

# INDÚSTRIA EFICIENTE

**Wireless Industrial: Conectividade,  
Digitalização e Controle**

# AVISO IMPORTANTE

O conteúdo técnico da palestra é de responsabilidade da empresa palestrante.

Fique à vontade para baixar o arquivo em PDF e se atualizar com as novas tecnologias apresentadas nesta edição.

NÃO É PERMITIDO COPIAR AS INFORMAÇÕES E IMAGENS E REPRODUZIR SEM A AUTORIZAÇÃO DA EMPRESA.

Qualquer dúvida em relação ao conteúdo apresentado, você pode entrar em contato direto com o palestrante.

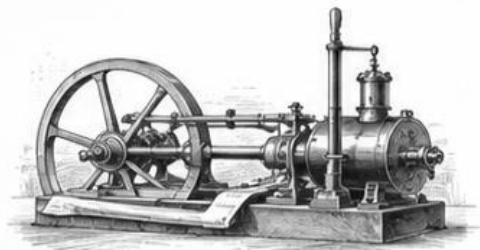
## AS REVOLUÇÕES INDUSTRIAIS

A evolução da indústria e o caminho para um futuro sustentável



### 1ª REVOLUÇÃO MECÂNICA

~ 1760 – 1840



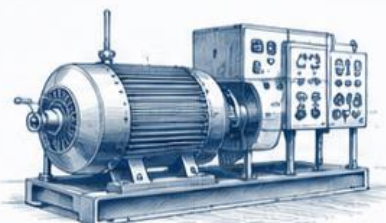
#### MECÂNICA

Pneumática, hidráulica e sistemas mecânicos. Sem comunicação entre os dispositivos.



### 2ª REVOLUÇÃO ELÉTRICA

~ 1870 – 1960



#### ELÉTRICA

Primeiros sinais elétricos e produção em massa. Energia elétrica impulsiona a indústria.



### 3ª REVOLUÇÃO AUTOMAÇÃO

~ 1970 – 2000



#### AUTOMAÇÃO

CLP, sensores inteligentes e protocolos industriais. Maior controle, eficiência e confiabilidade.



### 4ª REVOLUÇÃO AUTOMAÇÃO INTELIGENTE

~ 2010 – HOJE



#### AUTOMAÇÃO INTELIGENTE

Digitalização, IIoT, IA e análise de dados. Integração ponta a ponta e decisões autônomas. Foco em eficiência energética e sustentabilidade dos processos.



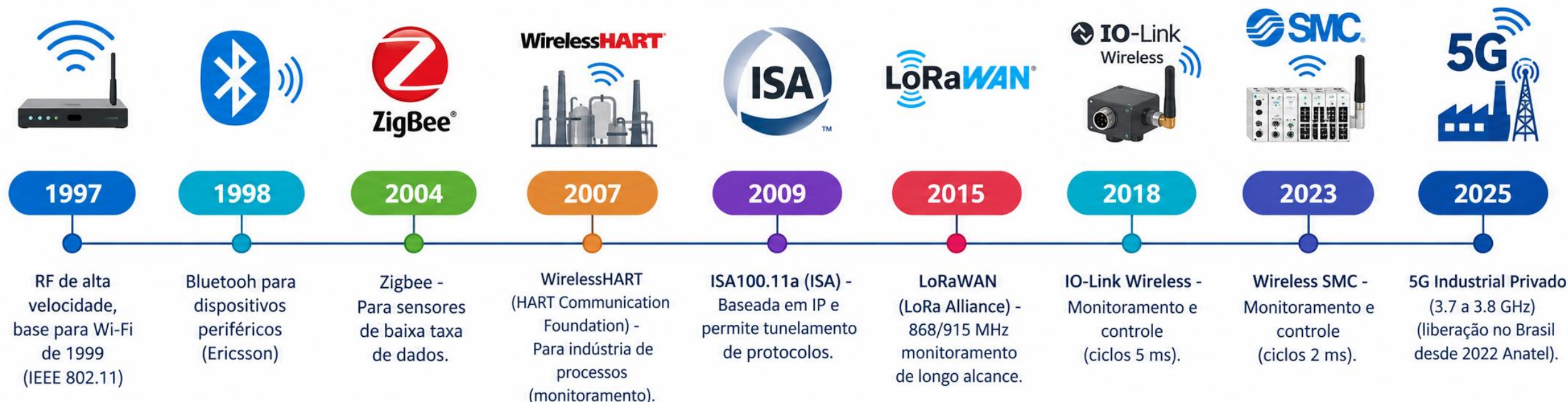
## Das teorias de Maxwell ao primeiro celular: 108 Anos



# Wireless: Da Origem à Indústria 4.0



## 30 anos de Novas Tecnologias



1. Em que momento começamos a utilizar soluções wireless na indústria?
2. Por quê?



## Redução de Custo:

- Menos Cabos
- Redução de estruturas
- Tempo de Instalação
- Custo com Manutenção

# Dados: Redução de Custo



| Segmento Industrial                                  | Redução                                       | Fator Principal de Economia (Capex / Instalação)                                                                                | Aplicações Típicas                                                                            |
|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Óleo e Gás</b><br>(Refinarias / Offshore)         | <b>50% a 90%</b><br>(COLPO; MOLS, 2011)       | Eliminação de conduítes blindados contra explosão (Ex d), abertura de valas e longos trajetos de cabos em plataformas.          | Monitoramento de tanques, detecção de gases em áreas classificadas e poços distantes.         |
| <b>Saneamento</b> e Tratamento de Efluentes          | <b>40% a 80%</b><br>(PLANT ENGINEERING, 2009) | Dispensa a necessidade de cavar a terra para conectar tanques abertos e bacias de calagem muito distantes entre si.             | Medição de nível, pH e vazão em estações de tratamento (ETA/ETE).                             |
| <b>Geração de Energia</b><br>(Termo/Hidro/Eólica)    | <b>40% a 60%</b><br>(POWER MAGAZINE, 2009)    | Substituição de pesados cabos blindados (4-20 mA) que passam por áreas de alta interferência eletromagnética.                   | Sensores de vibração em turbinas, monitoramento de transformadores e caldeiras.               |
| <b>Mineração e Siderurgia</b>                        | <b>50% a 70%</b><br>(SHARMA; TIWARI, 2026)    | Redução drástica de cabos rompidos por quedas de rochas, vibração extrema, calor e movimentação de maquinário pesado.           | Sensores em correias transportadoras, pátios de estocagem e pontes rolantes.                  |
| <b>Química e Petroquímica</b>                        | <b>40% a 75%</b><br>(COLPO; MOLS, 2011)       | Redução do tempo de parada de planta (turnaround) para passar cabos em estruturas de tubulação complexas (pipe racks).          | Monitoramento de purgadores de vapor, temperatura de vasos e válvulas de alívio.              |
| <b>Manufatura Geral</b><br>(Maquinário / Peças)      | <b>20% a 45%</b><br>(WERB, 2025)              | Menor gasto com calhas, painéis intermediários e facilidade para rearranjar o layout da fábrica sem refazer a infraestrutura.   | Redes de sensores IIoT para eficiência de ativos, botões de chamada e medição de energia.     |
| <b>Automotiva</b> e Linhas de Montagem               | <b>30% a 50%</b><br>(BEYDOUN, 2022)           | Eliminação do desgaste físico e quebra de fiação em partes móveis, eixos giratórios e robôs articulados.                        | Comunicação em ferramentas acopladas a braços robóticos, AGVs e ganchos aéreos.               |
| <b>Alimentos e Bebidas (F&amp;B)</b>                 | <b>30% a 55%</b><br>(PLMX, 2024)              | Redução de pontos de acúmulo de sujeira (conduítes) em áreas que exigem lavagem constante sob alta pressão (washdown).          | Sensores de temperatura em silos, autoclaves e controle de umidade em estoques de perecíveis. |
| <b>Automação Predial e Data Centers</b>              | <b>40% a 70%</b><br>(IFACTORY AI, 2026)       | Instalação extremamente rápida (30 a 60 min por ponto) sem necessidade de quebrar paredes, tetos falsos ou usar eletricitistas. | Sistemas de climatização (HVAC), controle de iluminação inteligente e submedição de energia.  |
| <b>Infraestrutura e Logística</b><br>(Portos/Túneis) | <b>50% a 75%</b><br>(ACKCIO, 2026)            | Substituição do monitoramento manual ou de cabos ópticos de longa distância por nós de sensores rápidos de fixar.               | Monitoramento estrutural de pontes, sensores de pátio em portos e iluminação de túneis.       |



## Redução de Custo:

- Menos Cabos
- Redução de estruturas
- Tempo de Instalação
- Custo com Manutenção



## Maior Disponibilidade (OEE)

- Menos paradas de máquinas
- Mudanças de layout

## Impacto das falhas de cabos no *downtime*

- Em automação, instrumentação e redes industriais, falhas físicas em cabos e conectores representam 50–70% das interrupções de comunicação.

