

Indústria 4.0: explorando a convergência entre IoT e computação em nuvem

Francisco Everardo Queiroz de Lima Filho [1], Ednardo Pereira da Rocha [2]

[1] Universidade Federal Rural do Semi-Árido; francisco.filho98118@alunos.ufersa.edu.br

[2] Universidade Federal Rural do Semi-Árido; ednardo.pereira@ufersa.edu.br

Resumo: Este artigo examina a convergência da Indústria 4.0 com a Internet das Coisas (IoT) e seu impacto na transformação do cenário industrial, desde as origens da revolução industrial até os dias atuais. Através de uma revisão bibliográfica de artigos acadêmicos, o estudo revela como a Indústria 4.0 está introduzindo uma revolução por meio da digitalização e integração de sistemas, impulsionando a eficiência operacional nas empresas. A convergência entre a Indústria 4.0 e a IoT amplifica essa transformação, oferecendo conectividade e coleta de dados em tempo real. Dispositivos interconectados, sensores e atuadores permeiam toda a cadeia de produção, formando uma rede dinâmica que proporciona visibilidade e controle avançados sobre os processos industriais. O artigo também explora os benefícios trazidos por essa integração, os desafios enfrentados e as tendências futuras, destacando como essa evolução está moldando o futuro da produção e redefinindo os padrões de excelência no mercado, que se mostra cada vez mais exigente e voltado para a era digital.

Palavras-chave: Internet das coisas, Industria 4.0 e processos de automação.

Abstract: *This article examines the convergence of Industry 4.0 with the Internet of Things (IoT) and its impact on the transformation of the industrial landscape, from the origins of the industrial revolution to the present day. Through a bibliographic review of academic articles, the study reveals how Industry 4.0 is introducing a revolution through digitalization and system integration, driving operational efficiency in companies. The convergence between Industry 4.0 and IoT amplifies this transformation, offering connectivity and real-time data collection. Interconnected devices, sensors, and actuators permeate the entire production chain, forming a dynamic network that provides advanced visibility and control over industrial processes. The article also explores the benefits brought by this integration, the challenges faced, and future trends, highlighting how this evolution is shaping the future of production and redefining standards of excellence in an increasingly demanding and digitally-focused market.*

Keywords: Internet of Things, Industry 4.0 and automation processes.

1. INTRODUÇÃO

A quarta revolução industrial, comumente referida como Indústria 4.0, tem representado mudanças significativas nos processos de industriais, medicina e agroindustrial impulsionado pela digitalização, automação e integração de sistemas. Nesse contexto, a convergência da Indústria 4.0 com a Internet das Coisas (IoT) emerge como um componente essencial, ampliando ainda mais as fronteiras da eficiência operacional e da inovação. Essa interconectividade não apenas redefine a forma como coletamos dados, mas também aprimora a tomada de decisões, especialmente em situações desafiadoras.

Essa transformação promove mudanças profundas na gestão de fábricas e cadeias de produção, através da integração de diversas tecnologias como inteligência artificial, IoT e computação em nuvem. Essa integração viabiliza a troca de dados em tempo real, possibilitando a criação de ambientes inteligentes nos quais as decisões são tomadas de forma local e automática, com mínima intervenção humana. Isso resulta na incorporação de dispositivos interconectados, como sensores e atuadores em toda a cadeia de produção, seja agrícola, medica ou energia, estabelecendo uma rede dinâmica que proporciona visibilidade e controle aprimorados.

A integração da computação em nuvem possibilita o processamento eficiente dos dados coletados, permitindo análises preditivas para identificar tendências e melhorar a eficácia em sistemas diversos. A monitorização em tempo real do estado operacional simplifica a detecção preventiva de problemas potenciais e oferece soluções para otimizar os resultados. Esta tecnologia não apenas reduz os custos relacionados à manutenção corretiva, mas também prolonga a vida útil dos ativos.

Este artigo tem como objetivo investigar de forma mais aprofundada essa interação, enfatizando os benefícios, desafios e perspectivas futuras dessa convergência. Por meio da análise de literatura especializada e das tendências tecnológicas nos setores fundamentais, com intenção de não apenas compreender, mas também antecipar os novos caminhos que essa transformação está estabelecendo.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O setor industrial tem sido historicamente desempenhado um papel significativo como centro de inovações tecnológicas, exercendo um impacto transformador em diversos segmentos econômicos e sociais. Nesse contexto, esta seção se propõe a abordar desde os princípios fundamentais até a implementação dos conceitos centrais da Indústria 4.0, bem como analisar a estrutura organizacional das camadas no contexto industrial e empresarial.

