



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

ANÁLISE DAS TECNOLOGIAS HABILITADORAS NA INDÚSTRIA 4.0 APLICADAS NA ENGENHARIA ELÉTRICA

ANALYSIS OF ENABLING TECHNOLOGIES IN INDUSTRY 4.0 APPLIED IN ELECTRICAL ENGINEERING

ANÁLISIS DE TECNOLOGÍAS HABILITADORAS EN LA INDUSTRIA 4.0 APLICADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA

Paulo Rozendo¹, Ronaldo Gomes Figueira¹, Luiz Henrique de Almeida Leo², Fabiana Florian¹

e5115907

<https://doi.org/10.47820/recima21.v5i11.5907>

PUBLICADO: 11/2024

RESUMO

Este trabalho apresenta a análise das tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 aplicadas no setor de energia elétrica, visando melhorar a eficiência e a confiabilidade do setor. Foi realizada pesquisa bibliográfica das principais tecnologias, como (IoT) Internet das coisas, big data, IA inteligência artificial e manufatura aditiva e suas aplicações específicas na indústria. Também foram estudados os benefícios os desafios e as soluções associadas à implementação dessas tecnologias. Os resultados destacam a importância da integração de sistemas, segurança cibernética e capacitação de pessoal para maximizar os benefícios da Indústria 4.0 no setor elétrico. Conclui-se que são evidentes as implicações da Indústria 4.0 no setor elétrico, evidenciando a importância de uma abordagem estratégica e colaborativa para maximizar os benefícios dessas tecnologias e superar os desafios que surgem com sua implementação.

PALAVRAS-CHAVE: Indústria 4.0. Tecnologias habilitadoras. Eficiência energética. Segurança cibernética. Setor elétrico.

ABSTRACT

This paper presents an analysis of Industry 4.0 enabling technologies applied in the electric power sector, aiming to improve the efficiency and reliability of the sector. A bibliographical research was carried out on the main technologies, such as (IoT) Internet of Things, big data, AI artificial intelligence and additive manufacturing and their specific applications in the industry. The benefits, challenges and solutions associated with the implementation of these technologies were also studied. The results highlight the importance of systems integration, cybersecurity and personnel training to maximize the benefits of Industry 4.0 in the electric power sector. It is concluded that the implications of Industry 4.0 in the electric power sector are evident, highlighting the importance of a strategic and collaborative approach to maximize the benefits of these technologies and overcome the challenges that arise with their implementation.

KEYWORDS: Industry 4.0. Enabling technologies. Energy efficiency. Cybersecurity. Power sector.

RESUMEN

Este trabajo presenta el análisis de las tecnologías habilitantes de la Industria 4.0 aplicadas en el sector de la energía eléctrica, con el objetivo de mejorar la eficiencia y confiabilidad del sector. Se realizó una investigación bibliográfica sobre las principales tecnologías, como (IoT) Internet de las Cosas, big data, IA, inteligencia artificial y fabricación aditiva y sus aplicaciones específicas en la industria. También se estudiaron los beneficios, desafíos y soluciones asociados con la implementación de estas tecnologías. Los resultados resaltan la importancia de la integración de sistemas, la ciberseguridad y la formación del personal para maximizar los beneficios de la Industria 4.0 en el sector eléctrico. Se concluye que las implicaciones de la Industria 4.0 en el sector eléctrico

¹ UNIARA - Universidade de Araraquara.

² Engenharia Elétrica - UNIP. Pós-Graduação FGV - Gestão Empresarial. Pós-Graduação UNESP - CREA - UNIVESP : Empreendedorismo e Inovação Tecnológica nas Engenharias.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE DAS TECNOLOGIAS HABILITADORAS NA INDÚSTRIA 4.0 APLICADAS NA ENGENHARIA ELÉTRICA
Paulo Rozendo, Ronaldo Gomes Figueira, Luiz Henrique de Almeida Leo, Fabiana Florian

son evidentes, resaltando la importancia de un enfoque estratégico y colaborativo para maximizar los beneficios de estas tecnologías y superar los desafíos que se presentan con su implementación.

PALABRAS CLAVE: *Industria 4.0. Tecnologías habilitadoras. Eficiencia energética. Ciberseguridad. Sector eléctrico.*

1. INTRODUÇÃO

A Indústria 4.0, também conhecida como a Quarta Revolução Industrial, representa a integração de tecnologias digitais avançadas nos processos de manufatura e produção. Ela é caracterizada pela convergência de tecnologias como Internet das Coisas (IoT), Big Data, Inteligência Artificial (IA), robótica avançada, computação em nuvem, cibersegurança e sistemas ciberfísicos. Essa Indústria 4.0 tem provocado mudanças significativas na engenharia elétrica ao introduzir principalmente tecnologias como a Internet das Coisas (IoT), Big Data e Inteligência Artificial (IA). Essas tecnologias permitem a automação avançada e o monitoramento em tempo real de sistemas elétricos, o que melhora a eficiência energética e possibilita a manutenção preditiva, reduzindo falhas. Além disso, a análise de grandes volumes de dados otimiza o controle e a distribuição de energia, tornando as redes elétricas mais inteligentes, flexíveis e sustentáveis. Essas inovações transformam a forma de projetar, operar e gerenciar sistemas elétricos.

Essas tecnologias permitem a criação de fábricas inteligentes, onde máquinas, sistemas e humanos se comunicam e cooperam de maneira mais eficiente e autônoma. A Indústria 4.0 promete melhorias significativas em termos de produtividade, eficiência, flexibilidade e customização, transformando a maneira como produtos são projetados, fabricados e mantidos. Além disso, ela traz novas oportunidades de inovação e modelos de negócio, ao mesmo tempo em que apresenta desafios relacionados à implementação, segurança e gestão de dados.