*Fontes: Fidalgo (2008); Fonseca (2021).*



## Redução de Custo:

- Menos Cabos
- Redução de estruturas
- Tempo de Instalação
- Custo com Manutenção



## Maior Disponibilidade (OEE)

- Menos paradas de máquinas
- Mudanças de layout



## Mobilidade

- Partes móveis, Robôs
- Veículos industriais
- Máquinas rotativas
- Locais remotos, etc.

Uma **planta industrial moderna** é predominantemente dinâmica:

- **65% e 85% de todo o maquinário operacional possui partes móveis** (IFR, 2026; INDUSTRYARC, 2021).



## Redução de Custo:

- Menos Cabos
- Redução de estruturas
- Tempo de Instalação
- Custo com Manutenção



## Mobilidade

- Partes móveis, Robôs
- Veículos industriais
- Máquinas rotativas
- Locais remotos, etc.



## Maior Disponibilidade (OEE)

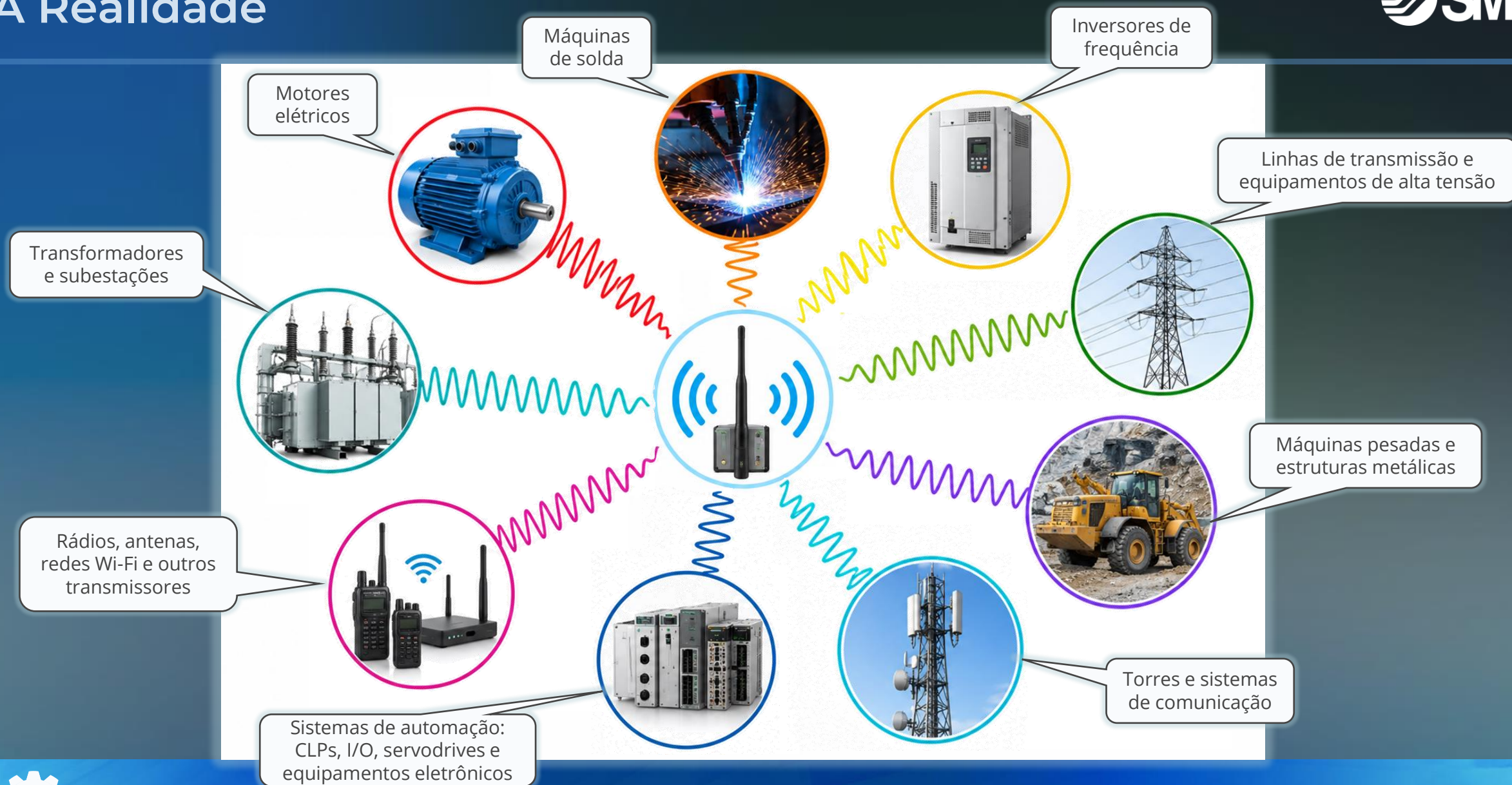
- Menos paradas de máquinas
- Mudanças de layout



## Sustentabilidade

- Menos materiais
- Menos Emissões de **CO<sub>2</sub>**

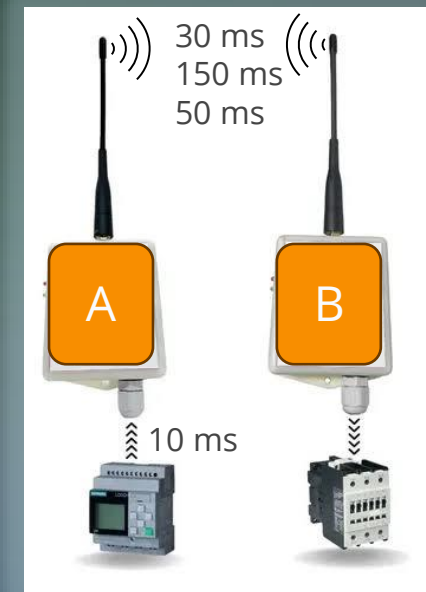
# A Realidade



**No início eram oferecidos conveniência, sem garantias de latência máxima ou de confiabilidade.**

## 1. Perda de Determinismo:

- a) **Latência** (tempo de transferência da mensagem)
- b) **Jitter** (variação da latência)
- c) **Taxa de erro de pacotes (PER)**



## 2. Interferências mútua e problemas de coexistência

- 2.4 GHz é compartilhada por Wi-Fi, Bluetooth, WirelessHART e outros baseados na IEEE 802.1

O modelo do canal influencia o controlador que opera em sistema malha fechada (ZACCHIA LUN et al., 2024)



## 3. Segurança Funcional

- **Paradas indevidas**
- **Queda de disponibilidade**
- **Perda de controle**

### Exemplo:

- Para um documento ou um vídeo, isso é imperceptível;
- Um AGV a 1,5 m/s percorre 45 cm durante uma perda de comunicação de 300 ms





## 4. Segurança Cibernética

- **Interferência deliberada (**jamming**)** – Invasor emite sinal para interromper a comunicação
- **Interceptação (**Sniffing**)** – Invasor captura os dados (modo escuta).
- **Interceptação (**Spoofing or False Data Injection**)** - O invasor intercepta os comandos reais e os valores dos sensores no meio do caminho.

5. Parada de linha (Downtime)
6. Gargalos na cadeia de suprimentos
7. Perda de matéria-prima
8. Prejuízos financeiros (custos, multas, mão de obra, etc.)
9. Riscos à Segurança e ao Meio Ambiente
10. Ceticismo Wireless

## 10. Ceticismo Wireless

Uma barreira cultural que perdura até hoje em muitas fábricas, mesmo após mais de duas décadas de evolução tecnológica.