2.1 Primeira revolução industrial

O aumento contínuo na demanda por suprimentos e matéria-prima destacou a urgência de expandir a capacidade produtiva. Diante desse desafio, métodos mais eficientes e acelerados de produção passaram a ganhar relevância, especialmente com a adoção do carvão como fonte de energia. Essa inovação não apenas revolucionou a forma de transporte, mas também impulsionou produções em larga escala, superando os processos manufaturados que eram predominantes até então [1].

2.2 Segunda revolução industrial

Nessa época, destacou-se a descoberta da eletricidade e avanços notáveis em diversos campos científicos, abrangendo a indústria química, metalúrgica e comunicações. A Revolução Industrial, durante esse período, se notabilizou pela incessante busca por maiores lucros através da expansão da produção [2]. Na transição para a Indústria 2.0, presenciamos a implementação das primeiras metodologias voltadas para a produção em massa, visando racionalizar a produção capitalista por meio de inovações técnicas. Um exemplo destacado é o Fordismo, termo introduzido por Henry Ford em 1914 [3]. Um aspecto notavelmente positivo da Indústria 2.0 era o aprimoramento na gestão dos custos, proporcionando, consequentemente, cálculos mais precisos em relação às margens de lucro.

2.3 Terceira revolução industrial

A Terceira Revolução Industrial, também conhecida como Revolução Técnico-Científica e Informacional, é moldada por processos de inovação tecnológica, destacando-se nos avanços em campos como informática, robótica, telecomunicações, transportes, biotecnologia e nanotecnologia [3]. Um dos impactos notáveis dessa revolução é a substituição gradual da mão de obra por máquinas cada vez mais avançadas.

2.4 Quarta revolução industrial

A Quarta Revolução Industrial foi publicamente apresentada na Feira de Hannover, originada a partir de iniciativas conjuntas entre empresas alemãs e o governo. O princípio fundamental da Indústria 4.0 é conectar máquinas, sistemas e ativos, permitindo que se estabeleçam redes inteligentes que controlem os módulos de produção de maneira autônoma [4]. Essa abordagem representa ganhos significativos em produtividade, qualidade e sustentabilidade, além da redução dos custos operacionais e de manutenção das empresas. Isso resulta na capacidade de produzir itens de alta qualidade a custos mais baixos, quando comparado a empresas que não adotam essas tecnologias.

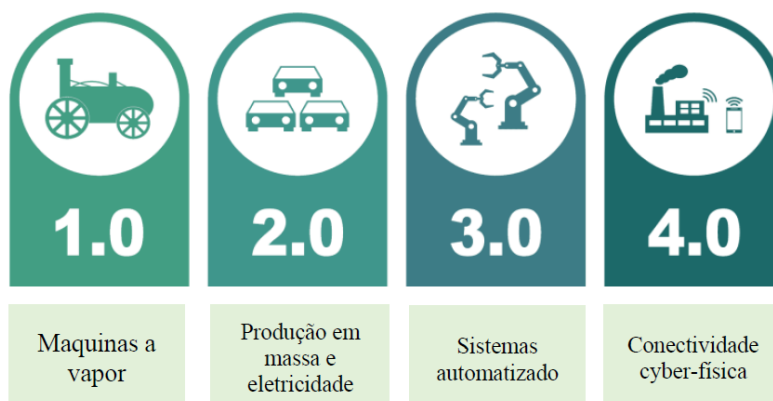


Figura 1: Fases da industrialização (autoria própria, 2024)

2.4.1 Princípios da indústria 4.0

Assim, para a implantação bem-sucedida da Indústria 4.0 em ambientes industriais requer a observância de seis princípios fundamentais. Estes princípios são essenciais para alcançar processos autônomos e eficientes, e incluem [4]:

- **Capacidade de operação em tempo real** - aquisição e tratamento de dados em tempo real, fator importante para tomada de decisões instantâneas;
- **Virtualização** - permitindo a rastreabilidade e o monitoramento remoto;
- **Descentralização** - as decisões podem ser feitas pelo sistema, como forma de atender as necessidades de produção em tempo real;
- **Orientação de Serviços** - Utilização de arquiteturas de software orientadas a serviços aliado ao conceito de *Internet of Services*;
- **Modularidade** - produção de acordo com a demanda, acoplamento e desacoplamento de módulos na produção;
- **Interoperabilidade** - Capacidade dos sistemas inteligentes comunicarem-se uns com os outros por intermédio da Internet das Coisas.

