

IOT NETWORKS AND TECHNOLOGICAL INNOVATION IN INDUSTRY

REDES IOT E INOVAÇÃO TECNOLÓGICA NA INDÚSTRIA

GUSTAVO GARCIA DE AMO<https://orcid.org/0009-0009-5390-4066/> gustavo.garcia.de.amo@gmail.com*Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial SENAI/SC, Timbó, Santa Catarina.***HERMANO ROEPKE**<https://orcid.org/0000-0003-3282-156X/> hermano.roepke@edu.sc.senai.br*Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial SENAI/SC, Timbó, Santa Catarina.*

Recebido em: 14/11/2024

Aprovado em: 11/12/2024

Publicado em: 27/12/2024

**RESUMO**

A tecnologia tem se mostrado uma vantagem competitiva em nossos ambientes industriais. Desde atividades básicas como plantio e agropecuária até a transformação e desenvolvimento do produto acabado, ela pode ser empregada a fim que agregue valor, segurança e lucratividade para as indústrias. Este artigo científico aborda a relevância das redes industriais na era da Indústria 4.0, com foco na implantação e organização de redes que integram dispositivos IoT – *Internet Of Things* (Internet das Coisas) - para otimizar processos e gerar vantagens competitivas. Serão explorados os diferentes tipos de redes industriais, protocolos de comunicação, tecnologias de conectividade para dispositivos IoT e equipamentos utilizados. Além disso, serão analisados os desafios e oportunidades na implementação de redes IIoT, como segurança, escalabilidade e interoperabilidade. Por fim, serão apresentados estudos de caso que demonstram como a adoção de redes IIoT pode gerar benefícios tangíveis para as indústrias, como aumento da eficiência, redução de custos e melhoria da qualidade dos produtos e serviços.

Palavras-chave: Redes industriais, Internet, Indústria 4.0, protocolos de comunicação.

ABSTRACT

Technology has been seen as a competitive advantage in our industrial environments. From basic activities such as planting and farming to the transformation and development of finished products, it can be used domestically to add value, safety and profitability to industries. This scientific article addresses the relevance of industrial networks in the Industry 4.0 era, focusing on the implementation and organization of networks that integrate IoT devices - Internet of Things - to optimize processes and generate competitive advantages. The different types of industrial networks, communication protocols, connectivity technologies for IoT devices and equipment used will be explored. In addition, the challenges and opportunities in the implementation of IIoT networks will be analyzed, such as security, scalability and interoperability. Finally, case studies will be presented that demonstrate how the adoption of IIoT networks can generate tangible benefits for industries, such as increased efficiency, cost reduction and improved quality of products and services.

Keywords: Industrial networks, Internet, Industry 4.0, communication protocols.

1 INTRODUÇÃO

A Quarta Revolução Industrial, ou Indústria 4.0, vem transformando o cenário produtivo global, impulsionando a automação e a digitalização dos processos industriais. Nesse contexto, as redes industriais emergem como alicerce dessa transformação, viabilizando a comunicação e a integração entre máquinas, sistemas e dispositivos, culminando em uma produção mais eficiente, flexível e responsiva. Dentre as tecnologias que protagonizam essa revolução, a Internet Industrial das Coisas (IIoT) se destaca, permitindo a conexão e a troca de dados entre dispositivos inteligentes em ambientes industriais.

As redes industriais, definidas como sistemas de comunicação projetados para ambientes industriais, desempenham um papel crucial na integração de dispositivos IoT, possibilitando a coleta, o processamento e a análise de dados em tempo real. A IIoT, por sua vez, refere-se à aplicação de tecnologias IoT em processos industriais, com o objetivo de otimizar a produção, reduzir custos e aumentar a competitividade.

O objetivo geral deste trabalho é analisar a importância e os desafios das redes industriais no contexto da Internet das Coisas (IoT), com foco em explorar os diferentes tipos de redes industriais, além dos aspectos de segurança, privacidade, interoperabilidade e escalabilidade. Busca-se, assim, compreender como essas redes contribuem para a inovação tecnológica na indústria, identificando tanto os benefícios proporcionados quanto as barreiras enfrentadas para uma implementação eficiente e segura.

