

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS
ESCOLA POLITÉCNICA E DE ARTES
CURSO DE GRADUAÇÃO ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO



WILLIAN PIRES LIMA

**Explorando as Vantagens da Rede LoRa em IoT: Um Estudo
de Caso com Medição de Distâncias usando o ESP32**

GOIÂNIA
2023

WILLIAN PIRES LIMA

**Explorando as Vantagens da Rede LoRa em IoT: Um Estudo
de Caso com Medição de Distâncias usando o ESP32**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Escola Politécnica e de artes, da
Pontifícia Universidade Católica de Goiás,
como parte dos requisitos para a obtenção do
título de Bacharel em Engenharia da
Computação.

Orientador: Prof.Me. Daniel Corrêa da Silva

**GOIÂNIA
2023**

WILLIAN PIRES LIMA

**Explorando as Vantagens da Rede LoRa em IoT: Um Estudo
de Caso com Medição de Distâncias usando o ESP32**

Trabalho de conclusão de curso aprovado em sua forma final pela Escola politécnica e de Artes, da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, para obtenção do título de bacharel em Engenharia da computação, em _____ / _____ / _____

Orientador: Prof.Me. Daniel Corrêa da Silva

Prof.Me. Olegário Corrêa da Silva Neto

Prof.Me. Eugênio Júlio M. Candido Carvalho

GOIÂNIA

2023

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo apresentar o protocolo LoRa como solução para a transmissão de dados em longas distâncias em plataformas de Internet das Coisas (IoT). A IoT refere-se a um ecossistema de objetos conectados entre si, que utilizam a tecnologia de processamento, sensoriamento e transmissão de dados para receber e enviar informações, formando uma rede integrada. A principal vantagem do protocolo LoRa é sua capacidade de longo alcance e requisitos de energia muito baixos, o que o torna eficiente em plataformas de IoT. O trabalho apresenta ainda um levantamento teórico sobre IoT, sistemas embarcados, microcontroladores,e comunicação de dados sem fio. É descrito também um protótipo em Esp32 que utiliza uma rede LoRa que possui a capacidade de transmitir dados em tempo real para uma plataforma de visualização. O trabalho se destina a uma pesquisa exploratória e busca fundamentar o tema abordado por meio de pesquisas em artigos, livros, sites e seminários.

Palavras-chave: Lora. IoT. ESP32. Microcontrolador.

ABSTRACT

The present work aims to present the LoRa protocol as a solution for data transmission over long distances on Internet of Things (IoT) platforms. IoT refers to an ecosystem of objects connected to each other, which use data processing, sensing and transmission technology to receive and send information, forming an integrated network. The main advantage of the LoRa protocol is its long-range capability and very low power requirements, which makes it efficient on IoT platforms. The work also presents a theoretical survey of IoT, embedded systems, microcontrollers, and wireless data communication. A prototype in Esp32 is also described that uses a LoRa network that has the ability to transmit data in real time to a visualization platform. The work is intended for exploratory research and seeks to substantiate the topic addressed through research in articles, books, websites and seminars..

Key-words: Lora. IoT. ESP32. Microcontroller.

LISTAS DE FIGURAS

| | |
|--|--------------------------------------|
| Figura 1 - Camadas de IoT | 11 |
| Figura 2 - Diagrama de blocos básico de um sistema embarcado | 12 |
| Figura 3 - Diagrama básico de blocos do microcontrolador..... | 13 |
| Figura 4 - formas de energia de um sensor | Erro! Indicador não definido. |
| Figura 5 - Estrutura de um quadro Lora..... | 15 |
| Figura 6 - Topologia da rede IoRaWan | 18 |
| Figura 7 - Camadas da tecnologia LoRaWAN | 18 |
| Figura 8 - Comparação entre protolos de rede | 19 |
| Figura 9 - LoRaWan para Smart Agriculture..... | 21 |
| Figura 10 - LoRaWan para Smart Cities | 24 |
| Figura 11 - funcionamento da rede lora usando o protótipo | 28 |
| Figura 12 - Pinagem da Placa ESP32 | 29 |
| Figura 13 Arduino Ide..... | 30 |
| Figura 14 - Primeira Experiência..... | 31 |
| Figura 15 - Segunda Experiência..... | 32 |
| Figura 16 - Terceira Experiência..... | 33 |