2.4.2 Implementação da indústria 4.0

As tecnologias cruciais para a implementação e operação eficaz da Indústria 4.0 podem ser categorizadas da seguinte forma [4]:

- **Internet das Coisas**: Pode ser considerado a base da industrialização, são dotados de sensores e atuadores e são denominados de sistemas;
- **Segurança cibernética**: um produto altamente tecnológico não pode está exposto a falhas de segurança;
- **Big Data Analytics**: são estruturas de dados extensas e complexas que utilizam novas abordagens para captura, análise e gerenciamento de informações;
- **Computação em nuvem**: Recurso computacional de dados capaz de ser acessado de qualquer lugar por meio de dispositivos conectados à internet;
- **Inteligência artificial**: Capacidade de sistemas computacionais realizarem tarefas que normalmente exigiriam inteligência humana, como aprendizado, raciocínio, e resolução de problemas, impulsionada por algoritmos e modelagem de dados.

2.4.3 Definição dos níveis da automação

ISA-95 ou ANSI/ISA-95, é uma norma internacional que define uma estrutura hierárquica para integração de sistemas de automação industrial, abordando questões como comunicação, intercâmbio de dados e coordenação entre diferentes níveis de automação. Ela se concentra principalmente em fornecer um modelo para a integração de sistemas de chão de fábrica com os sistemas de nível empresarial [5]. Os principais níveis da norma ISA-95 são:

Nível 0 (Campo): Envolve processos físicos, como sensores, atuadores e instrumentos no chão de fábrica. Esse nível concentra os motores elétricos, válvulas e sensores, em circuitos elétricos de controle, ou equipamentos eletrônicos dedicados, que não utilizam nenhum tipo de interface para controle.

Nível 1 (Controle): Relacionado ao controle dos processos de produção, incluindo controladores lógicos programáveis (PLCs) e sistemas de controle. Esse nível apresenta um controle de processo ou de máquina customizado, permite alteração do seu funcionamento lógico e tem um sistema de interface com usuário que permite o controle dos dispositivos do nível 0. **Nível 2 (Supervisão)**: Aborda a supervisão e controle

das operações de produção, como interfaces homem-máquina (IHMs) e sistemas SCADA. aquisição de dados de sensores em tempo real, possibilitando o arquivamento em banco de dados relacionais e geração de relatórios, todos voltados para o nível operacional da planta industrial.

A ISA-95 visa melhorar a eficiência e flexibilidade dos sistemas de automação industrial, proporcionando um guia para a integração de sistemas em diferentes níveis da hierarquia de controle. Isso inclui sistemas que englobem outros setores na escala empresarial, como será tratado a seguir.

Nível 2 (Sistema de Gerenciamento de Produção): Nele, toda a malha de sistemas do nível 2 está conectada e possibilita uma interface com ordens de produção, gerenciamento de matérias-primas e estoque. Busca fazer aquisição de dados estratégicos como custos operacionais, entre outros KPIs específicos de cada processo; a ligação entre o mundo operacional com o mundo gerencial.

Nível 3, ERP (Sistema de Gerenciamento da Empresa): Esse sistema é uma plataforma que possibilita a gestão de todas as áreas de uma organização em um único ecossistema. Engloba desde RH, contabilidade, financeiro, comercial, entre outras áreas de gestão, só fica limitado a não controlar processos operacionais da indústria. A maioria das automações das indústrias brasileiras se concentra no nível 0 e 1 da pirâmide, sempre levando em consideração que o nível 3 não tem conexão direta com a automação da indústria.

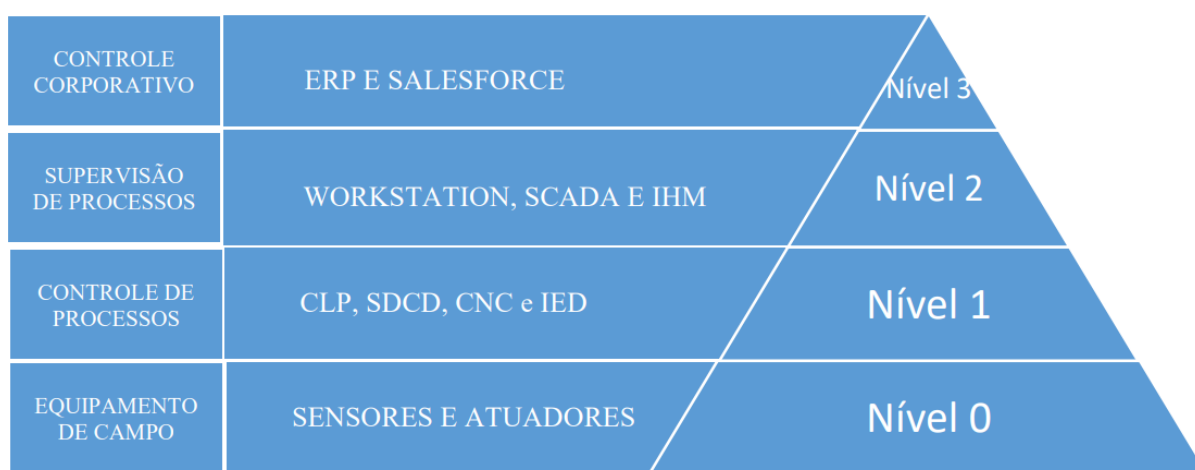


Figura 2: Pirâmide da automação (autoria própria, 2024)