Contudo, essa integração tecnológica traz consigo uma série de desafios, como segurança e privacidade dos dados, que são essenciais para proteger informações sensíveis e prevenir vulnerabilidades que poderiam ser exploradas por agentes mal-intencionados. Além disso, a interoperabilidade entre sistemas de diferentes fabricantes e a escalabilidade das redes industriais tornam-se fatores-chave para o sucesso de qualquer implementação. Paralelamente, a escalabilidade das redes permite que as empresas expandam suas operações de forma eficiente e econômica, adaptando-se a novas demandas e tecnologias à medida que surgem.

2 REDES INDUSTRIAIS

As redes industriais, sistemas de comunicação especializados para ambientes industriais, conectam dispositivos, máquinas, sensores e sistemas de controle, viabilizando a troca de dados em tempo real e o monitoramento remoto dos processos industriais. A convergência entre as tecnologias da informação (TI) e as tecnologias operacionais (TO) impulsionou a criação dessas redes, que se tornaram alicerces da transformação digital na Indústria 4.0. Alguns desses aspectos podem ser vistos na Figura 1 - Recurso didático Introdução à Digitalização na Indústria 4.0, que apresenta um recurso didático sobre a indústria 4.0. Este recurso digital pode ser acessado pelo seguinte link: https://recursosdidaticos.senai.br/recursohtml.php/6586/8258_0.

Figura 1 - Recurso didático Introdução à Digitalização na Indústria 4.0



Fonte: Elaborado pelo autor.

Este recurso didático simula um gestor em uma indústria de carros voadores, utilizando tecnologias da Indústria 4.0 para modernizar a fábrica em que trabalha. Na Figura 2 – Tela inicial do recurso didático Introdução à Digitalização na Indústria 4.0 – podem-se verificar as seguintes ações e indicadores: as ações são representadas por ícones de e-mail e braço robô; o desempenho é representado por uma engrenagem que indica a eficiência da produção, sendo que quanto maior o número, mais carros são produzidos; o level compara a adoção de tecnologias da Indústria 4.0; o relacionamento é representado por um coração, mostrando a propensão dos clientes a comprar da sua fábrica; e o financeiro indica a saúde financeira da sua fábrica.

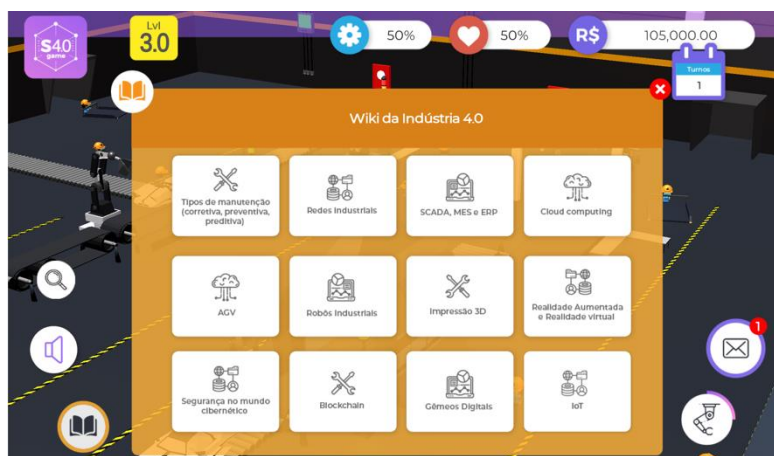
Figura 2 - Tela inicial do recurso didático Introdução à Digitalização na Indústria 4.0



Fonte: Elaborado pelo autor.

Além dessas opções pode se verificar o Wiki da indústria 4.0 que apresenta todas as tecnologias que podem ser implementadas no simulador, conforme pode ser visto na Figura 3 – Wiki da indústria 4.0 do recurso didático Introdução à Digitalização na Indústria 4.0.

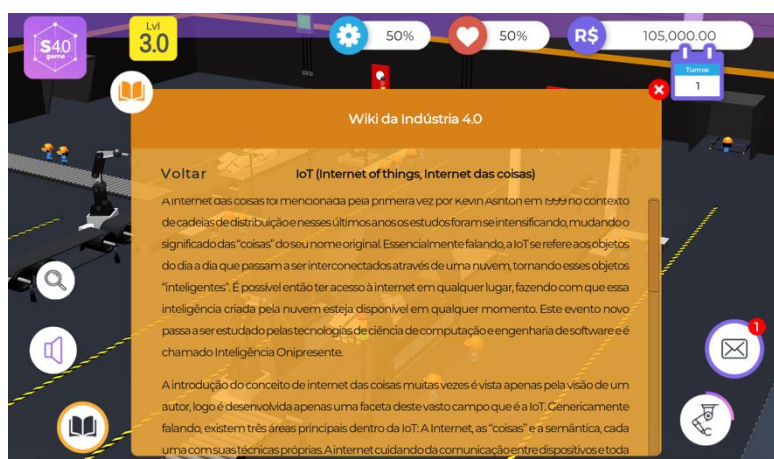
Figura 3 - Wiki da indústria 4.0 do recurso didático Introdução à Digitalização na Indústria 4.0



