão de vendas, análise de tendências financeiras
Regressão Lasso	Algoritmo que impõe uma restrição aos parâmetros do modelo	Seleção de características, redução de dimensionalidade
Árvores de Decisão	Estrutura de árvore que toma decisões com base em condições	Previsão de falhas em equipamentos, análise de crédito
Redes Neurais	Modelos computacionais inspirados no cérebro humano	Previsão de demanda, reconhecimento de fala
Máquinas de Vetores de Suporte (SVM)	Algoritmo que busca um hiperplano que maximize a margem entre classes	Classificação de textos, reconhecimento de imagens
Floresta Aleatória	Conjunto de árvores de decisão que são treinadas em subconjuntos aleatórios	Previsão de preços de imóveis, análise de risco
K-Nearest Neighbors (KNN)	Algoritmo que faz previsões com base nas características dos k vizinhos mais próximos	Classificação de documentos, sistemas de recomendação

Fonte: Autores (2024)

A implementação e testes dos modelos de IA ocorreram em um ambiente de teste controlado, onde o desempenho dos modelos foi monitorado e ajustes foram realizados conforme necessário.

Através de análises detalhadas das atividades realizadas durante o processo de desenvolvimento, identificou-se diversas tarefas repetitivas que poderiam ser automatizadas. Além disso, percebeu-se que a atualização de parâmetros em modelos existentes para reflexão de alterações de design consumia muito tempo e poderia ser automatizada

Levantou-se diversas alternativas para automatizar as tarefas identificadas, como adotar ferramentas de automação de tarefas repetitivas, como o uso de macros (MAPKEYS) no Creo Parametric 6.

Desenvolveu-se uma macro para automatizar a substituição dos componentes, reduzindo significativamente o tempo necessário para essa etapa. Foi explorado a possibilidade de utilizar algoritmos de otimização para automatizar a seleção de parâmetros de design, como tamanho e forma de componentes, com base em critérios predefinidos de geometria.

Para facilitar a gestão dos dados do projeto e o cruzamento de informações, estruturou-se uma base de dados centralizada. Utilizou-se sistemas de gerenciamento de dados, como o PLM WINDCHILL, para armazenar e organizar os

modelos CAD, os dados de engenharia e outras informações relevantes do projeto. Foi criada uma estrutura de dados hierárquica para representar os componentes, subconjuntos e conjuntos dos mecanismos dos limpadores de para-brisa, facilitando a busca e a atualização de informações.

As informações primordiais dos conjuntos estão presentes nos parâmetros disponibilizados pelo Creo. As denominações dos conjuntos contêm as geometrias necessárias para que o componente correto seja selecionado pela rotina de busca e seleção na base de dados. Estes dados utilizados pelo Creo Parametric vêm de várias fontes, incluindo bibliotecas de materiais e bancos de dados específicos fornecidos pela PTC, (Parametric Technology Corporation). Que possui uma biblioteca contêm informações detalhadas sobre materiais comumente usados, como metais e plásticos, e são essenciais para a modelagem e análise de projetos, juntamente com dados arquivados da própria empresa de formulação de projetos realizados.

Para agilizar a substituição de peças nos modelos padrão, padronizaram uma rotina de substituição utilizando MAPKEYS no Creo Parametric 6. Desenvolveu-se MAPKEYS personalizadas para automatizar tarefas como a substituição de componentes comuns, a atualização de parâmetros de design e a geração de documentação técnica. Foi criado também, uma MAPKEY - é uma macro que permite a execução de múltiplos comandos em série com um único comando. Essencialmente, é uma maneira de automatizar tarefas repetitivas no software, tornando o uso mais eficiente e personalizado - para substituir automaticamente um componente específico por uma alternativa equivalente, garantindo a consistência e a precisão dos modelos.

Para facilitar a montagem automática dos conjuntos, adequaram -se os componentes na base de dados, adicionando informações e features de referência. Também se incluiu informações sobre as relações de montagem entre os componentes, como pontos de conexão e restrições de movimento, para permitir a montagem automática dos conjuntos com o módulo Creo Parametric Assembly, para validar a integridade dos conjuntos e garantir que todas as peças se encaixassem corretamente.

Utilizou-se um algoritmo em PHP personalizado para automatizar o processo de atualização dos modelos. Este algoritmo extraiu as informações do esqueleto do

projeto, cruzou com a base de dados e atualizou os dados nos arquivos carregados com as referências necessárias (.log das MAPKEYs). Assim, desenvolveu-se um script em PHP que se conectava ao PLM Windchill, buscava os modelos mais recentes dos componentes, comparava com as versões utilizadas nos modelos existentes e realizava a substituição automática, gerando os mecanismos atualizados de forma eficiente e precisa.

A avaliação envolveu a comparação dos resultados obtidos com feedback dos operadores, engenheiros de produção e clientes deste produto para identificar as melhorias, apresentado no Quadro 4.

QUADRO 4 - COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS COM FEEDBACK

Parâmetro	Valor Inicial	Previsão de Melhoria	Melhoria Real com IA
Tempo para Desenvolver o Produto	4 horas*	5%** (12 minutos)	15% ***(36 minutos)

Fonte: Autores (2024)

Tempo Inicial para Desenvolver o Produto*: 4 horas.
Previsão de Melhoria**: Com uma melhoria de 5%, o tempo seria reduzido em 12 minutos (5% de 240 minutos).
Melhoria Real com IA***: Com o uso de IA, a melhoria real foi de 15%, resultando em uma redução de 36 minutos (15% de 240 minutos).