2.4.4 Protocolos de comunicação MQTT e HTTP

O Protocolo MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) é um protocolo de comunicação eficiente projetado para facilitar a troca de mensagens em ambientes de comunicação máquina a máquina e Internet das Coisas (IoT). Desenvolvido inicialmente pela IBM, o MQTT opera sobre o protocolo TCP/IP, proporcionando uma comunicação assíncrona e bidirecional entre dispositivos, conhecida por sua baixa sobrecarga e consumo reduzido de largura de banda. Como protocolo de mensagens leve e altamente adaptável, o MQTT continua desempenhando um papel crucial na criação de ecossistemas de IoT interconectados e eficientes [6].

Por outro lado, o protocolo HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*) é um dos protocolos de comunicação mais utilizados na Internet e também encontra aplicação na IoT para a transferência de dados entre dispositivos e servidores. No entanto, o MQTT é particularmente mais adequado para aplicações na IoT que exigem comunicação assíncrona, baixa sobrecarga de rede e entrega rápida de mensagens em tempo real. Sendo ideal para cenários onde a rapidez na transmissão de dados é crucial, como monitoramento remoto e controle de dispositivos em tempo real.

2.4.5 Integração entre dispositivos e nuvem

Para assegurar uma comunicação eficiente e contínua entre diversos dispositivos e o ambiente virtual, é fundamental a adoção de dispositivos dotados de recursos de computação em borda (*Edge Computing*), conhecidos como *gateways*. Esses dispositivos desempenham um papel crucial ao não apenas coletar dados, mas também possuir a capacidade de tomar decisões de forma autônoma e local, mesmo em cenários de desconexão temporária. A utilização estratégica desses *gateways* é essencial para garantir a integridade operacional e otimizar o desempenho do sistema em ambientes com conectividade intermitente [7].

Estes dispositivos operam de maneira assíncrona ao armazenar algoritmos internamente, possibilitando uma ação conformidade com o contexto. Adicionalmente, os dados são retidos localmente, aguardando uma oportunidade para serem transmitidos quando a conectividade for reestabelecida. Essa tecnologia torna-se crucial em setores sujeitos a condições climáticas adversas e com equipamentos situados em locais remotos, como é o caso de unidade geradores de energia eólica offshore. Onde os aerogeradores enfrentam desafios de conectividade e são expostos a mudanças climáticas abruptas, a computação em borda revela-se uma ferramenta essencial para manter a eficiência operacional e a integridade dos dados.

2.4.4 Integração entre interfaces

Na figura 2, é apresentado o processo mencionado anteriormente, implementado com a tecnologia WEGnology. No entanto, a funcionalidade é semelhante em outros brokers, como o Node-RED, por exemplo. Neste cenário, os dispositivos (sensores, motores, etc.) estabelecem comunicação com o gateway (WCD – ED300), e os dados são transferidos posteriormente por meio do protocolo MQTT para o ambiente de desenvolvimento do WEGnology. Dentro desse ambiente, as informações passam por um fluxo de trabalho (Workflow), o que pode desencadear uma variedade de ações distintas, dependendo da análise situacional realizada. Por fim, os dados resultantes são utilizados para gerar relatórios, cujos indicadores podem ser usados para enviar notificações direcionadas aos responsáveis pela tomada de decisões.

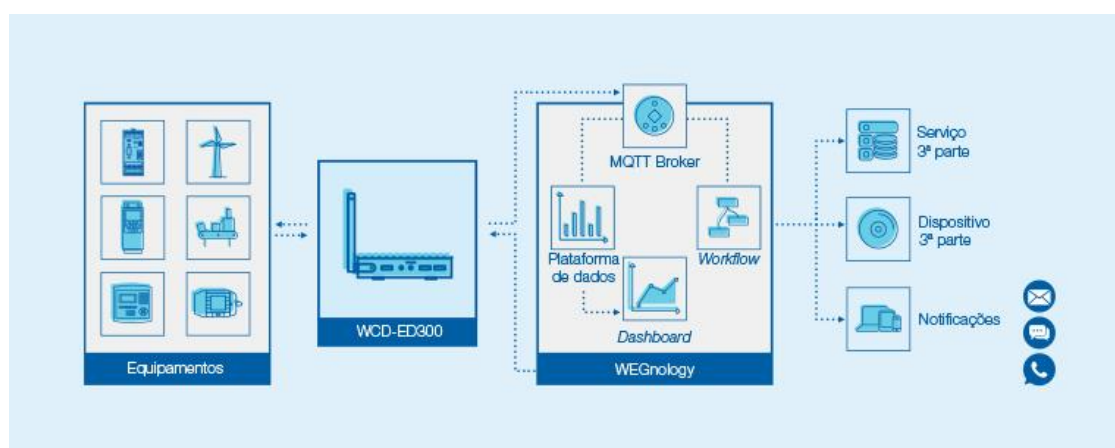


Figura 3 – Funcionamento do WEGnology [8]