Diante da crescente influência das inovações digitais e da automação, torna-se essencial compreender como essas tecnologias estão remodelando a produção, distribuição e utilização de energia elétrica.

Como as tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 estão sendo aplicadas no setor elétrico e quais são os desafios e oportunidades associados a essa implementação?

O objetivo deste trabalho é avaliar como as tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 estão sendo aplicadas no setor elétrico, bem como identificar os desafios enfrentados na adoção e implementação dessas tecnologias.

Espera-se que este trabalho contribua para uma melhor compreensão das implicações da Indústria 4.0 no setor elétrico e forneça *insights* relevantes para profissionais, pesquisadores e demais interessados no tema.

Foi realizada pesquisa bibliográfica sobre as tecnologias habilitadoras tais como (IoT); Big Data e Análise de Dados; (IA) e *Machine Learning* (ML); Computação em Nuvem; Cibersegurança; Robótica Avançada; Realidade Aumentada (AR) e Realidade Virtual (VR); Manufatura Aditiva (Impressão 3D); Sistemas Ciberfísicos (CPS); 5G e Redes de Comunicação Avançadas) na Indústria



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE DAS TECNOLOGIAS HABILITADORAS NA INDÚSTRIA 4.0 APLICADAS NA ENGENHARIA ELÉTRICA
Paulo Rozendo, Ronaldo Gomes Figueira, Luiz Henrique de Almeida Leo, Fabiana Florian

4.0 e suas aplicações específicas no setor elétrico. (Base de dados do Google acadêmico no período de janeiro de 2022 a agosto de 2024).

2. A INDÚSTRIA 4.0 NO SETOR ELÉTRICO – TECNOLOGIAS HABILITADORAS

As revoluções industriais são impulsionadas pela introdução de novas tecnologias que transformam o sistema econômico, gerando mudanças qualitativas. As novas tecnologias sustentam o desenvolvimento econômico e social por um período até serem substituídas por outras mais eficientes.

Há dois principais aspectos caracterizam esses processos: a introdução sequencial e a necessidade de complementaridade entre as tecnologias inovadoras. Conforme apontado por Ndathein (2003), as novas tecnologias não entram no sistema simultaneamente, mesmo considerando a sua versão mais otimizada, bem como requer uma variedade de melhorias ao longo do tempo. Adicionalmente, é crucial reconhecer que as interações e benefícios mútuos entre diferentes tecnologias inovadoras são essenciais para as mudanças estruturais futuras, mesmo que sejam importantes por si só (Freeman; Soete, 2008).

A primeira (I) Revolução Industrial, por exemplo, testemunhou a mudança para a produção em fábricas, impulsionada por tecnologias como a energia hidráulica e a vapor. A segunda (II) Revolução Industrial trouxe avanços na ciência, aumento da escala produtiva e surgimento de indústrias baseadas em conhecimento científico.

Na transição para a terceira (III) Revolução Industrial, a microeletrônica impulsionou mudanças em diversas indústrias, promovendo o surgimento do complexo eletrônico e avanços na capacidade de processamento de informações.

A quarta (IV) Revolução Industrial, ou Indústria 4.0, é marcada por avanços físicos, digitais e biológicos, interligados pelas tecnologias digitais. Essas inovações, como a Internet das Coisas (IoT) e a manufatura aditiva, estão transformando a produção e interação econômica.

O conceito de "Indústria 4.0" surgiu na Alemanha em 2011, enfatizando a digitalização da fabricação. A termo "Indústria 4.0" refere-se às transformações decorrentes de inovações, muitas delas ainda em desenvolvimento, que podem alterar significativamente os métodos e organização da produção, além das relações entre os agentes econômicos. Iniciativas semelhantes foram também adotadas nos Estados Unidos e na China (Kagermann *et al.*, 2016).

Essas tecnologias estão interligadas, formando sistemas ciberfísicos que permitem maior controle e feedback na produção. A biotecnologia sintética oferece novas oportunidades de produção de moléculas e organismos artificiais.

A Indústria 4.0 está redefinindo os padrões de gestão, produção e interação econômica, possibilitando soluções inovadoras em diversos setores. Seus impactos incluem melhorias na mobilidade urbana, saúde e produtividade industrial.

A Indústria 4.0 está revolucionando o setor elétrico, trazendo mudanças significativas e visíveis. A descentralização dos sistemas de geração de energia, a popularização dos veículos



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE DAS TECNOLOGIAS HABILITADORAS NA INDÚSTRIA 4.0 APLICADAS NA ENGENHARIA ELÉTRICA
Paulo Rozendo, Ronaldo Gomes Figueira, Luiz Henrique de Almeida Leo, Fabiana Florian

elétricos e a rápida proliferação das tecnologias digitais são apenas alguns exemplos dessas transformações evidentes. Além das grandes instalações industriais, agora também residências e escritórios adotam projetos de iluminação sustentável e inteligente, impulsionando a demanda por sistemas robustos com sensores e controladores autônomos, conhecidos como *Smart Lighting* (Luterled, 2020).

Contudo, essas mudanças representam apenas a superfície das inovações que a Indústria 4.0 trará ao setor elétrico. À medida que novas tecnologias prometem ampliar as possibilidades de produção, soluções inovadoras antes consideradas inviáveis começarão a surgir no mercado. Um exemplo concreto disso é o projeto de *Smart Lighting* realizado pela Luter LED em parceria com a empresa Krones do Brasil, líder mundial na fabricação de máquinas para envase de bebidas.