**O Medo do Invisível e da Difícil Manutenção**

**A Confusão entre Padrões Comerciais e Industriais**

**O Custo Reputacional de um Erro na Indústria**

**Zona de Conforto Técnica**



**A escolha deve partir dos requisitos de cada aplicação, e não da disponibilidade da tecnologia.**

## **1. Qual é a aplicação real e o objetivo principal da rede?**

- a) Monitoramento de sensores (lento/baixo consumo)
- b) Controle de válvulas, atuadores, robôs, AGVs, etc.
- c) Transmissão de vídeo

## 2. Qual é a distância e a área total que o sinal precisa cobrir?

- a) Cobertura local (curto alcance)
- b) Um galpão (médio alcance)
- c) Campo aberto (longo alcance)

## 3. Quais são os obstáculos físicos e fontes de interferência?

- a) Barreiras metálicas
- b) Ruídos eletromagnéticos
- c) Condições severas (calor/vapor)

## **4. A aplicação tolera atrasos ou exige tempo de resposta crítico?**

- a) Processos críticos de segurança exigem latência de milissegundos
- b) Monitoramento simples de temperatura tolera atrasos de segundos

## **5. Vamos operar em frequências livres ou espectro licenciado?**

- a) Redes livres (Wi-Fi 2.4/5GHz)
- b) Redes licenciadas (5G Privado)

# Tecnologias Wireless



1. Wi-Fi e Bluetooth comerciais
2. Bluetooth industrial
3. LoRaWAN
4. WirelessHART
5. IO-Link Wireless
6. Wireless SMC
7. 5G Privado



# Tecnologias Wireless - Resumo



| Tecnologia       | Aplicação típica       | Vantagem principal           | Principal limitação            | Custo       |
|------------------|------------------------|------------------------------|--------------------------------|-------------|
| Wi-Fi            | Dados / supervisão     | Alta velocidade              | Latência variável              | \$\$        |
| Bluetooth / BLE  | Sensores / diagnóstico | Baixo consumo                | Alcance e capacidade limitados | \$          |
| LoRaWAN          | Monitoramento remoto   | Longo alcance                | Baixa taxa / alta latência     | \$          |
| WirelessHART     | Processos industriais  | Robustez e mesh              | Baixa taxa                     | \$\$-\$\$\$ |
| IO-Link Wireless | Automação / sensores   | Integração com automação     | Ecossistema específico         | \$\$\$      |
| Wireless SMC     | Automação / sensores   | Integração com automação     | Ecossistema proprietário       | \$\$-\$\$\$ |
| 5G privado       | Fábrica conectada      | Cobertura + mobilidade + QoS | Complexidade e custo           | \$\$\$\$\$  |

# Tecnologias Wireless – Monitoramento e Controle



| Tecnologia       | Monitor | Controle | Principais considerações                                                                                                                                                                       |
|------------------|---------|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Wi-Fi            | Sim     | Não      | Pode operar na indústria, mas a versão comercial não é necessariamente projetada para ambientes agressivos. 2,4/5 GHz sujeito a interferências; robustez depende bastante do projeto da rede.  |
| Bluetooth / BLE  | Sim     | Não      | Pode funcionar em aplicações industriais específicas, mas é mais voltado a dispositivos de consumo. Opera em 2,4 GHz e pode sofrer com congestionamento e obstáculos metálicos.                |
| LoRaWAN          | Sim     | Não      | Robusto para <b>telemetria de longo alcance</b> e baixo consumo. Não é adequado para controle rápido ou aplicações que exigem baixa latência.                                                  |
| WirelessHART     | Sim     | Não      | Desenvolvido especificamente para ambientes industriais. Mesh, gerenciamento de canais e mecanismos de redundância aumentam a confiabilidade em ambientes com interferências.                  |
| IO-Link Wireless | Sim     | Sim      | Desenvolvido para automação industrial e comunicação com dispositivos de campo. Possui mecanismos específicos para comunicação sem fio em aplicações de automação.                             |
| Wireless SMC     | Sim     | Sim      | Desenvolvido para automação industrial. <b>FHSS em 2,4 GHz</b> ajuda na coexistência e resistência a interferências; adequado especialmente para I/O e partes móveis.                          |
| 5G privado       | Sim     | Sim      | Pode ser muito robusto em aplicações industriais, especialmente com rede privada, QoS e planejamento adequado de cobertura e espectro. Porém, a robustez depende do projeto da infraestrutura. |

# Tecnologias Wireless – Dados técnicos



| Nome                                      | Finalidade                                                                                        | Frequência                                                          | Alcance típico                                             | Taxa de transmissão                                   | Latência                                                           | Nº de dispositivos                                                 |
|-------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| <b>Wi-Fi comercial</b><br>(802.11n/ac/ax) | Acesso a redes IP, internet, vídeo, dados em escritórios e casas                                  | 2,4 / 5 / 6 GHz                                                     | 30–50 m interno<br>(maior ao ar livre)                     | 100 Mbps a vários Gbps<br>9,6 Gbps teórico no Wi-Fi 6 | Variável 2–50 ms,                                                  | Dezenas por ponto de acesso<br>(30–100 recomendado)                |
| <b>Bluetooth</b><br>(Classic / BLE)       | Periféricos, áudio, wearables, beacons                                                            | 2,4 GHz                                                             | 10 m (até ~100 m em BLE 5)                                 | 1–3 Mbps (Classic EDR);<br>125 kbps–2 Mbps (BLE)      | Variável 3–100 ms.                                                 | ~7 ativos (Classic) a ~20 (BLE)<br>por mestre                      |
| <b>LoRaWAN</b>                            | IoT de baixíssimo consumo: medição, monitoramento ambiental, logística                            | 915–928 MHz no Brasil                                               | 2–5 km urbano;<br>10–15 km rural                           | 0,3–50 kbps                                           | Variável Segundos (não é tempo real)                               | Milhares por gateway                                               |
| <b>WirelessHART</b><br>(IEC 62591)        | Instrumentação de processo (temperatura, pressão, vazão, nível). Monitoramento                    | 2,4 GHz<br>(IEEE 802.15.4)                                          | ~50 m interno<br>~100 m externo, com rede mesh multi-salto | 250 kbps                                              | <b>Fixa:</b> Atualização de 1 s a minutos (tipicamente $\geq 1$ s) | ~100 por gateway (até centenas)                                    |
| <b>IO-Link Wireless</b><br>(IEC 61131-9)  | Substituir o cabo IO-Link em sensores/atuadores de automação de fábrica. Monitoramento e Controle | 2,4 GHz (FHSS)                                                      | 10–20 m                                                    | 1 Mps                                                 | <b>Fixa:</b> $\leq 5$ ms (ciclo determinístico)                    | ~40 por master                                                     |
| <b>Wireless SMC</b><br>(EXW1)             | I/Os digitais, analógicos, IO-Link e válvulas pneumáticas. Monitoramento e controle               | 2,4 GHz (FHSS)                                                      | ~100 m                                                     | 1 Mps                                                 | <b>Fixa:</b> $\leq 2$ ms (ciclo determinístico)                    | ~127 por master                                                    |
| <b>5G Privado</b>                         | Rede celular dedicada para fábrica, mina, porto, AGVs/AMRs. Monitoramento e controle.             | Licenciada ou dedicada (ex.: 3,5 GHz/n78, 2,3 GHz, 700 MHz, mmWave) | 200 m a >1 km por small cell                               | 100 Mbps a >1 Gbps                                    | <b>Fixa:</b> 1–10 ms (URLLC, <1 ms teórico)                        | Milhares por célula (projeto mMTC: até ~1 milhão/km <sup>2</sup> ) |

# Tecnologias Wireless – 2.4 GHz (Industrial, Científico e Médica)



| Dimensão                   | IO-Link Wireless                                                             | Wireless SMC                                                                               |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Banda de frequência</b> | ISM de 2,4 GHz                                                               | ISM de 2,4 GHz                                                                             |
| <b>Anti-interferência</b>  | F/TDMA + saltos de frequência + blacklisting proativo de canais interferidos | Saltos de frequência (até 2 ms) + comunicação por eventos: só transmite quando o dado muda |
| <b>Determinismo</b>        | Latência de 5 ms; taxa de erro de pacotes de até $10^{-9}$                   | Resposta de até 2 ms (EXW1); alcance de 100 m                                              |
| <b>Coexistência</b>        | Tabela de saltos adaptativa e blacklist definidas no padrão                  | Função F.C.S.: seleção manual de canais, evitando faixas de WLAN/AGV                       |
| <b>Camada física</b>       | Rádios SoC otimizados: chaveamento rápido de estado de rádio e de canal      | Antena externa (comunica fora de gabinetes metálicos); módulo compacto                     |
| <b>Padrão e abertura</b>   | Padrão internacional aberto, com múltiplos fornecedores                      | Qualidade e Protocolo proprietário                                                         |
| <b>Aplicações</b>          | Sensores e Atuadores IO-Link                                                 | Sensores e Atuadores IO-Link, Digitais e Analógicos.                                       |

| Característica    | IO-Link Wireless                               | Wireless SMC    |
|-------------------|------------------------------------------------|-----------------|
| Tempo de resposta | Até 5 ms                                       | Até 2 ms        |
| Alcance           | 10 a 20 m<br>(depende do fabricante)           | Até 100 m       |
| Quantidade        | Até 40 dispositivos<br>(depende do fabricante) | Até 127 remotos |

## Suporte técnico

- Atendimento local
- Orientação de aplicação
- Configuração
- Treinamento
- Pós-venda.