Toda a documentação do processo, resultados obtidos e recomendações para futuras implementações foram compilados em um relatório final, apresentado à alta gestão da empresa Y.

Com base nos resultados apresentados no Quadro 5, dos testes foi sugerido a implementação em larga escala dos modelos de IA em toda a linha de produção, incluindo o treinamento da equipe de produção para utilizar as novas ferramentas e tecnologias, também um monitoramento contínuo do desempenho dos modelos de IA, com ajustes sendo realizados conforme necessário e a implementação de um ciclo de melhoria contínua para garantir que os objetivos de redução de tempo sejam mantidos.

QUADRO 5 - RESULTADOS DO TEMPO PELO USO DA IA

Grupo	Feedback	Melhoria de Tempo Obtida
Operadores*	A eficiência e rapidez na produção melhoraram significativamente. O tempo de trabalho diminuiu.	Redução de 15% (36 minutos)
Engenheiros **	O processo tornou-se mais previsível e eficiente. Menos gargalos e melhor controle de qualidade.	Redução de 15% (36 minutos)
Clientes***	Recebemos os produtos mais rapidamente e com melhor qualidade. Satisfação aumentou consideravelmente.	Redução de 15% (36 minutos)

Fonte: Autores (2024)

Operadores*: Relataram uma melhoria na eficiência e redução no tempo de produção.

Engenheiros:** Observaram menos gargalos no processo e uma melhoria geral na previsibilidade e controle de qualidade.

Clientes*:** Estão recebendo produtos mais rapidamente e estão mais satisfeitos com a qualidade.

3.2 MATERIAL

A criação de ideias muitas vezes vem da necessidade em realizar uma tarefa com mais precisão ou facilitar um processo, segundo (Morris, 2001) a capacidade de criar ideias de produtos não precisa ser restrita a poucas pessoas criativas ou designers talentosos todos têm uma imaginação.

A abordagem para o desenvolvimento de produtos não pode permanecer estática; ao contrário, requer dinamismo e contínuos ajustes e realinhamentos para evitar contratempos como recomendam os autores Ulrich; Eppinger, (2004)

Nesse sentido, Kaplan e Norton, (2005) destacaram a importância do alinhamento das ações empresariais em todos os níveis como forma de aumentar a eficiência e a competitividade.

Diante das constantes mudanças e demandas do mercado, aliadas ao processo de digitalização e à redução de tempo e custos no desenvolvimento de produtos, a empresa 'Y' identificou a necessidade de agilizar e otimizar a criação de seus sistemas limpadores de para-brisas (modelo panorâmico), cujo tempo de

desenvolvimento influencia consideravelmente o custo final, quando comparado a outros sistemas de menor complexidade.

Para uma melhor visualização e compreensão das atividades realizadas no segmento observado da empresa (Quadro 6) as ferramentas utilizadas para desenvolver os sistemas limpadores de para-brisas:

QUADRO 6 - FERRAMENTAS UTILIZADAS PELA EMPRESA NO SEGMENTO OBSERVADO

FERRAMENTA	AÇÃO OU DESEMPENHO
Creo Parametric	O software Creo Parametric desenvolvido pela PTC um Software CAD/CAM/CAE abrangente e universal projetado para modelagem, simulação, análise e gama de outras funções de design. Com o Creo Parametric, os usuários podem criar e desenvolver complexos e projetos detalhados segundo POLLÁK M., TÖRÖK, J. 2022
PLM Windchill:	O PLM (Product Lifecycle Management) Windchill é um software usado para gerenciar o ciclo de vida do produto. Ele pode ser usado para armazenar e gerenciar documentos, modelos CAD, dados de engenharia, entre outros. Neste caso, ele pode ser utilizado para armazenar e gerenciar os modelos criados no Creo Parametric, bem como para fornecer uma plataforma centralizada para colaboração, controle de versões, com acesso fácil e seguro a dados para equipes multidisciplinares e geograficamente distribuídas, processos voltados para a qualidade e uma abordagem orientada por dados à manufatura.¹
Programação/extensão html	WILDE, E., 1999. Aborda que inventado na década de 1990, já passou por várias revisões e extensões. A Hypertext Markup Language HTML) é uma linguagem utilizada para o design de páginas web. Normalmente a página web é demonstrada em um estilo formatado, que significa que o browser interpreta a página HTML para gerar uma apresentação pré-definida. Extraído do esqueleto (estrutura base para o projeto dos mecanismos), este arquivo HTML contém informações sobre a estrutura do modelo criado no Creo Parametric 6. Ele pode conter informações sobre as características dos componentes, relações entre os

¹ PTC. Windchill PLM Software. Available online: <https://www.ptc.com/en/products/plm/plm-products/windchill> (acesso em 25 Mar 2024).