2.4.6 Amazon Web Services

A computação em nuvem é uma nova forma como as organizações gerenciam e implementam recursos computacionais. Nesse cenário, a *Amazon Web Services* (AWS) destaca-se como uma das principais provedoras de serviços em nuvem, oferecendo uma ampla gama de serviços, desde armazenamento e processamento de dados até o fornecimento de ambientes de desenvolvimento e execução de aplicativos. A AWS permite que empresas dimensionem dinamicamente seus recursos de computação com base nas demandas específicas, proporcionando uma flexibilidade sem precedentes e eliminando a necessidade de investimentos significativos em infraestrutura física [9].

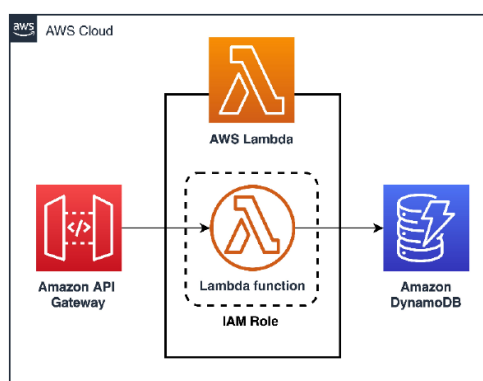


Figura 4 – Funcionamento do AWS lambda [10]

Este serviço oferece a capacidade de executar código sob demanda (Node, Python, Java e etc) sem a necessidade de gerenciar servidores dedicados, resultando em uma abordagem mais eficiente e econômica para implementações tecnológicas avançadas. A utilização do AWS Lambda permite que organizações paguem apenas pelos recursos computacionais efetivamente consumidos, eliminando assim os custos associados à infraestrutura subutilizada. Dessa forma, o AWS Lambda representa uma abordagem estratégica para otimizar os recursos computacionais, reduzir custos operacionais no contexto da indústria 4.0.

2.4.7 Sistemas supervisórios e interface homem-máquina

Os Sistemas de Interface Homem-Máquina (IHM) desempenham um papel essencial na interação entre usuários e máquinas, facilitando a comunicação efetiva e intuitiva. Por meio de elementos visuais e controles interativos, os IHMs proporcionam aos usuários a capacidade de monitorar, controlar e interagir com sistemas complexos de forma acessível, contribuindo para uma experiência de usuário otimizada, aumentando a eficiência operacional e minimizando erros durante a interação homem-máquina. O constante avanço tecnológico tem permitido o desenvolvimento de IHMs mais intuitivos, adaptáveis e inclusivos, impulsionando melhorias significativas na usabilidade e na eficácia desses sistemas [11].

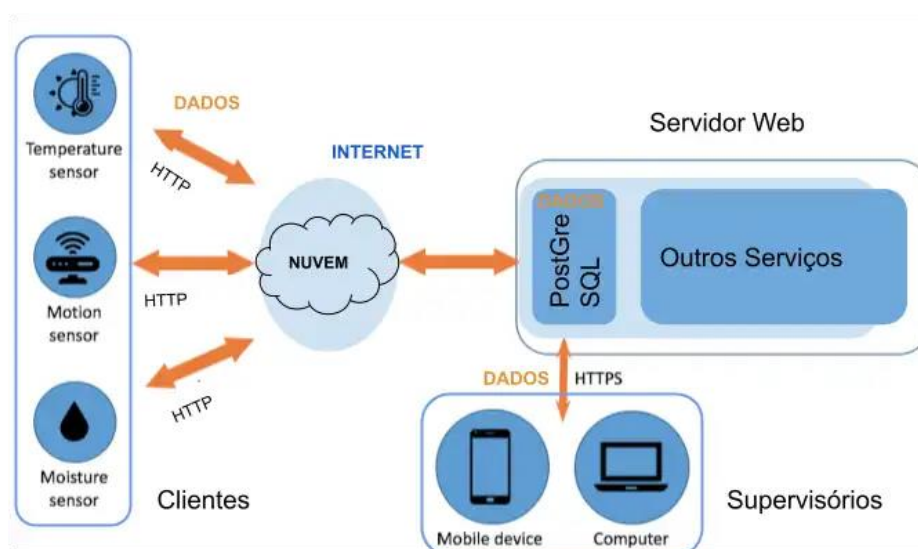


Figura 5 – Esquema de automação industrial [12].