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após clicar em uma tecnologia da indústria 4.0 o recurso didático apresenta uma explicação sobre a tecnologia, conforme Figura 4 – Explicação da tecnologia no Wiki da indústria 4.0 do recurso didático Introdução à Digitalização na Indústria 4.0.

Figura 4 - Explicação da tecnologia no Wiki da indústria 4.0 do recurso didático Introdução à Digitalização na Indústria 4.0



Fonte: Elaborado pelo autor.

Esse recurso digital permite ter uma visão básica sobre várias tecnologias da indústria 4.0 que serão apresentados com mais profundidade e termos técnicos a seguir.

2.1 Tipos de redes industriais

Dentre os principais tipos de redes industriais, destacam-se a Ethernet/IP, PROFINET e Modbus TCP. A Ethernet/IP, baseada no protocolo Ethernet, oferece alta velocidade, flexibilidade e compatibilidade, sendo aplicada em controle de processos, automação de máquinas e sistemas de supervisão. Com o objetivo principal de alcançar a interoperabilidade e flexibilidade operacional, grupos de desenvolvedores definem normas de padrão aberto para o desenvolvimento de redes de campo por todos os interessados. Com isso todos ganham. Os desenvolvedores têm a flexibilidade de desenvolvimento de linhas de produtos em função da demanda, e os clientes não ficam totalmente dependentes de um único fornecedor (Lugli e Santos, 2010).

A PROFINET, uma rede Ethernet em tempo real, atende aos requisitos de comunicação em ambientes industriais exigentes, com comunicação determinística, alta disponibilidade e recursos de diagnóstico, sendo utilizada em controle de movimento, robótica e sistemas de segurança. O Modbus TCP, protocolo amplamente utilizado, opera sobre TCP/IP e é conhecido por sua simplicidade e compatibilidade, sendo aplicado em automação predial, sistemas de energia e controle de processos.

2.2 Protocolos de comunicação Industrial

Os protocolos de comunicação industrial garantem a interoperabilidade e a segurança da comunicação entre dispositivos. O OPC UA (Open Platform Communications Unified Architecture) é um protocolo aberto e independente de plataforma, que permite a troca de dados segura e confiável entre dispositivos de diferentes fabricantes. Ele é utilizado em monitoramento de processos, controle de máquinas e integração de sistemas. O MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*), por sua vez, é um protocolo leve e eficiente, projetado para conectar dispositivos com recursos limitados em redes de baixa largura de banda, sendo amplamente utilizado em aplicações de IoT e IIoT.

Outro exemplo relevante é a adoção de *blockchain* (Segurança e criptografia) e 5G em conjunto com as redes IIoT, que pode trazer benefícios adicionais, como a melhoria da segurança e a rastreabilidade da cadeia de suprimentos, contribuindo para o aumento da qualidade dos produtos e serviços (Kaur et al., 2021). A *blockchain* garante a imutabilidade e a transparência dos dados, enquanto o 5G oferece alta velocidade e baixa latência, permitindo o rastreamento em tempo real dos produtos ao longo da cadeia produtiva.

3 DESAFIOS E TENDÊNCIAS

A crescente adoção da IIoT em ambientes industriais traz consigo uma série de desafios e oportunidades que moldarão o futuro das redes industriais. As áreas de segurança, privacidade, interoperabilidade, escalabilidade e gerenciamento de dados, bem como a integração de novas tecnologias como 5G, "edge" e fog computing, e inteligência artificial, são cruciais para o desenvolvimento e sucesso da IIoT.