## Garantia

- Garantia do fabricante
- Vida útil de produto

## Certificação

- Conformidade industrial: produtos destinados à automação industrial devem considerar também requisitos aplicáveis de segurança, EMC e instalação.
- Certificação ANATEL (Brasil)

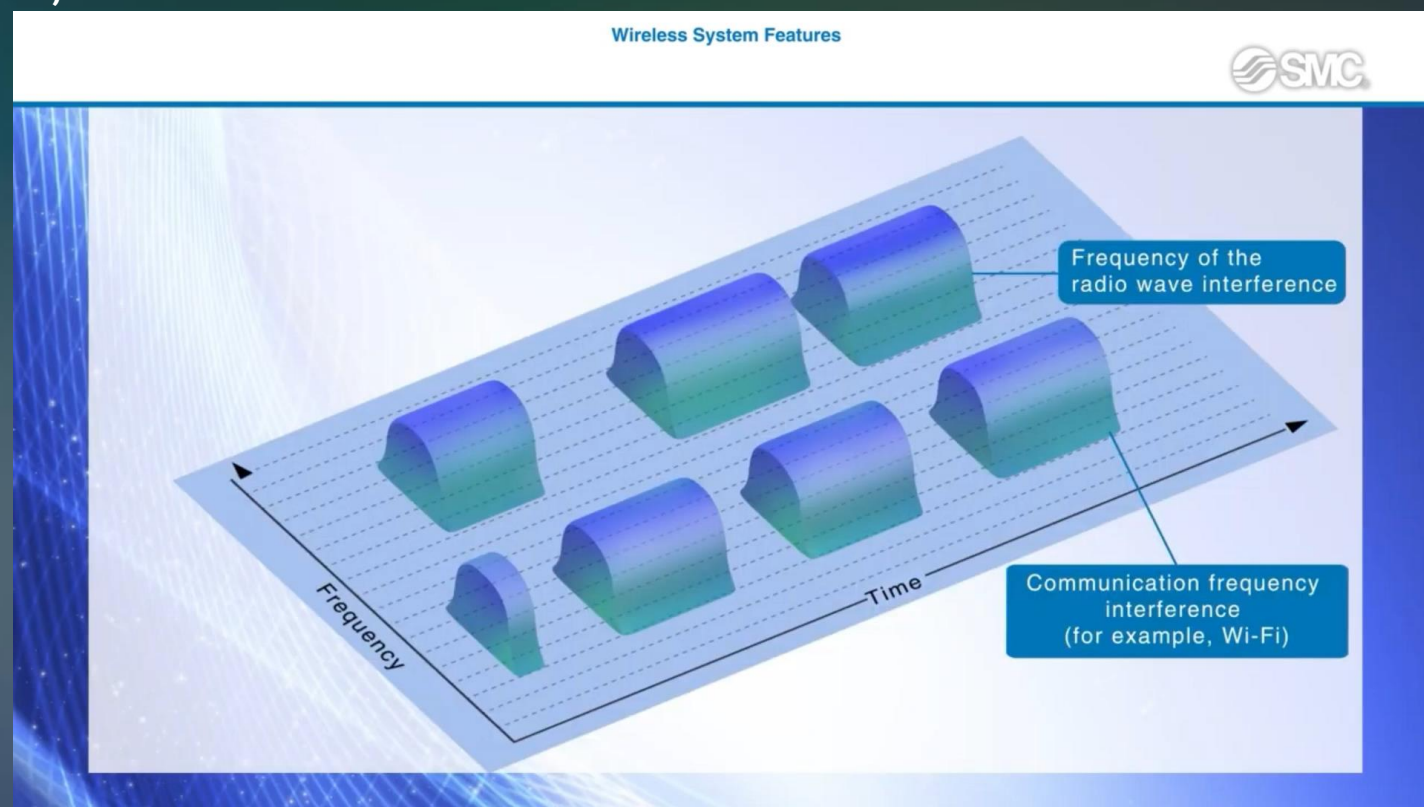
**Critério de decisão:** além do desempenho técnico, a tecnologia deve oferecer suporte, garantia e certificação que sustentem a operação ao longo do tempo.

# Algumas Características para Evitar Ruídos

- ❑ **FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum)** - Espectro Espalhado por Salto de Frequência
  - ✓ Salto em frequência 2ms (EXW1) ou 5ms (EX600-W), sempre alterando o canal;
- ❑ **CCA (Clear Channel Assessment)** - Os canais são verificados periodicamente
  - ✓ Comunicação é realizada em canais livres;
- ❑ **FCS (Frequency Channel Selection)**
  - ✓ É possível determinar quais canais ou frequências o sistema deve operar. (mínimo de 15 e máximo de 79 canais)

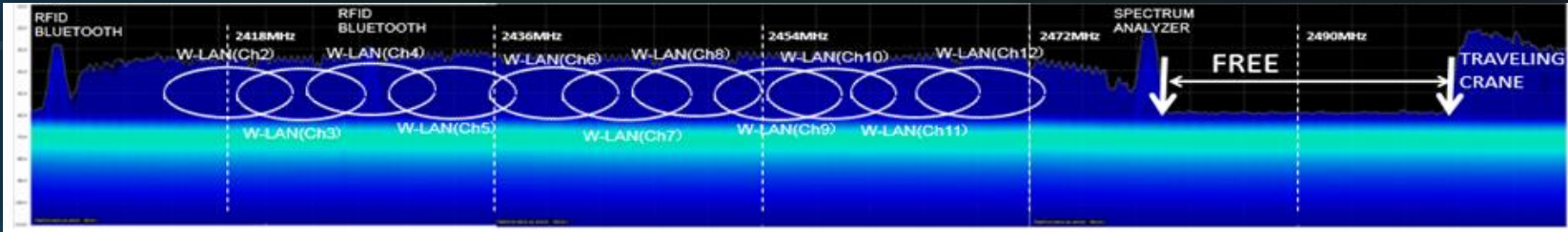
## <Outras Tecnologias SMC>

- Sistema de comunicação de eventos
- Gerenciamento de ID
- Controle de congestionamento
- Criptografia

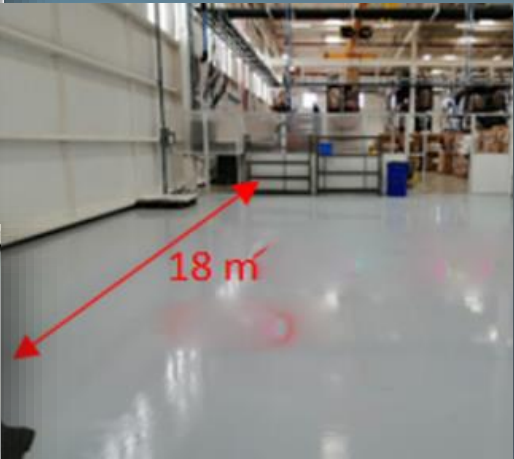


- Banda de frequência 2.4GHz ISM (Industrial, Scientific and Medical) - 2,400 GHz até 2,4835 GHz