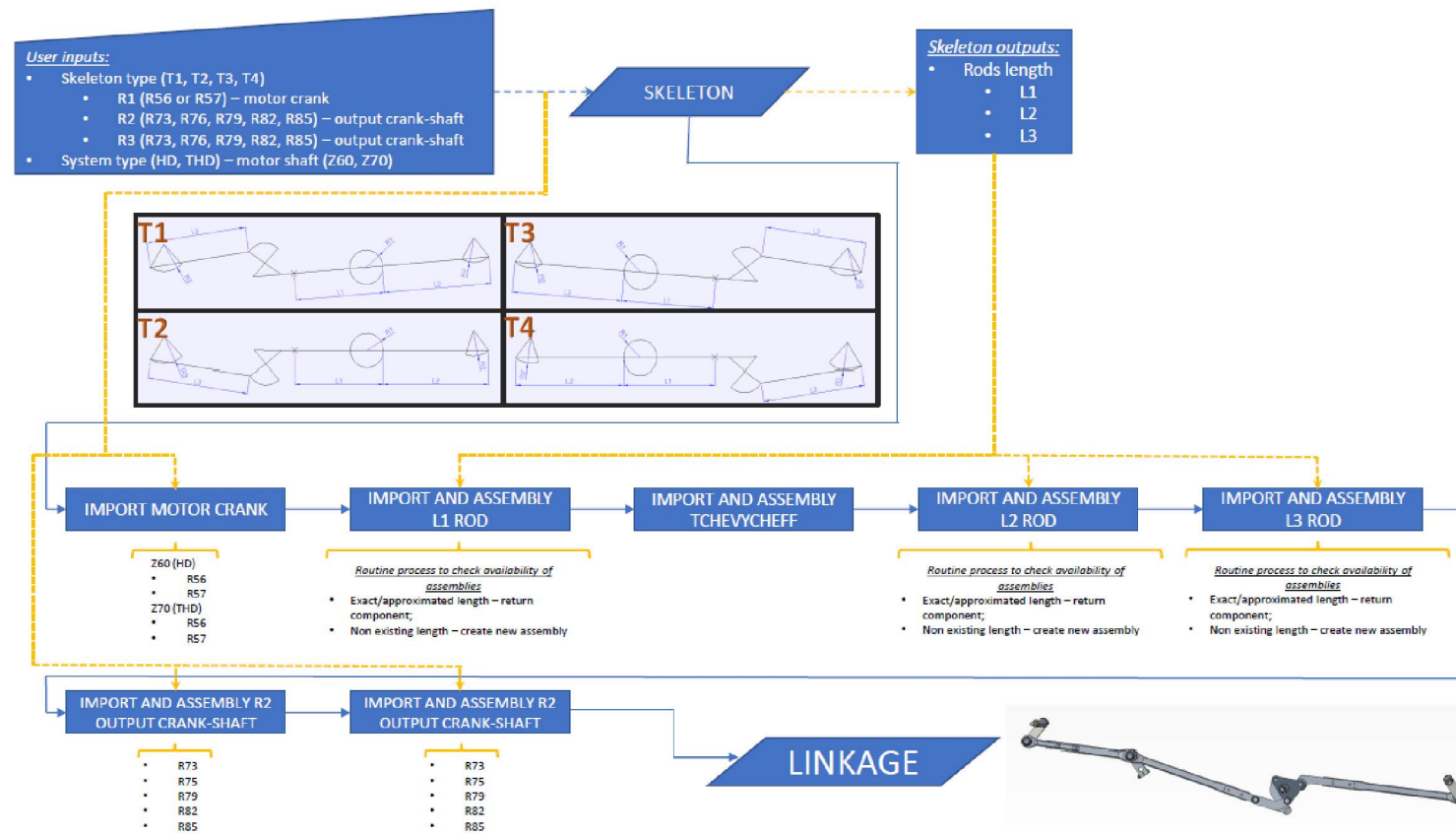
	diferentes elementos do modelo, entre outras informações relevantes para o processo de design.
Script linguagem PHP	PHP (um acrônimo recursivo de PHP: Hypertext Preprocessor) é um script web de código aberto do lado do servidor linguagem para criação de páginas web dinâmicas. Além de ser independente do navegador, oferece uma maneira simples e solução universal de plataforma cruzada para comércio.

Fonte: Autores (2024)

Ainda sobre o desenvolvimento da produção do equipamento a rotina da empresa será afetada pelo uso da IA para otimização do tempo, como na sua grande maioria os engenheiros tendem a utilizar fluxogramas para representar seus modelos pois espelham os diagramas de fluxo frequentemente utilizados para descrever sistemas físicos, como por exemplo: sistemas de controle, dinâmica de fluidos, sistemas de comunicações, segundo Harley, (1998).

O fluxograma pode incluir atividades como coleta de requisitos, design conceitual, modelagem CAD, simulação, revisão de projeto, fabricação e teste. A seguir, na Figura 5, apresenta-se uma visão geral de um fluxograma de trabalho da empresa Y, para compreensão da dinâmica realizada pela empresa para a produção de seus sistemas, a empresa executa projetos de produção de peças e equipamentos automotivos onde cada setor tem seu papel, mas deve conhecer a execução no todo para dar fluidez no processo e evitar gargalos por falta de compreensão de funcionamento, assim a divulgação interna acontece a cada projeto, criando uma dinâmica de cíclica para evitar desperdícios de matérias, tempo e trabalho.

Figura 5 - Fluxograma do processo de seleção de componentes



Fonte: Arquivo da empresa departamento de divulgação (2024).