3.1 Segurança e Privacidade

A segurança e a privacidade são desafios cruciais na IIoT, devido à crescente conectividade e a natureza sensível dos dados industriais. A expansão da IIoT aumenta a superfície de ataque, tornando os sistemas mais vulneráveis a ameaças cibernéticas. Gebremichael et al. (2020) destacam a necessidade de pesquisa em criptografia quântica para proteger dispositivos com

recursos limitados: "projetando criptosistemas seguros e seguros em termos de segurança quântica, compatíveis com dispositivos com recursos limitados."¹

Eyeleko e Feng (2023) enfatizam a importância de uma abordagem holística para a segurança da IIoT, incluindo o desenvolvimento de uma arquitetura unificada que abranja todas as camadas da rede: "Instanciamos a comunidade científica a desempenhar um papel maior na criação e aplicação de uma arquitetura de segurança de IoT unificada e mais adaptável, que servirá como ponto central de segurança e privacidade para todas as camadas da IIoT."²

Dentre os fatos que demonstram o aumento da importância da segurança, pode-se destacar a rápida disseminação de vírus e worms, que são cada vez mais sofisticados. Utilizando técnicas que incluem a engenharia social, canais seguros de comunicação, exploração de vulnerabilidades e arquitetura distribuída, os ataques visam a contaminação e a disseminação rápida, além do uso das vítimas como origem de novos ataques. (NAKAMURA E GEUS, 2017, p. 11).

A segurança e privacidade apresentam fatores predominantes no momento do uso da tecnologia. Ante suas vantagens, a necessidade de evitar exposição de dados e informações é algo importante para evitar prejuízos.

3.2 Interoperabilidade e Escalabilidade

A heterogeneidade de dispositivos e protocolos na IIoT dificulta a interoperabilidade, um desafio ainda maior com a integração de novas tecnologias como o 5G. Tange et al. (2020) destacam a necessidade de soluções para garantir a comunicação e integração perfeitas entre dispositivos e tecnologias diversas: "Os desafios de interoperabilidade surgem da alta heterogeneidade de dispositivos, tecnologias e padrões, exigindo soluções para garantir comunicação e integração perfeitas".³

A escalabilidade também é um desafio, pois as redes industriais precisam lidar com o crescente número de dispositivos e o volume de dados gerados. A escalabilidade refere-se à capacidade de um sistema de lidar com o crescimento da demanda, seja pelo aumento no número de dispositivos conectados, no volume de dados ou na complexidade das operações. No contexto da IIoT, a escalabilidade é crucial, pois o número de dispositivos e sensores conectados está

¹ (GEBREMICHAEL et al., 2020).

² (EYELEKO; FENG, 2023).

³ (TANGE et al., 2020)

aumentando rapidamente, gerando uma quantidade massiva de dados que precisam ser processados, armazenados e analisados em tempo real. Khan et al. (2022) apontam para a necessidade de pesquisas para criar redes IIoT densas, ou seja, redes que podem suportar um grande número de dispositivos em uma área limitada, com infraestrutura de rede viável e integração de tecnologias de comunicação em 5G/B5G-IIoT (Beyond 5G, refere-se à próxima geração de tecnologias de comunicação móvel que sucederá o 5G.): "Research studies are required to make a dense IIoT network with feasible network infrastructure and integration of communication technologies in 5G/B5G-IIoT".⁴

3.3 Gerenciamento de dados e novas tecnologias

A coleta, armazenamento e análise de grandes volumes de dados exigem soluções eficientes e seguras. A computação em nuvem e na borda (edge computing) são tecnologias-chave para o processamento e armazenamento de dados na IIoT. A computação em neblina (fog computing) é um paradigma que estende a nuvem, distribuindo recursos como processamento e armazenamento mais próximos aos dispositivos da borda (edge devices), o que pode reduzir a latência e melhorar a eficiência no acesso aos dados. Tange et al. (2020) sugerem que os nós de neblina (fog nodes), dispositivos que implementam serviços de computação em neblina, podem atuar como intermediários entre o armazenamento externo em nuvem e os dispositivos na borda, criptografando e descriptografando os dados de forma transparente: "Fog nodes could act as middleware between external Cloud storage, and encrypt/decrypt data stored in the Cloud transparently".⁵

A inteligência artificial (IA) e o aprendizado de máquina (ML) são ferramentas poderosas para análise de dados, otimização e tomada de decisões na IIoT. No entanto, sua aplicação em ambientes industriais apresenta desafios, como a falta de consenso sobre como aplicar o ML induzido pela física em aplicações industriais (KHAN et al., 2022).