Os objetivos da Indústria 4.0 no setor elétrico são claros: otimização de processos para produzir mais, melhor, em menos tempo e com menos recursos. A automação e o aperfeiçoamento contínuo das atividades industriais e comerciais visam aumentar a produtividade e reduzir custos. A expectativa é alcançar ganhos significativos em precisão, tanto no monitoramento quanto na produção, favorecendo o desenvolvimento de novas tecnologias e reduzindo despesas com ajustes e manutenções.

Além disso, a Indústria 4.0 traz benefícios importantes em relação à segurança do trabalhador e à redução dos impactos ambientais. A utilização crescente de robôs e máquinas em tarefas repetitivas e de risco contribui para a segurança dos funcionários, enquanto as melhorias em eficiência prometem diminuir as emissões de gases estufa e a geração de resíduos.

No entanto, o potencial da Indústria 4.0 no setor elétrico está apenas começando a ser explorado. As transformações que ainda estão por vir prometem impactar não apenas as empresas e profissionais do setor, mas também o comportamento das pessoas, influenciando aspectos culturais de forma surpreendente.

No contexto da Indústria 4.0, várias tecnologias habilitadoras estão impulsionando mudanças significativas na indústria elétrica. Estas tecnologias fornecem a base para a transformação digital e aprimoramento dos processos industriais, permitindo uma produção mais eficiente, personalizada e conectada.

Com os avanços tecnológicos recentes e a demanda crescente por produtos personalizados, maior qualidade e custos reduzidos, surge um novo modelo industrial em debate globalmente, conhecido como Indústria 4.0 (Herman *et al.*, 2016).

As principais tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 na indústria elétrica:

1. Internet das Coisas (IoT): A IoT desempenha um papel crucial na Indústria 4.0, permitindo a conexão de dispositivos, máquinas e sistemas elétricos à internet. Isso possibilita a coleta de dados em tempo real sobre o desempenho e operação de equipamentos elétricos, facilitando a monitorização remota, manutenção preditiva e otimização do consumo de energia.

2. Big Data e Analytics: A capacidade de coletar grandes volumes de dados provenientes de sensores e dispositivos IoT é complementada pelo uso de ferramentas de análise de dados



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE DAS TECNOLOGIAS HABILITADORAS NA INDÚSTRIA 4.0 APLICADAS NA ENGENHARIA ELÉTRICA
Paulo Rozendo, Ronaldo Gomes Figueira, Luiz Henrique de Almeida Leo, Fabiana Florian

avançadas. Essas análises permitem identificar padrões, tendências e *insights* úteis para melhorar a eficiência operacional, prever falhas em equipamentos e otimizar processos de produção.

3. Inteligência Artificial (IA) e Aprendizado de Máquina: A IA e o aprendizado de máquina são aplicados na indústria elétrica para automatizar tarefas, tomar decisões em tempo real e otimizar processos. Por exemplo, algoritmos de IA podem ser usados para otimizar o fluxo de energia em uma rede elétrica, prever demanda de energia e ajustar automaticamente a geração e distribuição de eletricidade.

4. Manufatura Aditiva: A manufatura aditiva, também conhecida como impressão 3D, está sendo cada vez mais utilizada na indústria elétrica para criar peças personalizadas, protótipos e componentes complexos. Isso permite uma produção mais flexível e sob demanda, reduzindo o tempo e os custos associados à fabricação de produtos elétricos.

5. Robótica Avançada: Os robôs estão sendo empregados em diversas etapas do processo de produção na indústria elétrica, desde a montagem de componentes até a realização de tarefas de inspeção e manutenção. A robótica avançada aumenta a eficiência, precisão e segurança em ambientes industriais.

6. Segurança Cibernética: Com a crescente interconexão de dispositivos e sistemas elétricos, a segurança cibernética torna-se uma preocupação fundamental. Tecnologias habilitadoras incluem soluções de criptografia, firewalls industriais e sistemas de detecção de intrusos para proteger infraestruturas críticas contra ameaças cibernéticas.

Apesar dos benefícios significativos, a adoção das tecnologias da Indústria 4.0 na indústria elétrica também enfrenta desafios específicos. Alguns desses desafios incluem:

Interoperabilidade e Padronização: A integração de sistemas legados e novas tecnologias pode ser complicada devido à falta de padronização e interoperabilidade entre dispositivos e plataformas. Soluções incluem o desenvolvimento de padrões de comunicação abertos e a adoção de arquiteturas flexíveis e modulares.

Segurança Cibernética: A crescente conectividade dos dispositivos elétricos aumenta o risco de ataques cibernéticos e violações de segurança. É essencial implementar medidas robustas de segurança cibernética, como *firewalls* industriais, criptografia de dados e monitoramento contínuo da rede.

Gestão de Dados e Privacidade: O grande volume de dados gerados por dispositivos IoT requer sistemas eficientes de gestão e armazenamento de dados. Além disso, é necessário garantir a privacidade e a proteção dos dados dos clientes e operadores.

Capacitação de Pessoal: A implementação bem-sucedida das tecnologias da Indústria 4.0 requer pessoal qualificado e capacitado para operar e manter os sistemas. Programas de treinamento e desenvolvimento profissional são essenciais para garantir que os trabalhadores possuam as habilidades necessárias.

A academia deve acompanhar cada vez mais a necessidade do chão de fábrica.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE DAS TECNOLOGIAS HABILITADORAS NA INDÚSTRIA 4.0 APLICADAS NA ENGENHARIA ELÉTRICA
Paulo Rozendo, Ronaldo Gomes Figueira, Luiz Henrique de Almeida Leo, Fabiana Florian

Investimento e Retorno sobre o Investimento (ROI): A atualização de infraestrutura e a adoção de novas tecnologias exigem investimentos significativos. As empresas enfrentam o desafio de equilibrar os custos iniciais com os benefícios a longo prazo, como redução de custos operacionais e aumento da eficiência.