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Comparação entre Protótipos de rede LPWAN 19

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|---------|---|
| IoT | Internet of Things |
| LoRaWAN | Junção do termos "Long Range" com WAN (Wide Area Network) |
| RSSI | Received Signal Strength Indication |
| SNR | Signal to Noise |

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1 INTRODUÇÃO | 8 |
| 1.2 Apresentação do problema de pesquisa..... | 8 |
| 1.3 Justificativa..... | 9 |
| 1.4 Metodologia de pesquisa | 9 |
| 1.5 Estrutura dos capítulos | 9 |
| 2 Objetivos | 10 |
| 2.1 Objetivos Gerais..... | 10 |
| 2.2 Objetivos Específicos | 10 |
| 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 10 |
| 3.1 Internet das Coisas (IoT)..... | 10 |
| 3.2 Sistemas embarcados e microcontroladores | 12 |
| 3.4 Lora e o ESP32 | 13 |
| 3.5 Rede LoRa | 14 |
| 2.5.1 Conceitos fundamentais de comunicação sem fio | 14 |
| 3.5.1 Conceito de LoRa | 16 |
| 3.5.2 Protocolo de comunicação LoRaWAN | 17 |
| 3.5.3 Comparação entre LoRa e outros protocolos de rede | 19 |
| 3.5.4 Aplicações em diversas áreas | 20 |
| 3.6 Propostas de Trabalhos Relacionados | 28 |
| 4. Metodologia | 28 |
| 4.1 Módulo ESP32 LoRa..... | 29 |
| 4.2 Ambiente de Desenvolvimento | 29 |
| 4.3 Implementação..... | 30 |
| 5. Conclusão | 33 |
| 6. Referência | 34 |
| APÊNDICE A - Transmissor | 39 |
| APÊNDICE B - Receptor | 40 |

1 INTRODUÇÃO

A Internet das Coisas (IoT) é um ecossistema de objetos conectados entre si, seja de uso cotidiano ou da indústria, que utilizam a tecnologia de processamento, sensoriamento e transmissão de dados para receber e enviar informações, formando uma rede integrada. A nova interface de combinação de componentes físicos é de rede, que proporciona um novo método de comunicação entre humanos, máquinas e objetos que oferecem serviços (MEDEIROS; COLPO; SCHNEIDER; CARVALHO, 2018).

Um dos desafios na IoT é projetar um dispositivo para IoT em sua camada física e de transmissão de dados que possua capacidade de longo alcance e requisitos de energia muito baixos. Além disso, a IoT enfrenta diversos desafios, como a falta de compatibilidade entre dispositivos, capacidades limitadas em termos de memória, processamento e energia da bateria, problemas de conectividade entre os dispositivos devido à grande variedade de protocolos, escalabilidade devido ao aumento no uso de dispositivos para a implementação e problemas de segurança do sistema (GUPTA; QUAMARA, 2018).

De acordo com Ortiz, Cruz, Couto e Costa (2018), dentre os problemas enfrentados anteriormente, alguns se destacam como limitação de processamento, energia e alcance da rede sem fio específico de objetos inteligentes. Como forma de sanar esse problema, surge o protocolo Lora, uma tecnologia de carácter proprietário que utiliza uma rede de longo alcance e baixa potência, do termo em inglês LPWAN (Low Power Wide Area Network).

1.2 Apresentação do problema de pesquisa

Por ser uma tecnologia recente e pouco utilizada em território nacional conforme dito por Oliveira, Conceição e S. Neto (2018), existe a necessidade de demonstrar o protocolo Lora como solução eficiente para transmissão de dados de longa distância. Sua capacidade de alcançar distâncias significativas, superando obstáculos físicos e oferecendo cobertura em áreas remotas e isoladas, é um dos pontos mais relevantes a serem explorados. Neste estudo será realizado um experimento para avaliar diretamente a capacidade do LoRa em transmitir dados em distâncias consideráveis.