3 RESULTADOS OBTIDOS

A análise dos resultados obtidos com a implementação da IA na rotina de busca e substituição de peças no processo de desenvolvimento de produtos revelou uma significativa redução no tempo necessário para completar os projetos, 36 minutos de margem foi o ganho no processo como todo, visualizando o conceito de Morris, (2001), que destaca a capacidade universal de criação e inovação, e os princípios de Ulrich e Eppinger, (2004), que enfatizam a necessidade de um desenvolvimento de produtos dinâmico e ajustável, a empresa 'Y' conseguiu não apenas otimizar seu processo, mas também alinhar suas ações estratégicas conforme sugerido por Kaplan e Norton, (2005).

3.1 CENÁRIO ANTERIOR

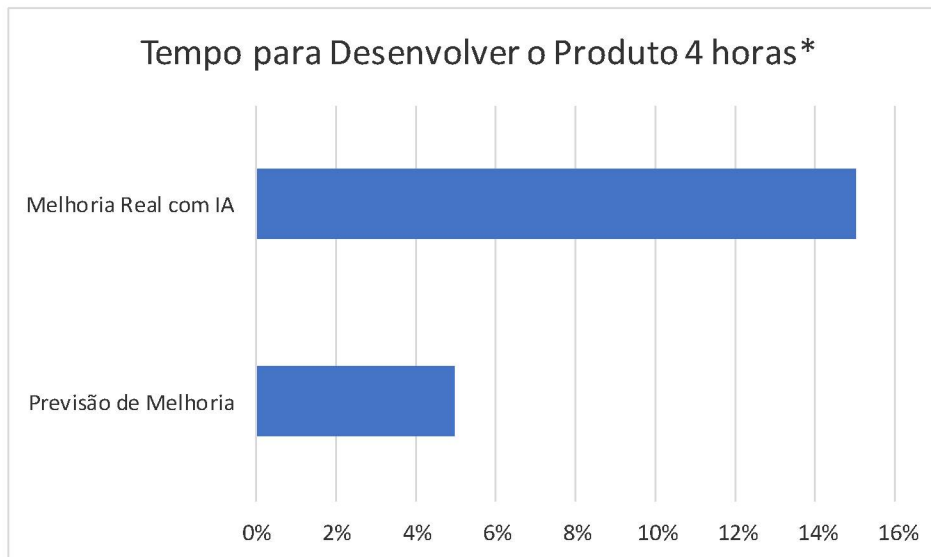
No cenário anterior, o tempo de modelagem dos mecanismos dos limpadores de para-brisa levavam 4 horas para a produção partindo de que o processo seria sem erros ou ajustes (Quadro 7). Este processo envolvia atividades manuais intensivas e era suscetível a erros e ineficiências, impactando significativamente o custo final do produto, especialmente quando comparado a sistemas de menor complexidade. (Gráfico 1)

QUADRO 7 - TEMPO UTILIZADO ANTES DA IA

MODELAGEM DOS MECANISMOS	TEMPO	Jornada de trabalho	Utilização de % da jornada
Limpadores de para-brisa	4 a 6h	8h	50%

Fonte: Autores (2024)

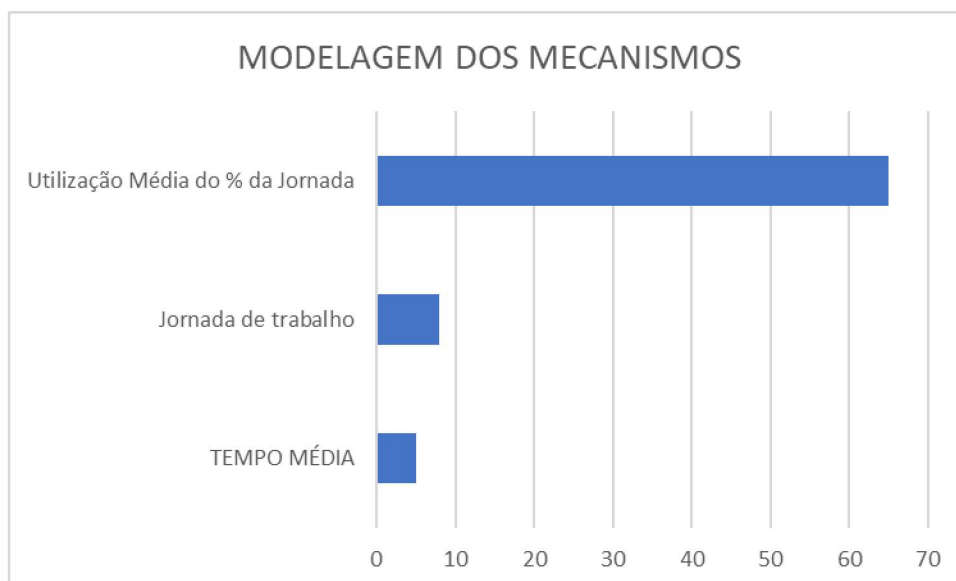
Gráfico 1: Tempo



Fonte: Autores (2024)

O processo de produção utilizava mais 50% do período de trabalho com a produção do item (Gráfico 2) contando com os ajustes e erros ficando justo o período para alimentação, intervalos e capacitações, que já pela escassez de tempo eram evitadas pelos operadores.