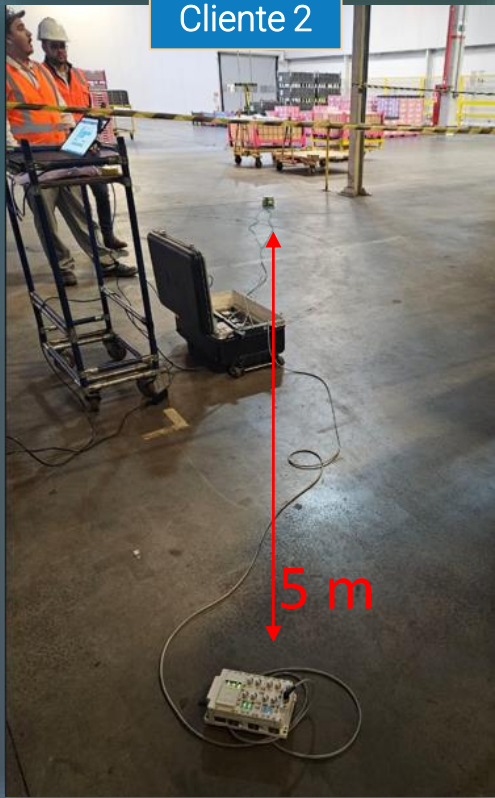




Cliente 1



Cliente 2



Sistema inalámbrico SMC Análisis de paquetes simple  
Características de comunicación

(PID) Base: 0B:61:40:19

(PID) Remoto: 0B:11:40:91

Condiciones de Medición:

Fecha de Medición: **Lunes, 26 de octubre de 2020**  
Horario: **11:10:00 a. m.**

Area: **YAMADA VISTAMEX**  
**Circule**

Numero de Paquetes:  
Base a Remoto: **2**  
Remoto a Base: **987**  
Total: **989**

Paq. Datos  
Paq. Datos  
Paq. Datos

Notas Adicionales:  
Se tomo la distancia máxima entre unidad base y remoto para evitar problemas.

Resultados de Medición 1

Número de desconexiones de red: **0**  
Valor promedio de respuesta hasta el establecimiento de la comunicación: **7.5** ms  
Valor de respuesta de comunicación frecuente (mas rapido): **5** ms  
Frecuencia: **50** %  
Estimación de retraso de comunicación máxima de respuesta de salida: **10** ms

Intensidad de señal recibida RSSI  
Base a Remoto: **-53** dBm  
Remoto a Base: **-49.5** dBm  
Distancia de Medición: **18** Mts.

(Número máximo de Intentos 31)

Resultados de Medición 2

Numero de Intentos

Porcentaje de éxito de comunicación

Gráfica 1 características de tiempo de respuesta

# Exemplo de Arquitetura Cabeado

Fonte: NIST Special Publication Guide to Operational Technology (OT) Security

<https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/SpecialPublications/NIST.SP.800-82r3.pdf>

NIST SP 800-82r3  
September 2023

Guide to Operational Technology (OT) Security

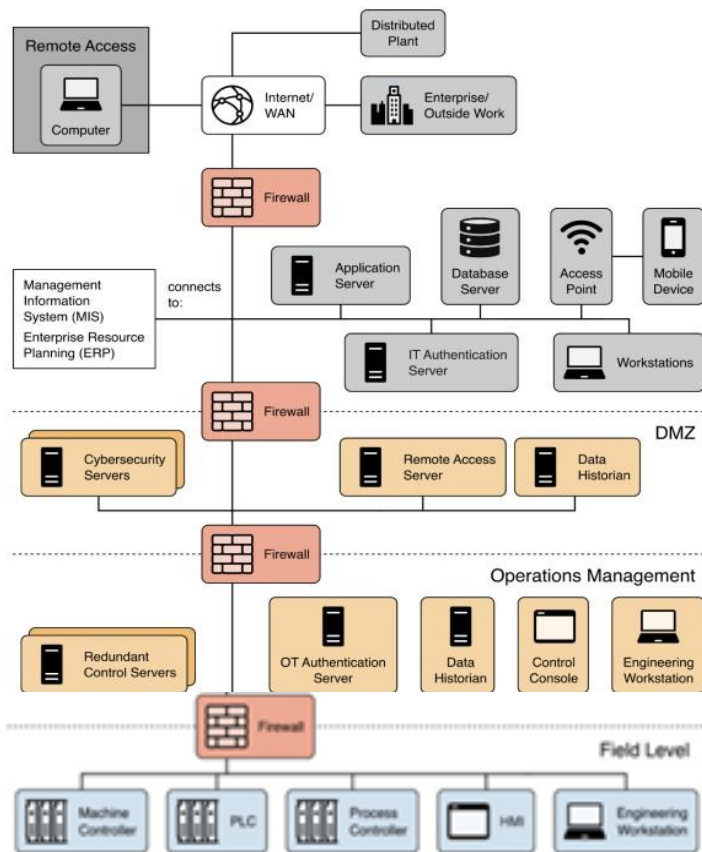
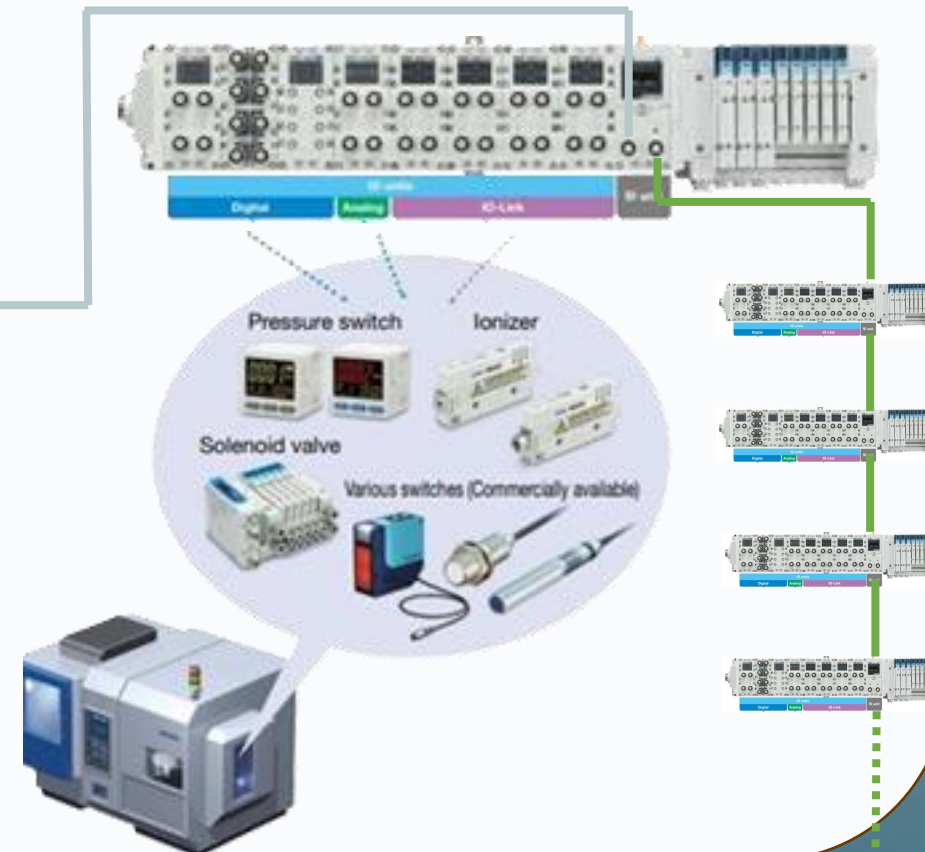
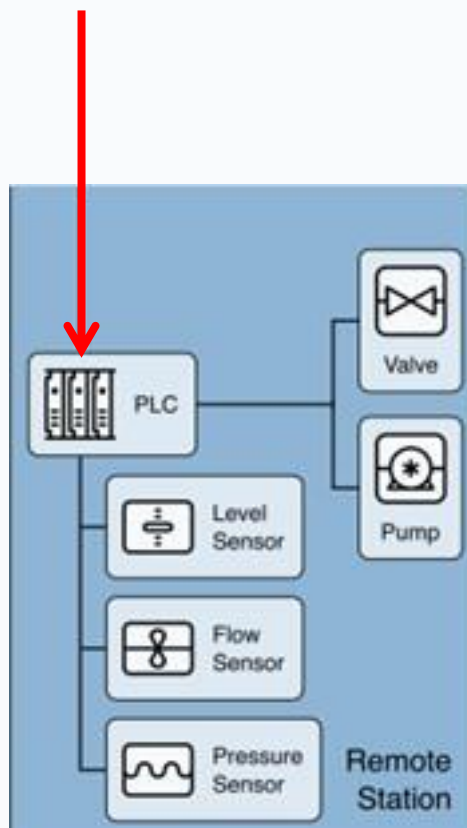
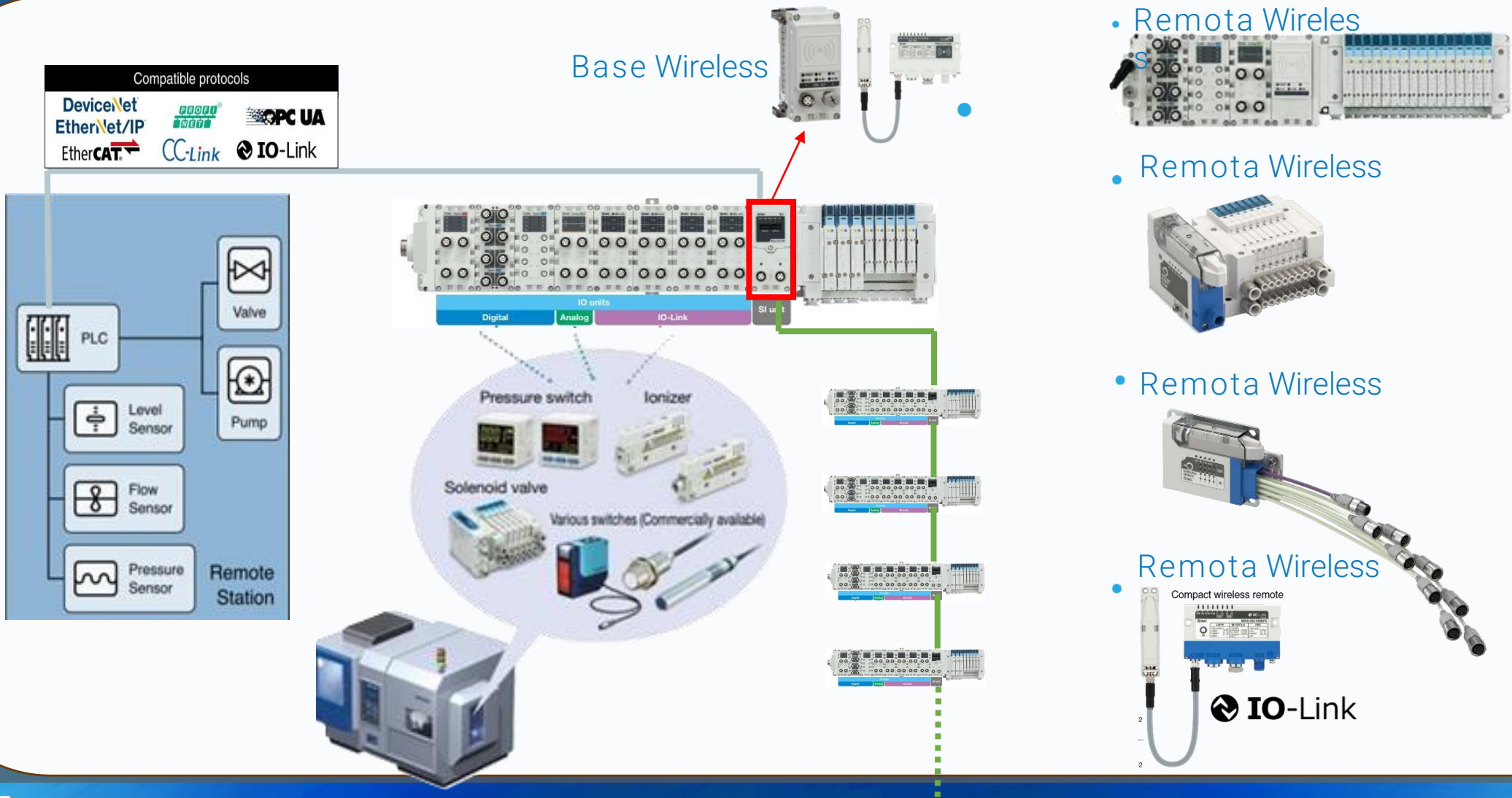