1.3 Justificativa

A rede Lora é relevante devido às suas diversas aplicações, conforme destacado por Oliveira, Conceição e S. Neto (2018). Em Smart Cities, pode ser utilizada no rastreamento de veículos para evitar congestionamentos e monitoramento da qualidade do ar. Em Smart Grids, auxilia na eficiência e confiabilidade das redes elétricas. Em Smart Farms, a tecnologia Lora é útil para o monitoramento de plantações e animais, com baixo consumo de bateria. Na indústria, o Lora é uma solução eficiente em relação aos antigos métodos de transmissão de dados.

Visando ilustrar como o tema é relevante, será usado um protótipo com LoRa, na prática. Será utilizado um protótipo em Esp32 que utiliza a rede Lora, para demonstrar, sua capacidade de transmitir dados em tempo real para outro dispositivo de mesmo tipo. Na prática, o protótipo poderia ser utilizado em agricultura ou em hortas residenciais.

1.4 Metodologia de pesquisa

De acordo com Wazlawick (2014), uma pesquisa exploratória não exige que o pesquisador comprove uma hipótese, mas sim que realize um levantamento e análise de determinada área por meio de revisão bibliográfica. Para identificar o tema do Lora dentro da área de IoT, este trabalho utilizou métodos exploratórios, além de pesquisa para levantamento de artigos, livros, sites e seminários, a fim de desenvolver e fundamentar o tema abordado no trabalho.

1.5 Estrutura dos capítulos

O primeiro capítulo tem como objetivo introduzir o tema em questão. Já o segundo capítulo apresenta um levantamento teórico sobre o conceito geral de IoT, abrangendo seus elementos constituintes em termos de hardware, software e comunicação. No que diz respeito ao hardware, o tópico de sistemas embarcados é abordado de maneira geral, seguido pelo conceito de microcontroladores e sensoriamento, culminando com a apresentação do ESP32, que é a placa utilizada no trabalho.

No que se refere ao software, é apresentada a plataforma Arduíno IDE que usa a linguagem c++, que será utilizada para o desenvolvimento do projeto. Por fim,

em relação à questão da comunicação de dados, são introduzidos conceitos fundamentais de comunicação sem fio em redes, para em seguida apresentar o foco principal do trabalho, que é a tecnologia LoRa. Nesse contexto, são abordados os conceitos, o protocolo de comunicação LoraWan e suas diversas aplicações.

2 Objetivos

2.1 Objetivos Gerais

Objetivos gerais é o Desenvolvimento de uma placa de prototipagem usando ESP32 com LoRa para a transmissão de dados em longa distância no contexto do IoT como forma de demonstrar as capacidade de da tecnologia lora em um ambiente pratico

2.2 Objetivos Específicos

- Pesquisar e avaliar a literatura existente sobre a tecnologia LoRa e sua aplicação no contexto do IoT
- Desenvolver uma placa de prototipagem usando o ESP32 com o módulo LoRa
- Desenvolver um Algoritmo Capaz de se utilizar, realizar a extração de dados do sensor, exibir dados e transmitir dados via lora
- Demonstrar a capacidade de coleta e transmissão de dados em tempo real.
- Realizar testes e avaliações da placa de prototipagem em um ambiente para avaliar sua eficiência e confiabilidade.
- Documentar e apresentar os resultados da pesquisa, desenvolvimento e avaliação da placa de prototipagem neste trabalho.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Internet das Coisas (IoT)

De acordo com Carrion e Quaresma (2019), a IoT é um ecossistema que conecta objetos físicos com capacidade computacional via rede, permitindo a troca de dados e informações em tempo real. O conhecimento é adquirido por meio de dispositivos como sensores, atuadores e câmeras, que enviam os dados para armazenamento. Os elementos fundamentais da IoT são os dispositivos inteligentes com capacidade sensorial, as redes de comunicação e a plataforma principal. A

integração desses dispositivos é fundamental para garantir a interconexão eficiente das partes (BUYYA; DASTJERDI, 2016).

A IoT é composta por diversas camadas, como explica Balani (2021). A camada de dispositivos inclui vários aparelhos do cotidiano com capacidade de conexão à internet para gerar dados. Esses dispositivos são classificados como dispositivos embarcados, dotados de chips e sistemas operacionais gerenciáveis. Na camada de dispositivos, os sensores leem parâmetros externos como temperatura, vibração, som e movimento, capturando dados em uma área específica que serão enviados pela rede.