Gráfico 2: Utilização do Tempo



Fonte: Autores (2024)

3.1.1 Resultados por Engenheiro

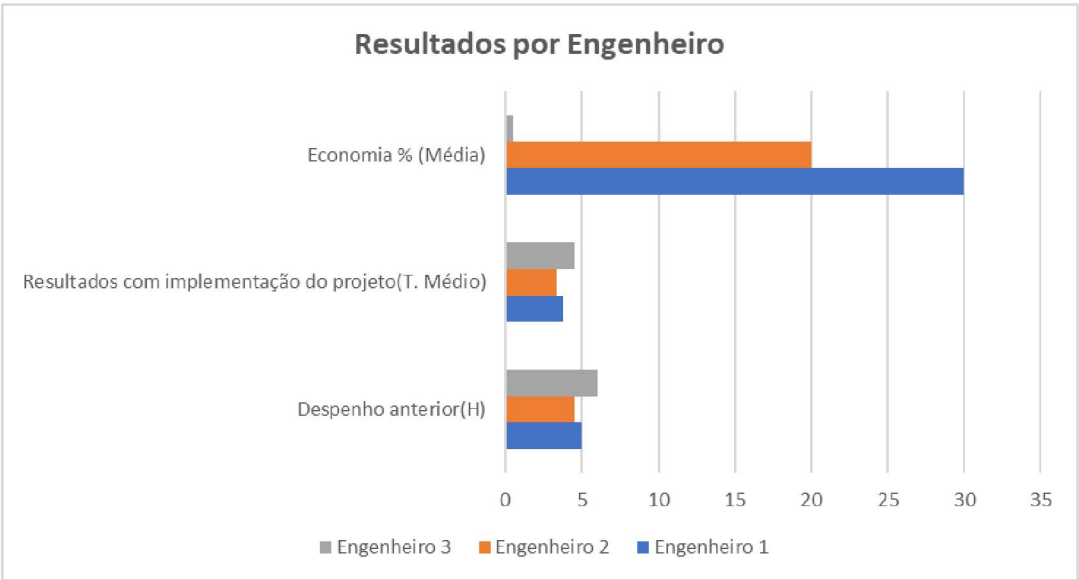
A implementação dessas ferramentas e metodologias resultou em uma redução substancial do tempo de projeto para três engenheiros distintos, se comparado com os resultados anteriores. (Quadro 8). A economia de tempo, os resultados com a implementação do projeto e o desempenho anterior em cada engenheiro destacam-se no Gráfico 3.

QUADRO 8 - RESULTADOS OBTIDOS POR ENGENHEIRO

Engenheiros	Desempenho anterior	Resultados pretendidos com implementação do projeto	Economia %	Melhoria real de 15% no tempo
Engenheiro 1	5 horas.	3,5 e 4 horas,	30%	4,25 e 3,4 horas
Engenheiro 2	4,5 horas	3,15 a 3,6 horas	20%.	3,825 a 3,06 horas
Engenheiro 3	6 horas	4,2 e 4,8 horas	20% a 30%.	5.1 e 4,08 horas

Fonte: Autores (2024)

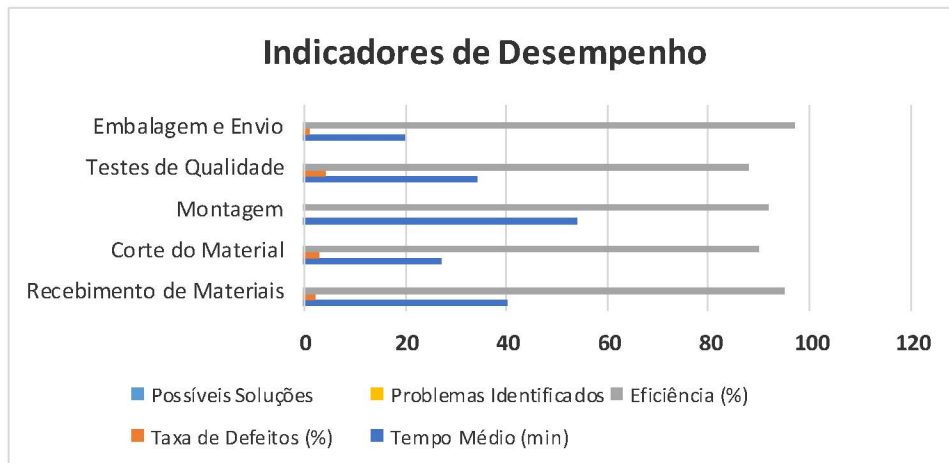
Gráfico 3: Desempenho



Fonte: Autores (2024)

É possível ver o ganho real em tempo nas equipes de cada engenheiro, acrescentando, turno de trabalho, faltas na equipe, o processo como todo, teve um ganho de tempo para todos, (Gráfico 4) fazendo a ressalva que o engenheiro 3 trabalha no turno noturno, turno calcanhar de Aquiles para empresa, mas não é o fator a ser discutido neste projeto.

Gráfico 4: Indicadores de desempenho



Fonte: Autores (2024)

Neste gráfico é possível visualizar as melhorias por etapa, observando que na montagem foi o maior ganho, seguido do recebimento de material que por falta de controle atrasava o processo num todo.

3.2 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A Inteligência Artificial (IA) tem se mostrado uma ferramenta poderosa para otimizar processos de produção em diversas indústrias. Este estudo de caso visa identificar as necessidades de uma empresa em relação à IA, verificar a aplicabilidade da tecnologia no setor estudado, aplicar soluções viáveis e demonstrar os ganhos de otimização de tempo com o uso da IA.