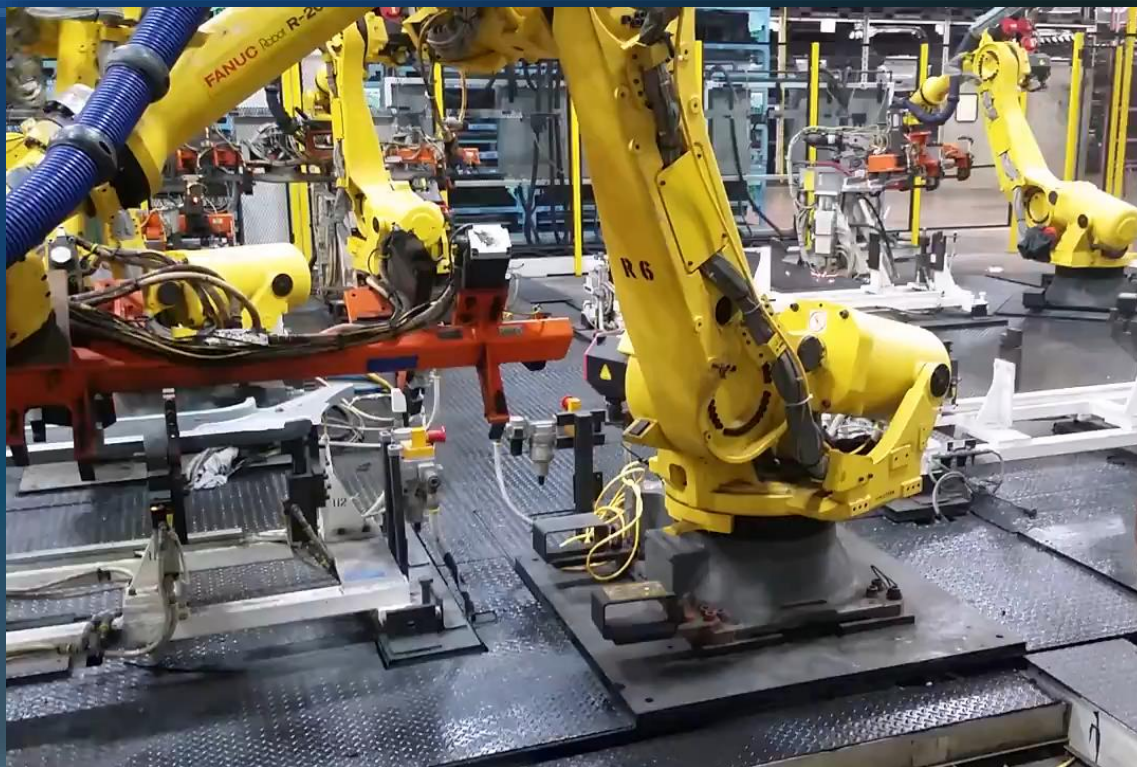
Fig. 18. A defense-in-depth security architecture example for a DCS system