⁴ (KHAN et al., 2022).

⁵ (TANGE et al., 2020)

3.4 Internet 5G

O 5G é fundamental para a IIoT, oferecendo maior velocidade, menor latência e maior capacidade de conexão. Khan et al. (2022) exploram as tecnologias de comunicação do 5G, como URLLC (*Ultra Reliable Low Latency Communication*) e eMBB (*enhanced Mobile Broadband*), e como elas podem ser aplicadas na IIoT para garantir a confiabilidade e a alta taxa de dados necessárias para aplicações industriais críticas.

3 CONCLUSÃO

A implantação de redes IIoT requer um planejamento cuidadoso, abrangendo desde a escolha da topologia e arquitetura de rede até a configuração e testes dos equipamentos. A segurança cibernética é um aspecto crítico, demandando a implementação de medidas como firewalls, IDS/IPS, criptografia e provisionamento seguro de dispositivos. O gerenciamento contínuo da rede, incluindo monitoramento, atualização de softwares e aplicação de patches de segurança, é essencial para garantir o desempenho e a segurança.

A integração de dispositivos IoT em redes industriais apresenta desafios, como a heterogeneidade de dispositivos e protocolos, a necessidade de conectividade confiável e a segurança cibernética. No entanto, as oportunidades são vastas, desde a otimização de processos e a redução de custos até a melhoria da qualidade e a tomada de decisões baseada em dados.

O futuro das redes industriais e da IIoT é promissor, impulsionado por tecnologias como 5G, edge computing, fog computing e inteligência artificial. No entanto, desafios como segurança, privacidade e interoperabilidade precisam ser superados. A pesquisa em áreas como criptografia quântica e o desenvolvimento de arquiteturas de segurança unificadas são cruciais para proteger os sistemas industriais.

Para empresas que desejam implementar ou aprimorar suas redes IIoT, recomenda-se um planejamento cuidadoso, considerando os requisitos específicos da aplicação, a escolha de tecnologias adequadas e a segurança como prioridade. A adoção de padrões abertos como o OPC UA e a utilização de ferramentas de gerenciamento de rede podem facilitar a integração de dispositivos e garantir o desempenho e a segurança da rede. Investir em treinamento da equipe e em soluções de segurança cibernética é fundamental para proteger a rede contra ameaças e garantir a continuidade das operações.

Este estudo contribuiu para o entendimento da importância das redes industriais e da IIoT na Indústria 4.0, fornecendo informações relevantes para empresas e profissionais. Futuras pesquisas podem explorar a aplicação de inteligência artificial e aprendizado de máquina na otimização de redes industriais, o desenvolvimento de soluções de segurança cibernética mais robustas e a integração de novas tecnologias como o 5G e a computação em neblina.

REFERÊNCIAS

EYELEKO, A. H.; FENG, T. **A critical overview of industrial internet of things security and privacy issues using a layer-based hacking scenario.** IEEE Internet of Things Journal, v. 10, n. 24, p. 21917-21941, 2023. DOI: 10.1109/JIOT.2023.3308195. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10229166>. Acesso em: 22 maio 2024.

GEBREMICHAEL, T. *et al.* **Security and Privacy in the Industrial Internet of Things: Current Standards and Future Challenges.** IEEE Access, v. 8, p. 152351-152366, 2020. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3016937. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9169653>. Acesso em: 22 maio 2024.

KAUR, Manpreet; KHAN, Mohammad Zubair; GUPTA, Shikha; ALSAEEDI, Abdullah. **Adoption of Blockchain With 5G Networks for Industrial IoT: Recent Advances, Challenges, and Potential Solutions.** IEEE Access, v. 10, p. 981-997, 2021. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3138754. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9663288>. Acesso em: 22 maio 2024.

KHAN, B. S. *et al.* **URLLC and eMBB in 5G Industrial IoT: A Survey.** IEEE Open Journal of the Communications Society, v. 3, p. 1134-1163, 2022. DOI: 10.1109/OJCOMS.2022.3189013. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9826826>. Acesso em: 22 maio 2024.

TANGE, K. *et al.* **A systematic survey of industrial internet of things security: Requirements and fog computing opportunities.** IEEE Communications Surveys & Tutorials, v. 22, n. 4, p. 2489-2520, 2020. DOI: 10.1109/COMST.2020.3011208. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9146364>. Acesso em: 22 maio 2024.