Inicialmente, foram identificadas necessidades de melhorias em todas as etapas do processo de produção. Observou-se que atividades repetitivas e o tempo desperdiçado com retrabalho para verificação eram pontos críticos que poderiam ser otimizados com a implementação da IA. A análise detalhada dessas necessidades permitiu a identificação de áreas específicas onde a IA poderia trazer benefícios significativos.

Com base nas observações, percebeu-se a necessidade de capacitação dos envolvidos no processo para que tivessem um domínio mínimo do uso de IA. Além disso, foi necessário adquirir equipamentos e softwares adequados para a aplicabilidade da IA. A verificação dos conhecimentos e a aplicabilidade da IA no setor estudado foram fundamentais para garantir que a tecnologia fosse implementada de maneira eficaz e eficiente.

Após a pesquisa das melhores soluções para o perfil da empresa, foi realizada a aquisição de equipamentos e softwares necessários. A implementação dessas soluções foi feita de maneira gradual, começando com um piloto para avaliar a eficácia da IA no processo de produção. Durante o piloto, foram monitorados os resultados e ajustadas as estratégias conforme necessárias.

Dentro das possibilidades da empresa, foi realizado um piloto para avaliar o uso da IA como uma solução viável. Os resultados mostraram um ganho significativo na otimização do tempo, com a redução de atividades repetitivas e do retrabalho. A IA demonstrou ser uma ferramenta eficaz para melhorar a eficiência do processo de produção, proporcionando benefícios tangíveis para a empresa.

Os resultados obtidos indicam uma melhoria significativa na eficiência do processo de desenvolvimento de produtos após a implementação da rotina de busca e substituição de peças com soluções de IA. A redução de tempo variou entre 20% e 30%, o que é consistente entre os três engenheiros e suas equipes analisadas. Esta economia de tempo não apenas permite uma maior produtividade, mas também

contribui para uma resposta mais ágil às demandas do mercado e uma melhor alocação de recursos dentro das equipes de desenvolvimento.

Além da economia de tempo, a nova rotina também proporcionou benefícios adicionais, como a melhoria na precisão do design e na comunicação entre os membros da equipe. A capacidade de rapidamente buscar e substituir peças dentro dos modelos 3D reduz a possibilidade de erros e facilita a colaboração, já que todos os membros da equipe podem trabalhar com informações atualizadas e precisas.

Os dados analisados confirmam que a integração de ferramentas de desenho e modelagem 3D com rotinas automatizadas, como a busca e a substituição de peças, pode transformar significativamente o processo de desenvolvimento de produtos. A redução do tempo de realização de cada projeto entre 20% e 30% demonstra o impacto positivo dessa inovação, refletindo diretamente na competitividade e na capacidade de inovação das empresas. Com a digitalização e automação, conforme destacado por Morris (2001), Ulrich e Eppinger (2004), e Kaplan e Norton (2005), a empresa 'Y' conseguiu alinhar suas ações estratégicas e aumentar sua eficiência.

Futuras pesquisas podem explorar a aplicação de outras tecnologias emergentes e a otimização contínua dos processos para manter e expandir esses ganhos de eficiência. Como sugestão, indica-se implementar o uso da IA em outros setores, além de monitorar os processos via IA e realizar capacitações periódicas para os participantes da empresa em todos os níveis.

4 REFERÊNCIAS

ABERNATHY, W. J., CLARK, K. B. **Innovation**: Mapping the winds of creative destruction. *Research Policy*, v. 14, n. 1, p. 3-22, 1985.

AGUIRRE, Luis Antonio. **Enciclopédia de automática**: controle e automação. 1.ed. São Paulo: Blucher, 2007.

ALBERTO, João Vitor Rodrigues. **Sensores e sua importância**: descrição e uso na indústria 4.0. Paulista, São Paulo, 2023.

ARGERICH, L. et al. (2003). PHP XML. In: **Professional PHP4**. Apress, Berkeley, CA.

Disponível em : https://doi-org.ez22.periodicos.capes.gov.br/10.1007/978-1-4302-1120-4_22 – acesso: out 2.024

ASHTON, Thomas Southcliffe. **The industrial revolution 1760-1830**. Oxford University Press, 1997.

BAINES, T., Lightfoot, H., EVANS, S., et al. (2008). **State-of-the-art in product-service systems**. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 222(10), 1732-1749.

BIBB R, Bodkin T, HARRIS R, (2017). **Towards Additive Manufacture of Next Generation Prosthetics**, Assessing Emerging CAD Strategies for Improving the Existing CAD Process. Inderscience,

Disponivel em <https://core.ac.uk/download/46665432.pdf> – Acesso: 30 Jan, 2025.

BOGUE, R. (2016). **Growth in e-commerce boosts innovation in the warehouse robot market**. *Industrial Robot: An International Journal*, 43(6), 603-607.

BRYAN, L. A., & Bryan, E. A. (1997). **Programmable Controllers**: Theory and Implementation. Industrial Text and Video Company.

BROY, M., KRÜGER, I., PRETSCHNER, A., SALZMANN, C. **Engineering automotive software**. *Proceedings of the IEEE*, v. 95, n. 2, p. 356-373, 2007.

BROUGHAM, D., & HAAR, J. (2018). **Smart Technology, Artificial Intelligence, Robotics, and Algorithms (STARA): Employees' perceptions of our future workplace**. *Journal of Management & Organization*, 24(2), 239-257.