A prototipagem é essencial para testar os cenários de uso da IoT, avaliar a eficácia dos dispositivos, identificar possíveis problemas e aprimorar o funcionamento do sistema como um todo. Na camada de comunicação, a conexão de rede por meio da internet permite a transmissão e recepção de dados. O protocolo de comunicação define a tecnologia empregada no hardware e, portanto, a conectividade, que pode ocorrer de forma direta ou por meio de roteamento.

Na camada de plataforma principal, a coleta, processamento e comunicação contínua de dados entre dispositivos e sistemas no ecossistema da IoT são possibilitados. Essa camada é essencial para a IoT, pois funciona como o backbone da IoT, permitindo a criação de soluções inteligentes para as mais diversas áreas. A plataforma principal da IoT é composta por uma variedade de tecnologias e soluções, como sistemas operacionais, protocolos de comunicação, serviços em nuvem e softwares de análise de dados. Esses elementos são essenciais para permitir que a IoT opere de forma eficiente e confiável.

Figura 1 - Camadas de IoT

| | |
|----------------------------------|---|
| Plataforma principal | ARMAZENAMENTO DE DADOS, AGREGAÇÃO DE DADOS / FILTRO DE DADOS MIDDLEWARE DE MENSAGENS IOT PROTOCOLO GATEWAY |
| Protocolos de Comunicação | MQTT, COAPP, DDS, XAMP. IPV5, IPV6, LORA BLUETOOTH, GSM, ZIGBEE, MODBUS |
| Dispositivos | DISPOSITIVOS E COMPONENTES Dispositivos Inteligentes Sensores / Atuadores Dispositivos Embarcados |

Fonte: Modificado de Balani (2021)

3.2 Sistemas embarcados e microcontroladores

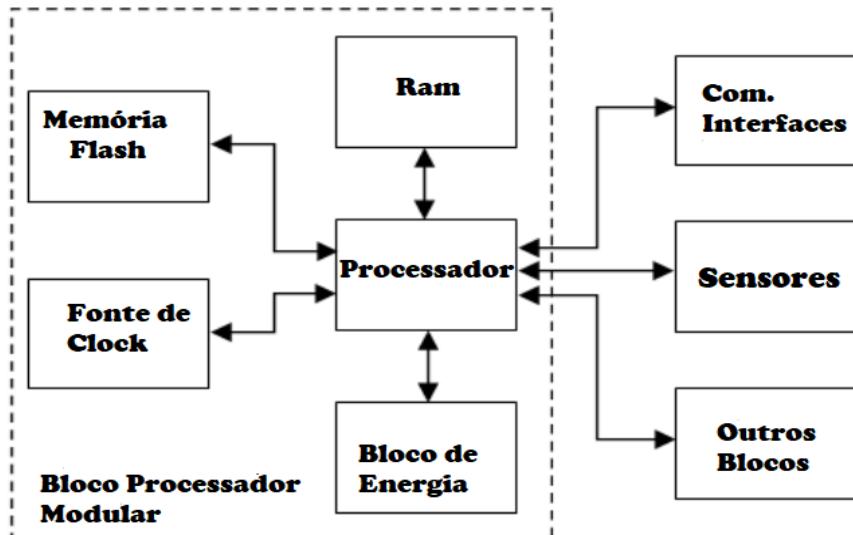
Sistemas embarcados são sistemas eletrônicos microprocessados construídos com um propósito único que não pode ser alterado após a fabricação. Embora esses sistemas possuam um processador capaz de realizar outras atividades, sua configuração é restrita a uma funcionalidade específica.

As limitações de recursos de memória e processamento, bem como a quantidade reduzida de terminais de entrada e saída, são características comuns dos sistemas embarcados. Essas restrições tornam os sistemas embarcados ideais para projetos que demandam economia de energia e custo.

Devido à sua versatilidade, os sistemas embarcados são amplamente utilizados em diversos setores industriais. Esses sistemas se adaptam bem a projetos que exigem eficiência energética e econômica, e suas limitações de hardware os tornam especialmente úteis em projetos que não requerem um computador de propósito geral.

