

IIoT e Comunicação no ESP32

1. O que é IIoT (Industrial Internet of Things)

O Industrial Internet of Things (IIoT) é a aplicação dos conceitos de Internet das Coisas (IoT) no contexto industrial.

Enquanto a IoT tradicional conecta dispositivos do cotidiano (como lâmpadas, relógios ou assistentes virtuais), o IIoT conecta máquinas, sensores, robôs e sistemas de controle industrial a redes digitais capazes de coletar, transmitir e analisar dados em tempo real.

O principal objetivo do IIoT é integrar o mundo físico e o digital dentro de processos produtivos, criando ambientes industriais inteligentes.

1. O que é IIoT (Industrial Internet of Things)

Essa integração permite que empresas tomem decisões baseadas em dados concretos — por exemplo, prevendo falhas antes que aconteçam, ajustando automaticamente linhas de produção ou reduzindo o consumo de energia em períodos de baixa demanda.

O IIoT é um dos pilares da Indústria 4.0, pois envolve tecnologias como:

- Sensoriamento remoto (sensores e atuadores conectados);
- Computação em nuvem (armazenamento e análise de dados);
- Inteligência Artificial (interpretação e previsão de eventos);
- Comunicação máquina-a-máquina (M2M).

A combinação dessas tecnologias transforma as fábricas tradicionais em sistemas ciberfísicos, onde cada máquina se torna parte de uma rede interligada.

2. Aplicações do IIoT

O IIoT tem aplicação direta em diversos setores da economia.

Alguns exemplos ilustram como essa integração transforma processos industriais:

a) Monitoramento de máquinas

Sensores instalados em motores, bombas ou compressores medem parâmetros como temperatura, vibração e corrente elétrica.

Esses dados são enviados a uma plataforma central que acompanha o desempenho em tempo real, permitindo identificar anomalias precoces e evitar falhas inesperadas.

b) Manutenção preditiva

Com base em dados coletados continuamente, algoritmos de aprendizado de máquina detectam padrões que indicam desgaste de componentes.

Assim, a manutenção é feita antes da quebra, reduzindo custos e paradas de produção.

c) Controle de produção

Linhas de montagem conectadas comunicam-se entre si e com o sistema de gestão (ERP).

Informações sobre velocidade de produção, estoque de insumos e qualidade dos produtos são atualizadas automaticamente, facilitando o controle de desempenho e a tomada de decisão.

d) Logística e rastreabilidade

Sensores RFID, QR codes e GPS acompanham a localização de matérias-primas e produtos acabados.

O rastreamento garante segurança no transporte e permite identificar rapidamente gargalos na cadeia de suprimentos.

e) Eficiência energética

Sensores de consumo e sistemas de automação ajustam o uso de energia conforme a demanda de produção.

Isso reduz custos operacionais e contribui para metas de sustentabilidade.

Em todos esses casos, o dado é o elemento central. O valor do IIoT não está apenas na coleta, mas em como as informações são integradas, interpretadas e utilizadas para gerar ações inteligentes.

3. Comunicação em sistemas IIoT

Para que o IIoT funcione, é essencial que os dispositivos se comuniquem de forma confiável.

A comunicação pode ocorrer por cabos ou por conexões sem fio, dependendo do ambiente e da aplicação.

a) Comunicações cabeadas

São comuns em ambientes industriais por oferecerem baixa latência e alta confiabilidade.

Entre os protocolos mais utilizados estão:

- Serial (UART, RS-232, RS-485) – comunicação ponto a ponto entre dispositivos;
- Modbus RTU – protocolo amplamente usado para comunicação entre CLPs e sensores;
- Ethernet Industrial (Profinet, EtherCAT, Modbus TCP) – integra máquinas em rede local;
- CAN Bus – comum em automação automotiva e robótica.

b) Comunicações sem fio

Em situações onde cabos são inviáveis ou onde há necessidade de mobilidade, utiliza-se comunicação sem fio:

- WiFi – ideal para ambientes laboratoriais e industriais leves;
- LoRa e ZigBee – usadas em redes de sensores de longo alcance e baixo consumo;
- 4G/5G – aplicadas em grandes plantas industriais e sistemas remotos.

A escolha do meio depende de fatores como distância, interferência, velocidade, consumo de energia e segurança. O ESP32, por integrar WiFi e Bluetooth nativamente, oferece uma base prática para explorar esses conceitos.

4. Comunicação Serial e WiFi no ESP32

O ESP32 é um microcontrolador versátil que combina alto desempenho de processamento, conectividade sem fio e interfaces de comunicação tradicionais.

Isso o torna uma ferramenta poderosa para projetos de IIoT de pequeno e médio porte.

a) Comunicação Serial

A interface Serial (UART) é usada para troca direta de dados entre o ESP32 e outros dispositivos, como:

- Sensores de medição (ex: sensores de gás ou temperatura);
- Módulos de comunicação (ex: GPS, GSM);
- Outros microcontroladores (ex: Arduino ou PIC).

A comunicação ocorre em formato digital, transmitindo bits de dados por linhas de transmissão (TX) e recepção (RX). No contexto do IIoT, a Serial é útil para coleta de dados local, antes que sejam enviados à rede.

b) Comunicação via WiFi

Com o WiFi embutido, o ESP32 pode conectar-se a redes locais ou à internet, publicando dados em servidores ou serviços em nuvem. Uma das formas mais comuns de transmissão é através do protocolo MQTT (Message Queuing Telemetry Transport), usado amplamente em aplicações IoT.

Nesse modelo:

- O ESP32 atua como cliente e envia informações a um broker MQTT;
- O broker é o servidor que recebe e redistribui as mensagens para outros clientes (como dashboards, bancos de dados ou outros dispositivos).

Assim, o ESP32 atua como ponte de integração entre o mundo físico (sensores) e o mundo digital (nuvem), conectando dados industriais a sistemas de supervisão e análise.

5. Simulação com Wokwi e Broker Online

Durante a simulação, o ESP32:

- **Recebe dados pela porta Serial** (como leitura de sensores simulados);
- **Processa e formata** essas informações localmente;
- **Envia os dados pela rede WiFi** para um **broker MQTT online**, como o **HiveMQ Cloud**, que funciona como servidor central;
- **Distribui as informações** para painéis de visualização (dashboards) ou outras aplicações conectadas.

Essa arquitetura ilustra um fluxo típico de um sistema IIoT:

coleta → transmissão → processamento → visualização.

6. Projeto IIoT Distribuído com ESP32 e MQTT (Wokwi + HiveMQ)

Aluno 1 – Sensores Ambientais:

- Mede temperatura, umidade e luminosidade (DHT22, LDR).
- Publica dados no tópico iiot/sala1/sensores.
- Controla LED por PWM conforme luminosidade.

Aluno 2 – Controle e Movimento:

- Usa motor de passo ou servo e simula variáveis (posição, velocidade, tensão).
- Publica no tópico iiot/sala2/atuadores.
- Pode empregar PWM, DAC ou PCM.

Aluno 3 – Central de Monitoramento:

- Recebe dados dos tópicos anteriores.
- Exibe informações em LCD I2C (ex.: temperatura, umidade, velocidade).
- Pode gerar alertas (LED ou buzzer) para valores fora do limite.