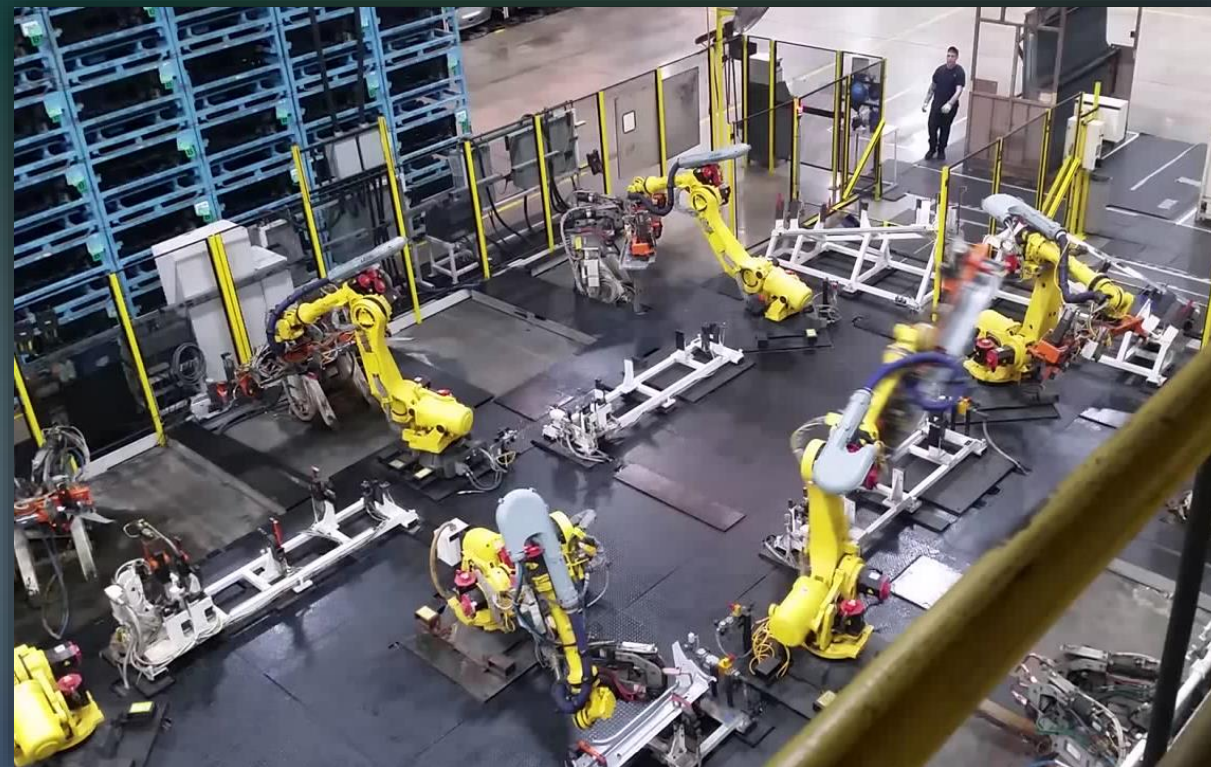
# Exemplo de Arquitetura Wireless SMC



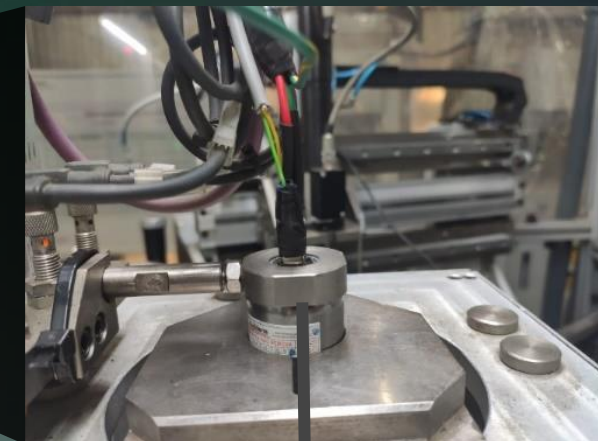
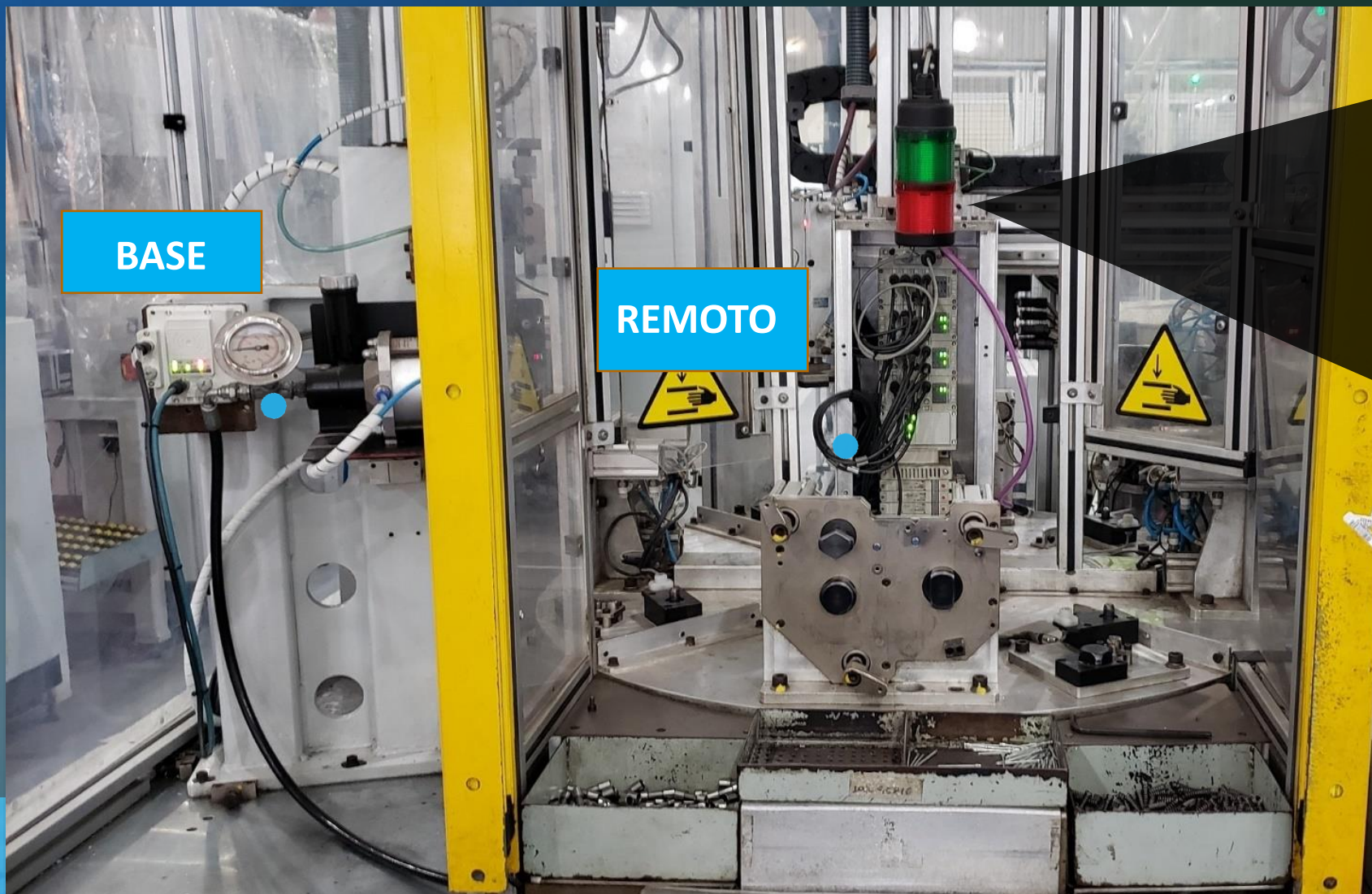
# Tecnologia Wireless SMC – Caso de Sucesso