Os supervisórios são sistemas alimentados por dados em tempo real provenientes de sensores e dispositivos IoT, permite que as equipes de operação possam tomar decisões mais precisas e imediatas. A escalabilidade dos supervisórios e a flexibilidade da Nuvem para armazenar e processar dados provenientes de uma rede de dispositivos IoT distribuídos. Permitindo o acesso em tempo real a informações cruciais sobre o desempenho operacional, possibilitando uma visão abrangente e centralizada de todas as atividades. Essa transformação impulsiona a eficiência operacional e a otimização contínua dos processos industriais. O Sistema de Controle e Aquisição de Dados (SCADA), conhecido como supervisório SCADA, é dos mais conhecidos e desempenha um papel crucial na monitorização e controle de processos industriais complexos [13].

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste artigo, foi adotado uma abordagem abrangente para investigar a convergência da Indústria 4.0 com a Internet das Coisas (IoT) e a computação em nuvem, por meio de análise bibliográfica, fazendo uso de fontes secundárias tais como livros, pesquisas na Internet e artigos. O foco da pesquisa é o funcionamento dos sistemas IoT, computação em nuvem, protocolos de comunicação e seus benefícios para as mais diversas aplicações. As etapas metodológicas incluíram:

2.1 Revisão Bibliográfica:

Foi realizado uma revisão abrangente da literatura relacionada à Indústria 4.0, computação em nuvem e IoT. Identificamos estudos sobre as principais ferramentas no mercado e pesquisas acadêmicas relevantes sobre:

- Estudo sobre as arquiteturas e tecnologias propostas nos dispositivos IoT.
- Estudo dos protocolos utilizados em equipamentos IoT.
- Estudo sobre computação em nuvem com AWS Lambda.

- Estudo sobre sistemas supervisório.
- Estudo sobre aplicações de dispositivos IoT na indústria 4.0.

Essa metodologia proporciona uma compreensão aprofundada sobre a convergência de diferentes tecnologias e as lacunas ainda presentes na comunicação entre o nível ERP e o chão de fábrica. Além disso, ao avaliar os desafios e oportunidades, identificamos os obstáculos enfrentados na adoção da Indústria 4.0, com foco na integração de IoT, e exploramos as oportunidades decorrentes dessa convergência.

3. RESULTADOS

3.1 Potencial tecnológico da indústria 4.0

De acordo as pesquisas realizadas nesse artigo, revelaram resultados significativos, no âmbito da otimização operacional, destacando as melhorias substanciais na eficiência, graças à implementação da Indústria 4.0 e à integração efetiva de dispositivos IoT. A automação e a coleta de dados em tempo real possibilitaram processos mais ágeis e adaptáveis. No aspecto da inteligência na tomada de decisões, a integração de sensores e a análise avançada de dados forneceram uma base sólida para decisões fundamentadas em informações em tempo real e com os recursos em nuvem os custos com recursos computacionais diminuem consideravelmente, em vista que as empresas pagam apenas pelos recursos utilizados. Isso contribuiu para uma gestão mais estratégica eficiente, aumentando a rendimentos e resultados nas mais diversas operações.

3.1.1 Potencial tecnológico da indústria 4.0 na saúde

Na área da saúde, a Internet das Coisas (IoT) tem desempenhado um papel crucial na transformação dos cuidados médicos. Com o avanço da tecnologia, surgiram dispositivos médicos inteligentes cada vez mais sofisticado. *Smartwatch* de última geração tem capacidade de monitoramento contínuo dos sinais vitais dos usuários, coletando dados em tempo real, os quais são enviados diretamente aos profissionais de saúde. Isso não só possibilita diagnósticos mais precisos, mas também intervenções mais rápidas e eficazes.

3.1.2 Potencial tecnológico da indústria 4.0 na agricultura

Na agricultura, a fusão entre a Indústria 4.0 e a Internet das Coisas (IoT) tem propiciado o surgimento das fazendas inteligentes, marcando uma transformação radical na forma como os alimentos são cultivados. A implementação de sensores agrícolas em áreas de cultivo e estufas possibilita um monitoramento contínuo das condições do solo, do clima e da saúde das plantas. Essas informações são processadas em tempo real para otimizar a irrigação, diminuir a utilização de agroquímicos e maximizar o rendimento das colheitas. Essa abordagem orientada por dados não apenas viabiliza uma gestão mais eficiente dos recursos hídricos e naturais, como também fomenta práticas agrícolas mais sustentáveis.