CHIEN, C. F., & CHEN, L. F. (2010). **Data mining to improve personnel selection and enhance human capital**: A case study in high-technology industry. *Expert Systems with Applications*, 37(6), 3802-3815.

CHRISTOPHER, M. **Logistics & supply chain management**. 5th ed. London: Pearson, 2016.

CHOPRA, S., MEINDL, P. **Supply chain management: Strategy, planning, and operation**. 6th ed. New York: Pearson, 2016.

SCHWAB, K. **A Quarta Revolução Industrial**. Editora Bertrand Brasil. (2016).

CLARK, A. (2008). *Innovation and the automotive industry*. Routledge.

CLARK, K. B., FUJIMOTO, T. *Product development performance: Strategy, organization, and management in the world auto industry*. Harvard Business School Press, 1991.

COSTA, Allan. **Cibersegurança na era da Indústria 4.0: desafios, oportunidades**.

Disponível em BOGUE, R. (2016). Growth in e-commerce boosts innovation in the warehouse robot market. *Industrial Robot: An International Journal*, 43(6), 603-607.- acesso em: jun 2024

DAVENPORT, T. H., & RONANKI, R. (2018). **Artificial intelligence for the real world**. *Harvard Business Review*, 96(1), 108-116.

DHAKAL, Prashant. (2021). **Parametric Design of Flywheel for an Electric Punch Press**. **E Grove**.

Disponível em: <https://core.ac.uk/download/427484085.pdf> - Acesso: 30 Jan, 2025.

DORF, R. C., & KUSIAK, A. (1994). **Handbook of Design, Manufacturing and Automation**. Wiley-Interscience.

EPPINGER, S. D., ULRICH, K. T. **Product design and development**. 6. ed. New York: McGraw-Hill Education, 2015.

FREY, C. B., & OSBORNE, M. A. (2013). **The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation?** Oxford Martin School Working Paper.

GIL, Antonio Carlos, 4ed. **Como elaborar projetos de Pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2002.

GIL, Antonio Carlos, 4ed. **Métodos e técnicas pesquisa Social**. São Paulo: Atlas, 2008.

GOLDBARG, Marco César; LUNA, Paulo Eduardo. **Otimização combinatória e programação linear**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.

GROOVER, M. P. (2007). **Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing**. Pearson Education.

HARLEY R. Myler (1998). «2.3 Flowcharts». **Fundamentals of Engineering Programming with C and Fortran**. [S.l.]: Cambridge University Press. pp. 32–36. ISBN 978-0-521-62950-8

HERMANN, T. (2016). **Industry 4.0: The changing landscape of manufacturing**. Routledge.

HERMANN, M., PENTEK, T., OTTO, B. **Design principles for industrie 4.0 scenarios**. Proceedings of the 49th Hawaii International Conference on System Sciences, 2016.

HOLLICK, M. (2005). **The history of manufacturing technology**. Industrial and Commercial Training, 47(7-8), 308-316.

HOUNSHELL, D. A. (1984). **From the American System to Mass Production, 1800-1932: The Development of Manufacturing Technology in the United States**. Johns Hopkins University Press.

IFR. (2021). **World Robotics Report**. International Federation of Robotics.

IMAI, M. Kaizen: **The key to Japan's competitive success**. New York: McGraw-Hill, 1986.

K. Harish M, Anurag R R, Varadhan S, et al.. (2015). **Low Cost Swarm Based Diligent Cargo Transit System**.

Disponível em: <http://arxiv.org/abs/1509.02876> - Acesso: 30 Jan, 2025.

KAPLAN, R.; NORTON, D. **Managing alignment as a process**. Harvard: Harvard Business School, 2005.

KAUFMAN, Dora. **Desmistificando a inteligência artificial**. São Paulo: Grupo Autêntica, 2022.

KOREN, Y. **The global manufacturing revolution: Product-process-business integration and reconfigurable systems**. Hoboken: John Wiley & Sons, 2010.

LAWRENCE, TOM M. (2017). **IUPUC Spatial Innovation Lab**. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/187423883.pdf> - Acesso: 30 Jan, 2025.

LEE, J., BAGHERI, B., & KAO, H. A. (2014). **A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems**. Manufacturing Letters, 3, 18-23.

LIMA, Isaías. **Inteligência Artificial**. São Paulo: Grupo GEN, 2014.

MCCARTHY, J.; MINSKY, M.; ROCHESTER, N.; SHANNON, C. E. **A Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence**. Hanover, NH: Dartmouth College, 1956.

MONDEN, Y. **Toyota production system: An integrated approach to just-in-time**. 4th ed. Boca Raton: CRC Press, 2012.

MOORE, Tyler. (2021). **Senior Design Capstone: Using an Engineering Design Process to Create a Sawzall Wobble Fixture for Milwaukee Tools**. e Grove, Disponivel em: <https://core.ac.uk/download/427483913.pdf> – Acessoem : 30 Jan, 2025.

MORRIS, Richard. **Fundamentos de design de produto**. Porto Alegre: Bookman, 2011. 184 p

NÄSLUND, H. (2016). **Automation, productivity, and working hours**: Evidence from Swedish manufacturing. *Economics of Industrial Organization*, 44, 104-123.

NATALE, Ferdinando. **Automação Industrial** - Série Brasileira de Tecnologia. São Paulo: Editora Saraiva, 2000.