Abordar esses desafios requer uma abordagem holística e colaborativa, envolvendo empresas, governos, instituições acadêmicas e organizações do setor. Ao enfrentar esses desafios de forma proativa, a indústria elétrica pode maximizar os benefícios da Indústria 4.0 e posicionar-se para o sucesso futuro.

3. SOLUÇÕES DA INDÚSTRIA 4.0 PARA MONITORAMENTO DA QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA

A Indústria 4.0 trouxe inovações tecnológicas significativas, como a Internet das Coisas (IoT) e a análise de dados em tempo real, que estão transformando o monitoramento da qualidade de energia elétrica. Essas soluções oferecem maior precisão, automação e capacidade preditiva, essenciais para garantir a eficiência e confiabilidade dos sistemas elétricos, seja em indústrias, universidades ou outros ambientes complexos. A implementação de tecnologias inteligentes para monitorar e analisar continuamente os parâmetros da rede elétrica é uma resposta eficiente às crescentes demandas por sistemas energéticos mais confiáveis e sustentáveis.

1. Sistemas de Monitoramento Remoto: Implementação de sistemas de monitoramento remoto baseados em IoT (Internet das Coisas) para coletar dados em tempo real sobre a qualidade da energia elétrica em diferentes pontos da universidade, permitindo análises precisas e imediatas.

2. Análise de Dados em Tempo Real: Utilização de algoritmos de análise de dados em tempo real para identificar variações na qualidade da energia, como flutuações de tensão, oscilações de frequência e distorções harmônicas. Exemplo de cálculo: Utilização de algoritmos de análise de Fourier para decompor o sinal elétrico e calcular a distorção harmônica total (THD).

3. Sensores Inteligentes: Instalação de sensores inteligentes em equipamentos elétricos e em pontos críticos da rede elétrica da universidade para monitorar continuamente parâmetros como tensão, corrente, frequência e fator de potência. Exemplo de cálculo: Cálculo do fator de potência a partir dos dados de tensão e corrente fornecidos pelos sensores.

4. Sistemas de Diagnóstico Avançado: Implementação de sistemas de diagnóstico avançado baseados em machine learning e inteligência artificial para identificar padrões e tendências na qualidade da energia elétrica. Exemplo de cálculo: Utilização de algoritmos de machine learning para prever falhas com base nos padrões identificados nos dados de monitoramento.

5. Integração com Sistemas de Gerenciamento de Energia: Integração dos sistemas de monitoramento da qualidade de energia com sistemas de gerenciamento de energia da universidade, permitindo uma visão holística do consumo e da qualidade da energia em toda a instituição. Exemplo de cálculo: Cálculo do consumo de energia em diferentes partes da universidade para avaliar a eficiência energética.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE DAS TECNOLOGIAS HABILITADORAS NA INDÚSTRIA 4.0 APLICADAS NA ENGENHARIA ELÉTRICA
Paulo Rozendo, Ronaldo Gomes Figueira, Luiz Henrique de Almeida Leo, Fabiana Florian

6. Alertas e Notificações Automatizadas: Configuração de alertas e notificações automatizadas para informar os responsáveis sobre eventos críticos relacionados à qualidade da energia elétrica. Exemplo de cálculo: Cálculo da magnitude das variações de tensão para acionar alertas automáticos em caso de flutuações significativas.

7. Acesso Remoto e Visualização de Dados: Disponibilização de ferramentas de acesso remoto e visualização de dados em tempo real sobre a qualidade da energia elétrica para os gestores e técnicos da universidade. Exemplo de cálculo: Visualização dos dados de monitoramento em gráficos e tabelas para facilitar a interpretação e análise dos resultados.

Essas soluções da Indústria 4.0 oferecem à Universidade Uniara uma abordagem inovadora e eficaz para o monitoramento e gerenciamento da qualidade de energia elétrica, garantindo a disponibilidade e confiabilidade dos serviços elétricos em todo o campus universitário.

Podemos adicionar um exemplo de cálculo relacionado ao consumo de energia elétrica e a economia proporcionada pela implementação de tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0, como o sistema de iluminação inteligente. Aqui está como poderíamos desenvolver isso:

Além das soluções apresentadas, é importante destacar o impacto financeiro e ambiental dessas tecnologias. No caso a substituição de lâmpadas tradicionais por lâmpadas LED, controladas por um sistema de iluminação inteligente, em uma área específica. Exemplo de Cálculo de Economia de Energia:

Consumo de Energia Elétrica com Lâmpadas Tradicionais:

- Quantidade de Lâmpadas: 50 lâmpadas incandescentes de 60 W
- Horas de Uso por Dia: 8 horas
- Dias por Mês: 30 dias

Cálculo do Consumo:

- Consumo mensal:
 - $50 \text{ lâmpadas} \times 60 \text{ W} \times 8 \text{ h/dia} \times 30 \text{ dias} = 72.000 \text{ Wh} = 72 \text{ kWh}$

Custo Mensal:

- Tarifa de energia: R\$ 0,85 por kWh
- Custo mensal:
 - $72 \text{ kWh} \times \text{R\$ } 0,85 = \text{R\$ } 61,20$

Consumo de Energia Elétrica com Lâmpadas LED:

- Quantidade de Lâmpadas: 50 lâmpadas LED de 12 W

Cálculo do Consumo:

- Consumo mensal:
 - $50 \text{ lâmpadas} \times 12 \text{ W} \times 8 \text{ h/dia} \times 30 \text{ dias} = 14.400 \text{ Wh} = 14,4 \text{ kWh}$

Custo Mensal:

- Custo mensal:
 - $14,4 \text{ kWh} \times \text{R\$ } 0,85 = \text{R\$ } 12,24$

Economia Mensal de Energia:



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE DAS TECNOLOGIAS HABILITADORAS NA INDÚSTRIA 4.0 APLICADAS NA ENGENHARIA ELÉTRICA
Paulo Rozendo, Ronaldo Gomes Figueira, Luiz Henrique de Almeida Leo, Fabiana Florian

- Economia mensal:
 - R\$ 61,20 (incandescentes) - R\$ 12,24 (LED) = R\$ 48,96

Impacto Financeiro Anual:

- Economia anual:
 - R\$ 48,96 × 12 meses = R\$ 587,52

Impacto Ambiental – Redução de CO₂:

- Emissões com Lâmpadas Incandescentes:
 - Emissões: 72 kWh × 0,084 kg/kWh = 6,048 kg de CO₂
- Emissões com Lâmpadas LED:
 - Emissões: 14,4 kWh × 0,084 kg/kWh = 1,2096 kg de CO₂
- Redução de Emissões:
 - Redução: 6,048 kg - 1,2096 kg = 4,8384 kg de CO₂ por mês
- Redução Anual:
 - Redução anual: 4,8384 kg × 12 = 58,0608 kg de CO₂

Resumo dos Valores:

- Economia Mensal: R\$ 48,96
- Economia Anual: R\$ 587,52
- Redução Mensal de CO₂: 4,84 kg
- Redução Anual de CO₂: 58,06 kg

4. ILUMINAÇÃO INTELIGENTE

A iluminação inteligente combinada com o IIoT, sensores e Wi-Fi oferece uma solução eficiente e moderna para o controle e gestão da iluminação.

Sensores instalados em ambientes monitoram a presença de pessoas, a luminosidade natural e outras variáveis, permitindo ajustar a intensidade da luz conforme a necessidade real. Essa comunicação é feita via redes como Wi-Fi, e os dados são enviados a um sistema central, acessível remotamente por aplicativos ou plataformas web.

Esse sistema ajusta dinamicamente a iluminação, apagando ou reduzindo a luz em ambientes desocupados para economizar energia. A iluminação inteligente também permite o monitoramento remoto para identificar falhas ou necessidades de manutenção, reduzindo custos e aumentando a eficiência.

Cálculos de Economia de Energia:

1. **Potência Consumida:**
 - Lâmpada Tradicional: 60 watts
 - Lâmpada LED: 10 watts
2. **Consumo de Energia:**



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE DAS TECNOLOGIAS HABILITADORAS NA INDÚSTRIA 4.0 APLICADAS NA ENGENHARIA ELÉTRICA
Paulo Rozendo, Ronaldo Gomes Figueira, Luiz Henrique de Almeida Leo, Fabiana Florian

- Lâmpadas Tradicionais: $200 \text{ lâmpadas} \times 60 \text{ watts} \times 12 \text{ horas} = 144.000 \text{ watt-hora}$ ou 144 kWh/dia
- Lâmpadas LED: $200 \text{ lâmpadas} \times 10 \text{ watts} \times 12 \text{ horas} = 24.000 \text{ watt-hora}$ ou 24 kWh/dia

3. Economia de Energia:

- Economia Diária: $144 \text{ kWh} - 24 \text{ kWh} = 120 \text{ kWh}$
- Economia Mensal: $120 \text{ kWh/dia} \times 30 \text{ dias} = 3.600 \text{ kWh}$
- Economia Anual: $3.600 \text{ kWh/mês} \times 12 \text{ meses} = 43.200 \text{ kWh}$

Essa economia significativa demonstra o impacto que a integração de tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0, como sensores e IIoT, pode ter na redução do consumo de energia. Além de promover benefícios financeiros, há uma contribuição ambiental importante devido à redução no consumo energético.

4.1 Outras aplicações das tecnologias da indústria 4.0 no setor elétrico

Além do controle de iluminação, as tecnologias da Indústria 4.0 oferecem outras aplicações com grandes benefícios no setor elétrico, como:

- Monitoramento Remoto de Ativos: A IoT possibilita o monitoramento em tempo real de ativos elétricos, como transformadores e disjuntores, permitindo a detecção precoce de falhas e a realização de manutenção preditiva, aumentando a disponibilidade dos equipamentos.
- Gestão de Energia Inteligente: Sistemas baseados em IoT, Big Data e IA permitem o controle preciso do consumo de energia, otimizando recursos e reduzindo custos operacionais.
- Produção Personalizada e Flexível: Com a manufatura aditiva e robótica avançada, empresas podem produzir componentes personalizados de maneira eficiente, atendendo a demandas de clientes de forma ágil.
- Melhoria da Segurança e Confiabilidade: A automação e a robótica reduzem a exposição de trabalhadores a ambientes perigosos, enquanto a análise de dados em tempo real identifica potenciais problemas de segurança.
- Redução do Impacto Ambiental: A eficiência energética e a gestão inteligente dos recursos reduzem o consumo de energia e as emissões de gases de efeito estufa, contribuindo para metas de sustentabilidade ambiental.

5. ENERGIAS SUSTENTÁVEIS NO SETOR ELÉTRICO E INDÚSTRIA 4.0

A relação entre energias sustentáveis no setor elétrico e a Indústria 4.0 é profundamente entrelaçada, pois ambos os campos dependem fortemente de inovações tecnológicas, infraestrutura aprimorada e regulamentações adaptadas. A adoção de fontes de energia limpa, em muitos aspectos, ecoa os princípios da Quarta Revolução Industrial, exigindo avanços tecnológicos para seu



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE DAS TECNOLOGIAS HABILITADORAS NA INDÚSTRIA 4.0 APLICADAS NA ENGENHARIA ELÉTRICA
Paulo Rozendo, Ronaldo Gomes Figueira, Luiz Henrique de Almeida Leo, Fabiana Florian

desenvolvimento. Essa convergência não apenas impulsiona novos modelos de negócios, mas também pode ser vantajosa para a indústria, que é um dos maiores consumidores de energia elétrica globalmente, representando uma parcela significativa da produção nacional de energia, como no Brasil, onde consome cerca de 40% (Luterled, 2020).