Com a economia de energia e custo como principais vantagens dos sistemas embarcados, é fácil entender por que são tão populares em setores como automotivo, médico, aeroespacial e eletrônico, entre outros. As aplicações dos sistemas embarcados vão desde dispositivos médicos portáteis até sistemas de controle de tráfego aéreo e produção industrial automatizada.

Figura 2 - Diagrama de blocos básicos de um sistema embarcado



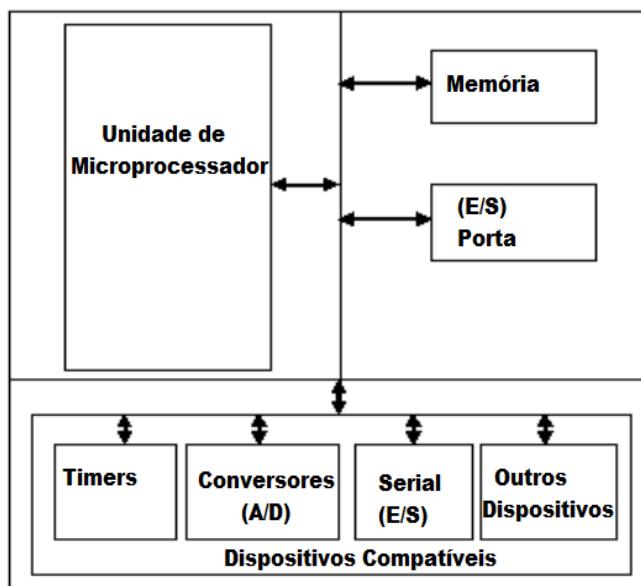
Fonte: Modificado de (ARSLAN; GÜNDÜZALP, 2017)

Um microcontrolador é um circuito integrado que contém um processador simples, pinagem de entrada e saída e memória. As características desses

dispositivos variam de acordo com sua arquitetura, conjunto de instruções, periféricos e consumo de energia (ALVES; COSTA; BEZERRA, 2018).

Devido à sua ampla disponibilidade e facilidade de uso, os microcontroladores estão presentes em diversos itens do cotidiano, como eletrodomésticos, relógios, periféricos de computador e veículos. Eles também são amplamente utilizados na indústria e na automação residencial. Sua versatilidade e baixo custo tornam mais fácil a configuração e o manuseio desses dispositivos em placas de desenvolvimento, como Arduino, Raspberry Pi e ESP32..

Figura 3 - Diagrama básico de blocos do microcontrolador



Fonte: modificado (REDDY, 2011)

3.4 Lora e o ESP32

O ESP32 demonstra ser uma plataforma altamente indicada para integração com a rede LoRa, apresentando uma série de vantagens notáveis. Destacam-se, entre essas vantagens, o baixo consumo de energia e uma elevada capacidade de processamento. Essas características essenciais permitem a conexão com diversos módulos de sensoriamento.

Embora existam outras placas amplamente reconhecidas na comunidade de desenvolvimento de prototipagem, como o Arduino, que apesar de sua popularidade, é conhecido por suas restrições em relação ao consumo energético e à flexibilidade na conexão com dispositivos externos enquanto outras placas, como a MSP430, apresentam limitações processamento.

Além disso, é válido mencionar que o ESP32 possui chip de comunicação LoRa integrado, bem como antenas otimizadas para esse tipo de rede. Isso torna o ESP32 uma escolha ainda mais atraente para projetos que requerem este tipo de conectividade (PERDOMO-CAMPOS; VEGA-GONZÁLEZ; RAMÍREZ-BELTRÁN, 2023).

3.5 Rede LoRa

2.5.1 Conceitos fundamentais de comunicação sem fio

A transmissão sem fio de uma rede LoRa entre pontos distantes só é possível graças à modulação de sinal sem fio. Essa técnica consiste em modificar o sinal de informação, para permitir sua transmissão através do ar ou espaço livre, utilizando uma frequência de ondas eletromagnéticas específicas.

A frequência de um sinal representa a quantidade de vezes que o sinal se repete em um determinado período de tempo. Dessa forma, a escolha da frequência correta é fundamental para garantir uma transmissão eficiente e confiável do sinal.