NAUMAN, Amanda M. Composite Tie Rod Research, Design and Testing for SAE baja. Disponivel em: <https://core.ac.uk/download/232671511.pdf> Accessed: 30 Jan, 2025.

NEUBAUER, R. **Automation in the Automotive Industry**: Experience and Future Trends. Springer Science & Business Media. (2003).

NEWELL, A., & SIMON, H. A. (1956). **The Logic Theory Machine**: A Complex Information Processing System. *IRE Transactions on Information Theory*, 2(3), 61-79.

NILSSON, N. J. (1998). **Artificial Intelligence: A New Synthesis**. Morgan Kaufmann.

NORVIG, Pedro. **Inteligência Artificial**. São Paulo: Grupo GEN, 2013.

PAUKKUNEN, Lauri. (2018). **Tuotemallien tarkistuksen metriikan kehitys ja automaatio**. Disponivel em: <https://core.ac.uk/download/154758377.pdf> -Acesso em: 30 Jan, 2025.

POLLÁK, M., TÖRÖK, J. (2022). **Use of Generative Design Tools in the Production of Design Products using 3D Printing Technology**. Technical University of Košice, Faculty of Manufacturing Technologies.

PTC. Windchill PLM Software. Available online. Disponivel em: <https://www.ptc.com/en/products/plm/plm-products/windchill> - acesso em : 25 Mar 2024.

PTC. https://support.ptc.com/help/creo/creo_pma/r10.0/usascii/index.html#page/assembly/asm/About_Skeleton_Models_in_Top-Down_Design.html # acesso em 25 Mar 2024

QIAN Z, Ren L, WEI G, WEI, et al.. (2019). **Subject-specific finite element modelling of the human hand complex:** muscle-driven simulations and experimental validation. 'Springer Science and Business Media LLC'. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/286027479.pdf> - Acesso: Jan, 2025).

RODRIGUES, Ana Cláudia et al. **Jornada RPA e hiperautomação:** como acelerar a transformação digital somando tecnologia e processos inteligentes. 1. ed. Rio de Janeiro: Brasport, 2022.

ROSEN, D. W., SAMANT, R., & RENAUD, J. (2015). **Design for Additive Manufacturing:** Framework and Methodology. In: 26th Annual International Solid Freeform Fabrication Symposium.

RUSSELL, S., & NORVIG, P. (2009). **Artificial Intelligence:** A Modern Approach. Prentice Hall.

RUSSELL, Stuart; NORVIG, Peter. **Artificial Intelligence:** A Modern Approach, Global Edition. 3. ed. Pearson Education, 2016. 1152 p.

SAKO, M. Supplier development at Honda, **Nissan and Toyota:** Comparative case studies of organizational capability enhancement. Industrial and Corporate Change, v. 13, n. 2, p. 281-308, 2004.

SCHWAB, K. (2016). **The Fourth Industrial Revolution.** World Economic Forum.

SILVA, Elcio Brito da et al. **Automação e sociedade:** quarta revolução industrial, um olhar para o Brasil. 1. ed. Rio de Janeiro: Brasport, 2018.

SOUZA, Ramon. **Indústria 4.0 e os desafios de segurança cibernética enfrentados pelo setor.**

Disponível em: <https://blog.eskive.com/pt-br/ind%C3%BAria-4.0-e-os-desafios-de-seguran%C3%A7a-cibern%C3%A9tica-enfrentados-pelo-setor> Acesso em 18 de abril de 2024

TROY, L Bodkin (2017). **Specifying a hybrid, multiple material CAD system for next-generation prosthetic design.** Disponível em: <https://core.ac.uk/download/288368045.pdf> - Acesso em :Jan, 2025.

TURING, A. M. (1950). **Computing Machinery and Intelligence.** Mind, 59(236), 433-460.

ULRICH, K.; EPPINGER, S. **Product design and development.** 3. ed. New York: McGraw Hill, 2004.

VANCE, A. (2015). Elon Musk: Tesla, SpaceX, and the Quest for a Fantastic Future. HarperCollins.

WELLS, P., NIEUWENHUIS, P. **Transition failure: Understanding continuity in the automotive industry.** Technological Forecasting and Social Change, v. 129, p. 162-172, 2017.

WELLING, Luke; THOMSON, Laura. **PHP and MySQL Web Development.** Sams Publishing, 2017.

WILDE, E. **Wilde's WWW Technical Foundations of the World Wide Web.** 1999, Page 153

WILKINSON, P. **Aircraft Engines: Propulsion Systems for Air Transport.** Elsevier, 1974, s.d.t.

WOMACK, J. P. **Lean thinking: Banishing waste and creating value in the manufacturing industry.** Crown Publishing, 2010.

WOMACK, J. P., JONES, D. T., ROOS, D. **The machine that changed the world:** The story of lean production. New York: HarperCollins, 1990.

YONG, J. **A history of the automobile industry in China.** London, Routledge, 2005

ZHANG, D., & Wang, Y. (2016). **The impact of automation on the future of work:** An organizational perspective. International Journal of Production Economics, 178, 52-61.

Sites

Robotics & Automation (2019). Collaborative robots in the automotive industry. <https://www.hansrobot.net/newsampevents-p/industry-news/650.html>

IndustryWeek (2018). How Ford is using simulation to cut development time in half.

<https://www.industryweek.com/technology-and-iiot/automation>