A combinação de energias renováveis com a digitalização da indústria é crucial para evitar a criação de novas dependências energéticas que possam comprometer a sustentabilidade ambiental, resultando em emissões de carbono mais elevadas e impactos negativos no planeta.

A Indústria 4.0 oferece uma série de oportunidades para empresas economizarem energia em diferentes setores. A digitalização dos processos de fabricação, uma característica central da Indústria 4.0, permite a implementação de várias estratégias para otimizar o consumo energético e adaptar os processos de negócios.

Por exemplo, tecnologias da Indústria 4.0 podem ser aplicadas para melhorar a eficiência energética de robôs interconectados, reduzindo seu consumo sem comprometer a produtividade. Além disso, inovações digitais permitem substituir métodos de fabricação tradicionais, que tendem a consumir mais energia, por alternativas mais eficientes em termos de energia, tempo e custo.

A digitalização também possibilita a transformação de processos de negócios, como a digitalização do atendimento ao cliente para uma interação mais direta e personalizada, o que pode levar ao desenvolvimento de produtos ou serviços sob demanda, eliminando recursos desnecessários para determinados clientes.

Por outro lado, ferramentas como MATLAB e Simulink desempenham um papel fundamental na otimização do uso de energia e na integração de fontes de energia sustentável em sistemas existentes. MATLAB oferece capacidades avançadas de computação numérica e visualização de dados, enquanto Simulink é especializado em modelagem e simulação de sistemas dinâmicos.

Juntas, essas ferramentas permitem uma variedade de aplicações em projetos de energia sustentável, desde o planejamento de sistemas de gerenciamento e armazenamento de energia até a melhoria da eficiência energética em diferentes contextos. As possibilidades oferecidas por MATLAB & Simulink são vastas e podem ser exploradas em uma variedade de cenários para impulsionar a adoção de energias renováveis e a eficiência energética.

6. FERRAMENTAS FACILITADORAS PARA INDÚSTRIA 4.0

6.1 WEG gestão de energia

As Ferramentas Facilitadoras para Indústria 4.0" tratam das tecnologias que impulsionam a digitalização industrial, como IoT, IA, Big Data e robótica. Essas ferramentas, como sensores conectados e *softwares* de automação, otimizam a produção, aumentam a eficiência e tornam os processos mais inteligentes e autônomos.

É importante mencionar as ferramentas de gerenciamento configuráveis para análise da eficiência energética, abrangendo desde a geração e consumo de energia até os equipamentos que



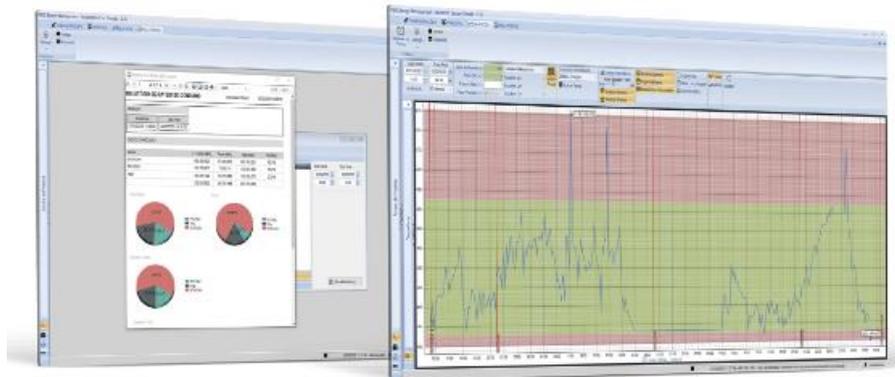
RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE DAS TECNOLOGIAS HABILITADORAS NA INDÚSTRIA 4.0 APLICADAS NA ENGENHARIA ELÉTRICA
Paulo Rozendo, Ronaldo Gomes Figueira, Luiz Henrique de Almeida Leo, Fabiana Florian

medem o uso de outras fontes, como gás natural e ar comprimido. Ao correlacionar esses processos, essas ferramentas otimizam o gerenciamento e promovem o uso inteligente dos recursos.

A **Figura 2** mostra um exemplo prático dessas ferramentas. A imagem, intitulada "*Siemens – Energy Manager*", apresenta uma solução desenvolvida para atender à norma ISO 50001, que é focada na gestão eficiente de energia, ilustrando uma das abordagens mais modernas para otimizar o uso de energia em ambientes industriais.

Figura 1. Siemens – *Energy Manager*. Uma das soluções para atender a ISSO 50001



Ref.Figura pág 1 (*WEG Energy Management*)

6.2 MATLAB e SIMULINK: ferramentas essenciais para modelagem e análise de sistemas dinâmicos

MATLAB (Matrix Laboratory) é um ambiente de programação de alto nível e uma plataforma poderosa para computação numérica, amplamente utilizado em engenharia, matemática, física, finanças e outras disciplinas que envolvem análise e manipulação de grandes volumes de dados. Desenvolvido pela MathWorks, MATLAB oferece uma interface fácil de usar e uma vasta gama de ferramentas que facilitam a solução de problemas matemáticos complexos, simulação de sistemas, visualização de dados e desenvolvimento de algoritmos (Moore, 2022)

MATLAB foi criado por Cleve Moler no final da década de 1970 como uma ferramenta de ensino de álgebra linear e análise numérica (Moore, 2022). Ao longo dos anos, ele evoluiu de uma linguagem de programação focada em matemática para uma plataforma multifuncional com suporte para uma ampla gama de aplicações. Atualmente, é amplamente utilizado em instituições acadêmicas, laboratórios de pesquisa e indústrias.