Segundo Angrisani, Darco, Dassi e Liccardo (2018) Diversos parâmetros caracterizam um sinal deles se encontram:

- Onda portadora (*Carrier Frequency*): A onda portadora possui alta frequência porém sendo modulada em baixa frequência para assim transportar a informação modulada de um lugar para outro por um meio de comunicação como ar ou cabo sem realmente transmitir diretamente as informações em si.
- Largura de banda (*Bandwidth*): é a largura das frequências no banda de transmissão, que determinam a capacidade máxima de transmissão da rede
- Fator de espalhamento (*Spreading Factor*): representa a quantidade numérica de símbolos enviados por bits de informação durante a modulação
- Taxa de código (*Coding Rate (CR)*): se trata da correção adiantada de possíveis erros de encaminhamento sua aplicação a mensagem tem como função a proteção contra interferência
- I/Q : São dois sinais senoidais, no contexto do LoRa, a inversão de fase em um dos sinais I ou Q é usada como uma técnica de modulação para aumentar a

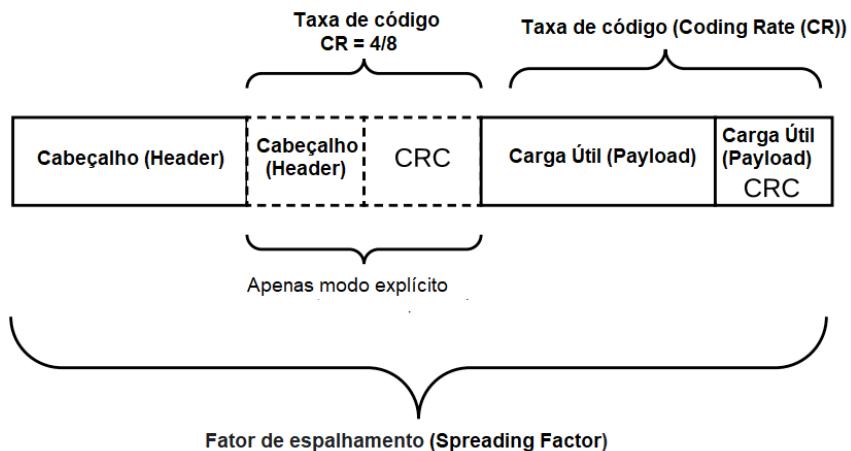
eficiência espectral da transmissão.

Para garantir que o sinal seja recebido corretamente, é necessário estruturá-lo em uma unidade de dados chamada de quadro ou frame. Um quadro é um container simples para um único pacote de rede.

Conforme descrito por Savaux, Delacourt e Savelli (2021) o formato de quadro do LoRa consiste em três grandes partes:

- Preâmbulo (*Preamble*): é um conjunto de símbolos que é inserido no início do pacote de dados para permitir que o receptor detecte e sincronize o quadro LoRa em termos de tempo e frequência. Além disso, é incluída uma "sync word", que é composta por dois símbolos que carregam o identificador de rede para no LoRa.
- Cabeçalho (*Header*): contém informações de controle, como o comprimento da carga útil (payload) e a taxa de codificação do canal aplicada à carga útil além do CRC (Cyclic Redundancy Check) que é um mecanismo de detecção de erros utilizado para verificar se os dados recebidos pelo receptor são os mesmos que foram enviados pelo transmissor.. O cabeçalho é sempre composto de oito símbolos.
- Carga Útil (*Payload*): é a parte do pacote de dados que contém as informações que são realmente transmitidas.. Esses dados podem ser informações de sensores, dados de telemetria, mensagens de texto, entre outros.

Figura 4 - Estrutura de um quadro Lora



Fonte: Modificado de (ERTÜRK; AYDİN; BÜYÜKAKKAŞLAR; EVIRGEN, 2019)

Para medir a intensidade e a qualidade do sinal, os parâmetros mais

comumente utilizados são o RSSI e o SNR. O RSSI (Received Signal Strength Indicator) é uma medida relativa empregada para avaliar a força de um sinal em uma rede, como o LoRaWAN, que suporta comunicação bidirecional. As métricas de RSSI desempenham um papel crucial na avaliação da qualidade da comunicação, sendo expressas em valores negativos, onde quanto mais próximo de zero, mais forte é o sinal recebido.