3.1.3 Potencial tecnológico da indústria 4.0 na prevenção de falhas

A integração da computação em nuvem, particularmente e com a Internet das Coisas (IoT) tem desempenhado um papel transformador na otimização na detecção de falhas. Ao utilizar a nuvem, empresas podem armazenar grandes volumes de dados gerados por dispositivos IoT em ambientes seguros. Isso permite a implementação de manutenção preditiva, onde algoritmos de análise de dados identificam padrões e anomalias, antecipando potenciais falhas em equipamentos. Isso não se limita apenas à prevenção de falhas. A capacidade de coletar dados em tempo real de sensores conectados a máquinas e equipamentos permite a criação de sistemas integrados de monitoramento. Essa abordagem baseada em dados não apenas prolonga a vida útil dos equipamentos, minimizando o tempo de inatividade, mas também facilita a tomada de decisões estratégicas para otimização contínua dos processos de manutenção [14].

3.2 Desafios identificados

De acordo com temática tratada nesse artigo, fica claro que essas tecnologias mencionadas acima representam avanços promissores em direção ao desenvolvimento de diversos setores. Contudo, apesar dos esforços e dos casos de sucesso concretizados, ainda há um caminho longo e desafiador, com questões críticas a serem tratadas para que seja de fácil implantação. Tópicos como segurança, padronização de interfaces de comunicação, reestruturação dos processos de trabalho, disponibilidade de capacidade cognitiva emergem como grandes preocupações ao considerar a incorporação da Indústria 4.0. Embora muitas empresas reconheçam que a transformação digital impulsionada pela Indústria 4.0 pode aumentar sua competitividade, a maioria ainda se sente insegura em relação à implementação de projetos nessa área [15].

3.2.1 Proteção e segurança

Com o aumento significativo de dispositivos conectados, os riscos relacionados à segurança dos dados também aumentam. No contexto da Indústria 4.0, onde a comunicação autônoma entre dispositivos é predominante, é crucial estabelecer procedimentos que garantam um nível de segurança adequado aos riscos representados e à natureza dos dados a serem protegidos. Isso inclui proteger a propriedade intelectual, dados pessoais e privacidade, garantir a operabilidade, além de promover a proteção ambiental e segurança dos trabalhadores.

3.2.2 Padronização

A padronização é um dos principais desafios na implementação eficaz da Indústria 4.0. Para alcançar todo o potencial e garantir a interoperabilidade dos sistemas, é crucial adotar uma arquitetura de referência que inclua normas técnicas e permita uma comunicação eficaz entre os diversos usuários e processos, integrando a produção, sistemas e partes interessadas na gestão. Nesse contexto, os padrões abertos desempenharão um papel crucial nos ambientes 4.0. Por exemplo, nos últimos anos, a integração da IoT (*Internet das Coisas*) nos sistemas produtivos tem aumentado significativamente a quantidade, heterogeneidade e velocidade dos dados gerados no nível de produção. Sem uma abordagem padronizada para análise, processamento e armazenamento dessas informações, os dados em diferentes formatos permaneceriam incompatíveis globalmente, limitando assim a abordagem 4.0 à produção local e restringindo sua capacidade de alcançar economias de escala e ganhos de produtividade.

3.2.3 Capacidade Cognitiva

Um dos desafios mais cruciais enfrentados pela Indústria 4.0 está intrinsecamente ligado às pessoas. Os novos paradigmas terão implicações significativas na natureza do trabalho, pois revolucionarão a concepção, fabricação e operação de produtos e serviços nos sistemas de produção. Essas transformações resultam do surgimento de sistemas tecnológicos altamente sofisticados, demandando cada vez mais trabalhadores com habilidades específicas [15]. Uma possível solução para mitigar esse problema é o aumento da migração de talentos. No entanto, a integração de trabalhadores com diferentes culturas e competências educacionais trará desafios adicionais para as indústrias. Isso implica que as empresas comprometidas com o paradigma da Indústria 4.0 terão que investir em programas de formação contínua e desenvolvimento, capacitando os operadores para lidar com as novas ferramentas e tecnologias, e possibilitando a captura e reutilização sistemática do conhecimento deles para manter sua efetividade.

4. CONCLUSÃO

A convergência da Indústria 4.0 com a Internet das Coisas (IoT) e a computação em nuvem representa uma evolução significativa nos processos industriais, proporcionando melhorias substanciais na eficiência operacional, inteligência na tomada de decisões e gestão estratégica dos recursos. A automação, a coleta de dados em tempo real e a análise avançada de dados permitem processos mais ágeis, adaptáveis e orientados por dados. Isso não apenas aumenta a produtividade e a qualidade dos produtos, mas também reduz os custos operacionais e promove práticas mais sustentáveis em diversos setores, como saúde, agricultura e energia.