Célula de Solda



# Tecnologia Wireless SMC – Caso de Sucesso

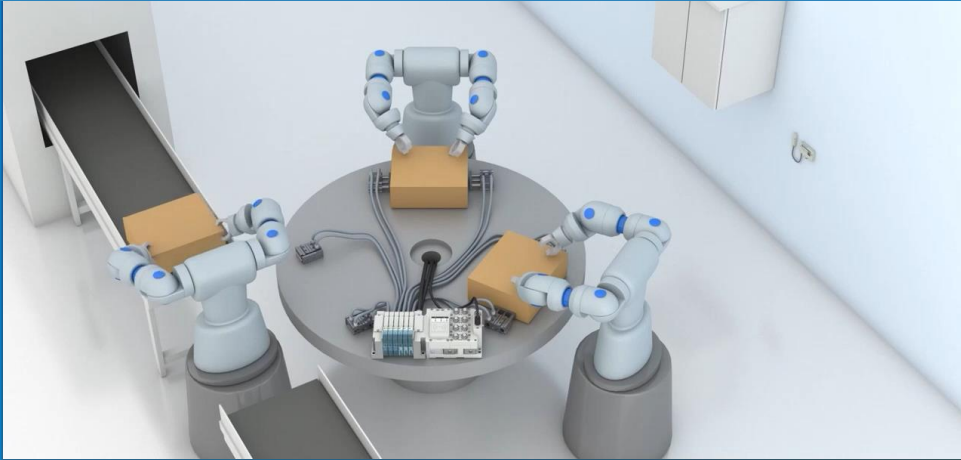


Conexão rotativa

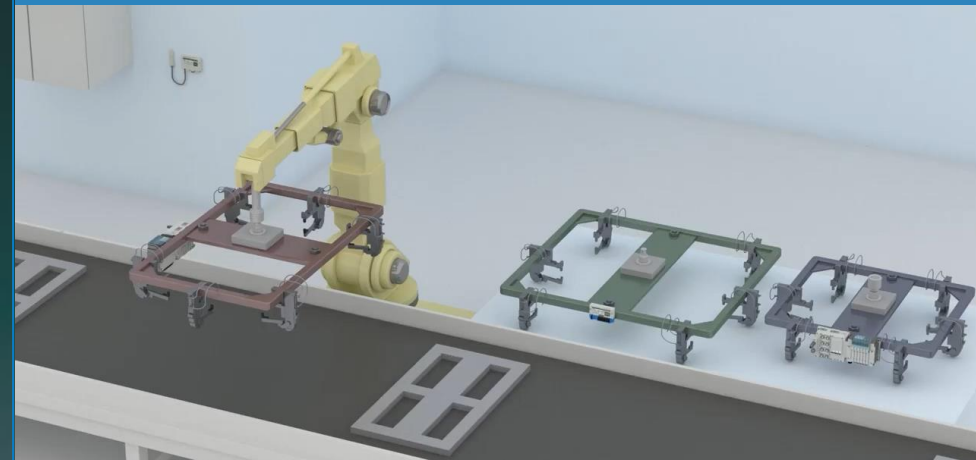
- ❖ Alto custo
- ❖ Manutenção constante
- ❖ Gerador de ruídos
- PROFIBUS desativado

# Outras Aplicações

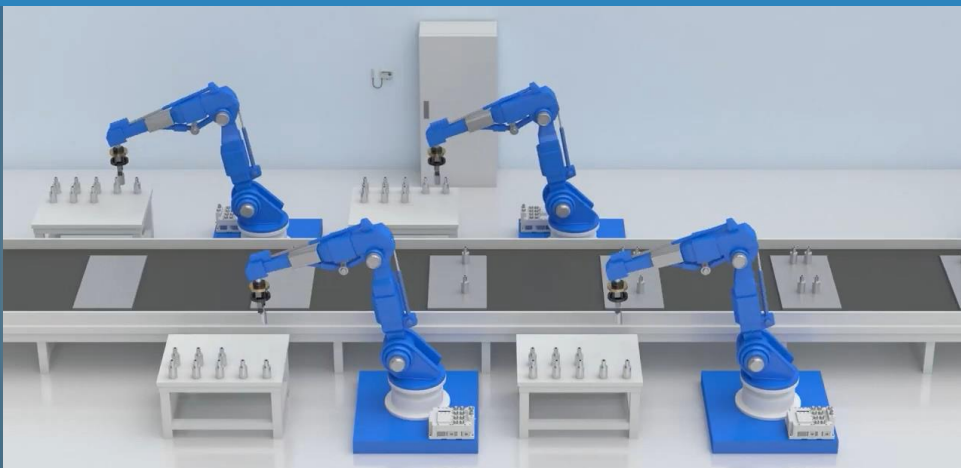
## Mesa Rotativa



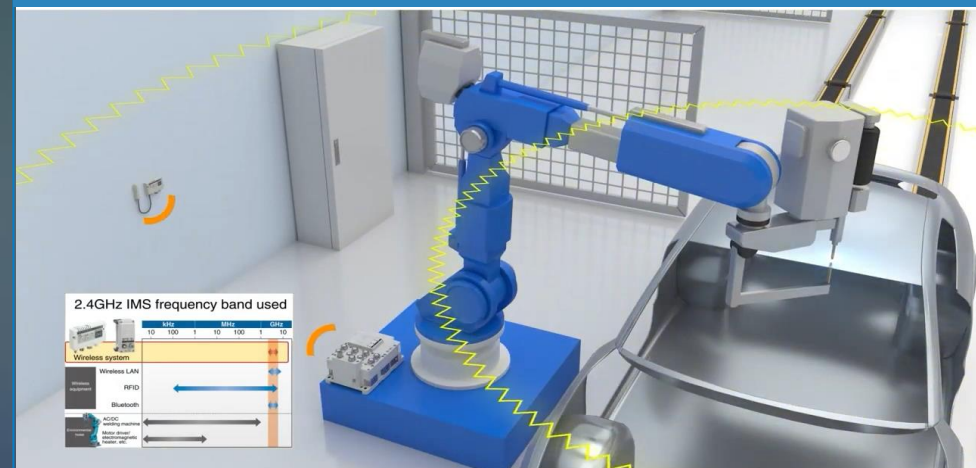
## Tool Changer



## Alteração de Layout

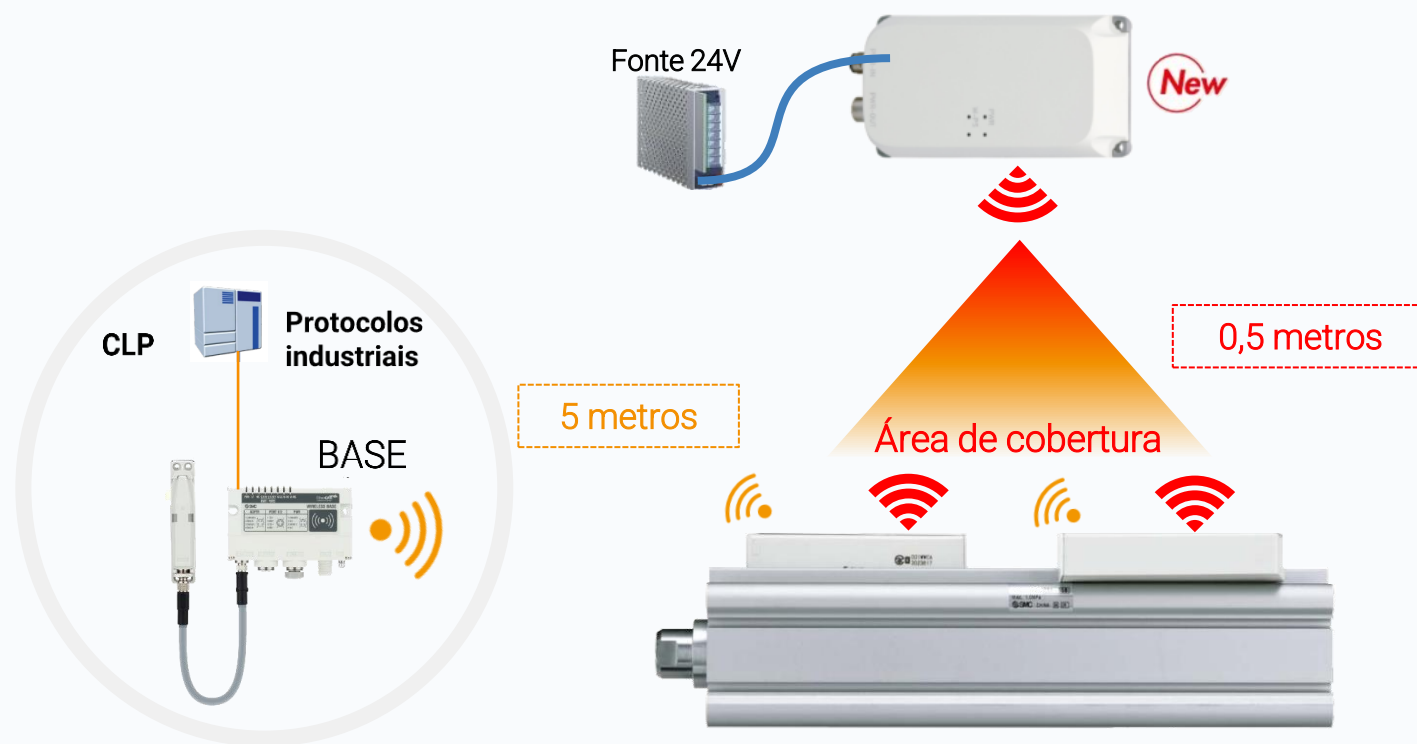


## Célula de Solda



# Wireless Power Transfer (WPT)

- Sensor Auto Switch 100% Wireless





**Christian Costa**  
Especialista de Produto na SMC  
11 99351-1650  
[costa.christian@smc.com](mailto:costa.christian@smc.com)



LinkedIn



**SMC Automação do Brasil Ltda**

Av. Piraporinha, 777 - São Bernardo do Campo - SP

Tel. 11 4082.0600

@smcdobrasil