6.3 As principais características do MATLAB e SIMULINK

Ambiente de Computação Matricial: Como o nome sugere, MATLAB é especializado na manipulação de matrizes, sendo especialmente útil para problemas que envolvem álgebra linear, como a solução de sistemas de equações, transformações e manipulação de grandes conjuntos de dados (Moore, 2022).



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE DAS TECNOLOGIAS HABILITADORAS NA INDÚSTRIA 4.0 APLICADAS NA ENGENHARIA ELÉTRICA
Paulo Rozendo, Ronaldo Gomes Figueira, Luiz Henrique de Almeida Leo, Fabiana Florian

Linguagem de Programação de Alto Nível: MATLAB utiliza uma linguagem de programação de alto nível que é intuitiva e fácil de aprender para iniciantes, ao mesmo tempo que é poderosa o suficiente para usuários avançados. Sua sintaxe simples facilita a prototipagem rápida e o desenvolvimento de algoritmos (Moore, 2022).

Ferramentas de Visualização de Dados: MATLAB oferece uma vasta gama de ferramentas para criar gráficos e visualizações interativas. Desde gráficos simples em 2D até representações complexas em 3D, os usuários podem facilmente representar dados, o que facilita a análise e interpretação dos resultados (Moore, 2022).

Biblioteca de Funções Extensas: O *software* inclui muitas bibliotecas e funções pré-desenvolvidas para cálculos matemáticos, estatísticas, controle de sistemas, processamento de sinais, aprendizado de máquina e muitos outros campos (Moore, 2022).

Simulink: Além do MATLAB, a MathWorks também desenvolveu o Simulink, uma extensão voltada para a simulação de sistemas dinâmicos. Com o Simulink, é possível modelar sistemas mecânicos, elétricos e de controle, entre outros (Moore, 2022).

6.4 As principais

Engenharia e Ciência: MATLAB é uma ferramenta comum em diversas engenharias e disciplinas científicas. É amplamente utilizado para modelagem e simulação de sistemas físicos, processamento de sinais, análise de dados experimentais, controle de sistemas e robótica (Moore, 2022).

Finanças: No setor financeiro, MATLAB é utilizado para a modelagem de risco, otimização de carteiras, precificação de ativos e análise de séries temporais (Moore, 2022).

Aprendizado de Máquina e Inteligência Artificial: Nos últimos anos, o MATLAB tem sido amplamente utilizado para o desenvolvimento de modelos de aprendizado de máquina e IA. Com o Toolbox de Aprendizado de Máquina, os usuários podem construir, treinar e validar modelos complexos com facilidade (Moore, 2022).

Automação Industrial: Muitas indústrias utilizam o MATLAB para monitoramento e controle de processos, além de desenvolver soluções automatizadas para fabricação e produção (Moore, 2022).

6.5. As vantagens do MATLAB & SIMULINK

- Interface Gráfica Intuitiva: A facilidade de uso e a interface gráfica tornam o MATLAB uma escolha popular para estudantes e profissionais (Moore, 2022).
- Suporte a Extensões e Integração: O MATLAB suporta a integração com outras linguagens de programação, como C, C++, Python, Java e .NET, além de permitir a criação de interfaces gráficas personalizadas (Moore, 2022).
- Atualizações Regulares: A MathWorks frequentemente atualiza o MATLAB & SIMULINK, adicionando novos recursos e melhorando a eficiência (Moore, 2022).



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

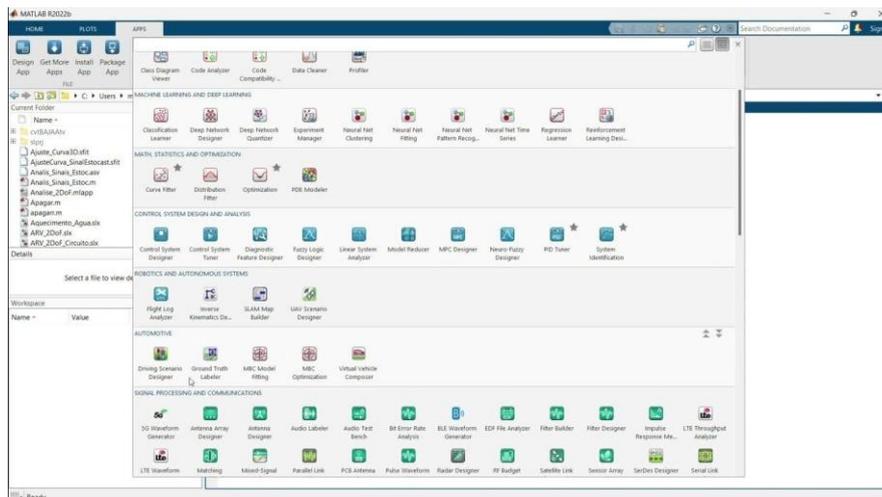
ANÁLISE DAS TECNOLOGIAS HABILITADORAS NA INDÚSTRIA 4.0 APLICADAS NA ENGENHARIA ELÉTRICA
Paulo Rozendo, Ronaldo Gomes Figueira, Luiz Henrique de Almeida Leo, Fabiana Florian

Embora o MATLAB & SIMULINK seja uma ferramenta poderosa, ele apresenta alguns desafios:

- **Custo Elevado:** Uma das principais desvantagens do MATLAB é seu alto custo, o que pode torná-lo inacessível para alguns usuários, especialmente estudantes e pequenas empresas. (Moore, 2022).
- **Dependência do Ambiente Proprietário:** O MATLAB é uma plataforma proprietária, o que limita a portabilidade do código para outras linguagens de programação (Moore, 2022).