A resposta ágil a mudanças torna essas tecnologias essenciais para a competitividade. A busca constante por padrões de segurança robustos e a capacidade de adaptação a novas tecnologias emergentes são componentes críticos para o sucesso em um mercado cada vez mais dinâmico. À medida que avançamos nessa era de transformação digital, a convergência da Indústria 4.0 com a IoT oferece um promissor futuro, considerando não apenas os benefícios imediatos, mas também a sustentabilidade a longo prazo. Dessa forma, o uso da alta tecnologia diminui as chances do erro humano, reduz os custos, aumenta a capacidade produtiva e eficiência em todos os processos.

No entanto, a implementação bem-sucedida da Indústria 4.0 enfrenta desafios importantes, como a segurança dos dados, a padronização de interfaces de comunicação e a capacidade cognitiva dos trabalhadores. É crucial estabelecer procedimentos robustos de proteção de dados, adotar padrões abertos para garantir a interoperabilidade e investir em programas de formação e desenvolvimento para capacitar os profissionais a lidar com as novas tecnologias. Apesar dos desafios, a convergência da Indústria 4.0 com a IoT e a computação em nuvem abre caminho para uma era de inovação, eficiência e sustentabilidade nos processos industriais, proporcionando benefícios tangíveis tanto para as empresas quanto para a sociedade como um todo, resultando em novos processos, produtos e modelos de negócios e que consequentemente terão grandes impactos sociais, econômicos e tecnológicos.

REFERÊNCIAS

- [1] SAKURAI, R; ZUCHI, J. D. Revoluções industriais até a indústria 4.0. *Revista interface tecnológica*, v. 15, n. 2, p. 480–491, 2018.
- [2] PACCHINI, A. P. T. et al. Indústria 4.0: barreiras para implantação na indústria brasileira. *Exacta*, v. 18, n. 2, p. 278–292, 2020.
- [3] SCHWAB, Klaus. *A Quarta Revolução Industrial*. [s.l.]: EDIPRO, 2019.
- [4] SACOMANO, José Benedito; GONÇALVES, Rodrigo Franco; BONILLA, Sílvia Helena; et al. *Indústria 4.0*. [s.l.]: Editora Blucher, 2018.
- [5] NAKAYAMA, Ruy Sômei. Oportunidades de atuação na cadeia de fornecimento de sistemas de automação para indústria 4.0 no Brasil. *Doutorado em Engenharia de Produção*, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.
- [6] GONZAGA, Humberto José. Monitoramento Remoto e Diagnósticos Aplicados a Processos Industriais, Dentro do Conceito da Indústria 4.0. *Universidade federal de Itajubá programa de pós-graduação em engenharia elétrica*. Itajubá, agosto de 2023.
- [7] ARAÚJO, G. A. Alocação de recursos com base na prioridade de tarefas e no consumo de recursos na computação de borda. 2023. 83 f. *Dissertação (Mestrado em Engenharia de Teleinformática)* – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2023.
- [8] Plataforma IoT WEGnology. WEG. Disponível em: <<https://www.weg.net/institutional/BR/en/digital-solutions/solutions/wegnology>>. Acesso em: 25 mar. 2024.
- [9] LOUREIRO, R. A. Internet das Coisas: Arquiteturas, plataformas e estudo de casos. 2019. *Dissertação de Mestrado Mestrado em Engenharia Eletronica Industrial e de Computadores*. Universidade de Minho Escola de Engenharia. Braga, Guimarães; Portugal. 2019.
- [10] Amazon Web Service. AWS Lambda. Disponível em <https://aws.amazon.com/pt/lambda/> acessado em 13 março 2024.
- [11] MENDES, C. B. et al. Indústria 4.0 a digitalização da manufatura: um estudo de caso. 2020.
- [12] OLIVEIRA, L. Internet das Coisas e seu espaço na Computação em Nuvem. DIO. Disponível em: <<https://www.dio.me/articles/internet-das-coisas-e-seu-espaco-na-computacao-em-nuvem>>. Acesso em: 25 mar. 2024.
- [13] RONCOLI, A. M.; REGATTIERI, C. R. O impacto de um sistema supervisor no gerenciamento da manutenção: um estudo de caso em uma indústria alimentícia. *Revista Interface Tecnológica*, [S. l.], v. 15, n. 2, p. 527–538, 2018.
- [14] SILVA, M. I. T. Melhoria de processos e manutenção inteligente de ferramentas no âmbito da indústria 4.0. Porto, Portugal, 2016 (*Dissertação de mestrado*, Faculdade de engenharia, Universidade do Porto).
- [15] SANTOS, B. P. et al. Indústria 4.0: desafios e oportunidades. *Revista Produção e Desenvolvimento*, v. 4, n. 1, p. 111–124, 2018.