MATLAB é uma ferramenta versátil e amplamente reconhecida em várias disciplinas. Sua capacidade de lidar com problemas complexos, realizar simulações e gerar visualizações torna-o indispensável para engenheiros, cientistas e analistas de dados. Embora tenha alguns desafios, como o custo elevado, sua popularidade e robustez continuam a crescer à medida que mais indústrias e áreas acadêmicas adotam soluções baseadas em dados e algoritmos complexos. (Moore, 2022).

Figura 2. (Autor)



Captura de tela - Conhecendo a interface do MATLAB (Youtube)

7. CONSIDERAÇÕES

Após a análise detalhada das tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 aplicadas no setor elétrico e suas respectivas aplicações, é possível chegar a algumas conclusões importantes. Inicialmente, observamos que a implementação dessas tecnologias está impulsionando uma transformação significativa na indústria elétrica, possibilitando maior eficiência, flexibilidade e controle sobre os processos de geração, distribuição e consumo de energia elétrica.

Ao investigar as aplicações específicas dessas tecnologias, constatamos que sistemas de monitoramento remoto, análise de dados em tempo real, sensores inteligentes e sistemas de diagnóstico avançado estão sendo amplamente adotados para melhorar a qualidade e a



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE DAS TECNOLOGIAS HABILITADORAS NA INDÚSTRIA 4.0 APLICADAS NA ENGENHARIA ELÉTRICA
Paulo Rozendo, Ronaldo Gomes Figueira, Luiz Henrique de Almeida Leo, Fabiana Florian

confiabilidade da energia elétrica. Além disso, a integração com sistemas de gerenciamento de energia e a automação de processos estão otimizando a operação e manutenção de infraestruturas elétricas em diferentes ambientes, desde residências até grandes instalações industriais.

É possível identificar que as tecnologias estão mais acessíveis e o monitoramento remoto *online* utilizando a rede de dados 4G e 5G, impulsionará ainda mais a adoção de estratégias para obter dados e transformá-los em informações úteis para o gerenciamento dos recursos e geração de energia elétrica.

No entanto, durante a discussão dos resultados, também identificamos desafios significativos que precisam ser superados para uma implementação eficaz das tecnologias da Indústria 4.0 no setor elétrico. A interoperabilidade e padronização de sistemas, a segurança cibernética, a gestão de dados e privacidade e a capacitação de pessoal foram identificados como áreas críticas que exigem atenção e investimento por parte das empresas e instituições do setor.

Diante dessas considerações, podemos concluir que as tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 oferecem oportunidades significativas para aprimorar a eficiência e a sustentabilidade do setor elétrico. No entanto, para aproveitar ao máximo essas oportunidades, é necessário abordar os desafios identificados de forma proativa e colaborativa, envolvendo todos os stakeholders relevantes, desde empresas e governos até instituições acadêmicas e organizações da sociedade civil.

Em suma, este estudo contribui para uma melhor compreensão das implicações da Indústria 4.0 no setor elétrico e destaca a importância de uma abordagem estratégica e integrada para aproveitar os benefícios dessas tecnologias e superar os desafios associados à sua implementação.

REFERÊNCIAS

FREEMAN, C.; SOETE, L. **A economia da inovação industrial**. Campinas: Editora da Unicamp, 2008.

HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. Design principles for industrie 4.0 scenarios: a literature review. *In: ANNUAL HAWAII INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEM SCIENCES*, 49. Estados Unidos. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2016. p. 3928–3937.

KAGERMANN, H. *et al.* **Industrie 4.0 in a Global Context: Strategies for Cooperating with International Partners**. Munich: ACATECH, 2016.

LUTERLED. Indústria 4.0 no setor elétrico: o que mudou? [S. I.]: Luterled, 2020. Disponível em: <https://www.luterled.com.br/blog-industria-4-0>. Acesso em: 27 mar. 2024.

MATLAB. 1994-2024 The MathWorks, Inc. Disponível em: <https://www.mathworks.com/products/matlab.html> - Acesso em: 06 set. 2024

MATLAB. **Conhecendo a interface do MATLAB**. [S. I.]: Matlab, s. d. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=y4rZJQi4j5g> - Acesso em: 06 Set de 2024

MOORE, H. **MATLAB for Engineers, 6th edition**. Holly Moore: Salt Lake Community College - Pearson Education Inc, 2022 ISBN: 9780137627981.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE DAS TECNOLOGIAS HABILITADORAS NA INDÚSTRIA 4.0 APLICADAS NA ENGENHARIA ELÉTRICA
Paulo Rozendo, Ronaldo Gomes Figueira, Luiz Henrique de Almeida Leo, Fabiana Florian

NDATHEIN, R. Inovação e Revoluções Industriais: uma apresentação das mudanças tecnológicas determinantes nos séculos XVIII e XIX. **DECON Textos Didáticos**, Porto Alegre, fev. 2003.

SANTOS, B. P.; ALBERTO, A.; LIMA, T. D. F. M.; CHARRUA-SANTOS, F. M. B. INDUSTRY 4.0: CHALLENGES AND OPPORTUNITIES. **Revista Produção e Desenvolvimento**, [S. l.], v. 4, n. 1, p. 111–124, 2018. DOI: 10.32358/rpd.2018.v4.316. Disponível em: <https://revistas.cefet-rj.br/index.php/producaoedesarvolvimento/article/view/e316>. Acesso em: 30 mar. 2024.

SCHWAB, K. **The Fourth Industrial Revolution**. Genebra: World Economic Forum, 2016. Disponível em: https://en.acatech.de/wpcontent/uploads/sites/6/2020/04/aca_STU_MatInd_2020_en_Web-1.pdf. Acesso em: 02 abr. 2024.