O SNR (Signal-to-Noise Ratio) representa a relação entre a potência do sinal recebido e o nível de ruído presente. Um valor de SNR positivo indica que a potência do sinal supera a potência do ruído ambiente (THETHINGSNETWORK, 2023).

3.5.1 Conceito de LoRa

O Lora é uma rede sem fio, seu nome vem da abreviação da língua inglesa das palavras long Rang. Suas principais características é estar em frequências abaixo de um GHz, não precisar de licença, baixo consumo energético, baixo custo é um alcance de longas distâncias de até 15 km. Devido as suas características serve com solução para área de difícil acesso é no campo da IOT na área de sensoriamento .(PEREIRA; CRUVINEL, 2019)

O Lora utiliza uma técnica de rede sem fio através do rádio, sua modularização de sinal é o espalhamento espectral que consiste em espalhar o sinal original no campo de frequência para ocupar uma largura de banda maior que a largura mínima necessária para transmissão da informação, assim aumentando resistência do sinal a interferência externa. Porém o aumento na taxa de transmissão compromete a robustez que pode ocasionar em perda de mensagem devido à interferência.(ORTIZ; CRUZ; COUTO; COSTA, 2018)

Segundo Silva, Souza, Almeida, Souza, Spanhol e Camargo (2020) No Brasil, a LoRa é usada na faixa de 915 MHz e foi aprovada pela ANATEL em 2018. O padrão australiano é o mais utilizado e possui 72 canais para uplink e 8 para downlink, com diferentes larguras de banda e taxas de codificação. Para usar LoRa, é preciso configurar três parâmetros no dispositivo final para determinar a quantidade de bits por segundo, o tamanho máximo de dados e o tempo de transmissão. Esses parâmetros são:

- Largura de banda: pode ser 125 kHz, 250 kHz ou 500 kHz e pode ser deslocada em até 20%.porém Isso não afeta a decodificação.

- Fator de Espalhamento: determina a quantidade de chirps necessários para representar um símbolo. Quanto maior o fator de espalhamento, maior será o alcance, mas também será usada mais energia por bit.
- Taxa de Código: define a quantidade de bits destinados para dados de redundância na mensagem para recuperar erros. Pode ser entre 1 e 4. Porém, o tempo de transmissão aumenta quando a um incremento na taxa de proteção de modo a aumentar a proteção

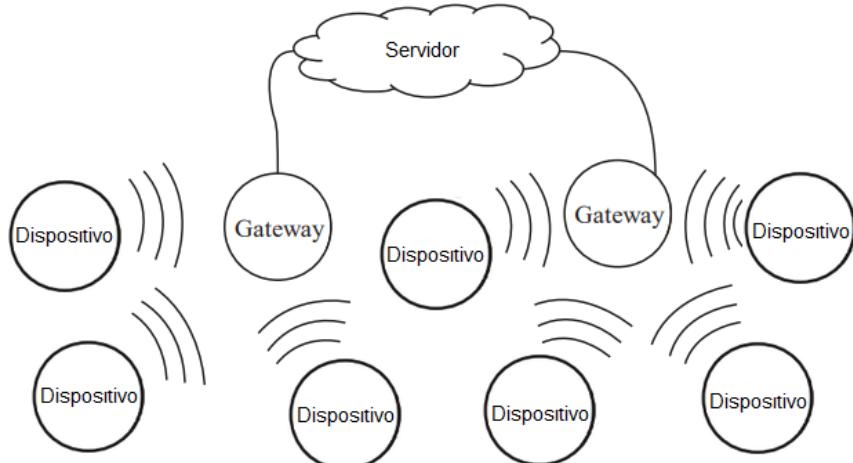
3.5.2 Protocolo de comunicação LoRaWAN

Enquanto o Lora é utilizado na camada física da rede, o protocolo Lorawan é destinado à camada de comunicação que define o protocolo de comunicação para a transmissão desses dados, garantindo a segurança e integridade das informações transmitidas. Juntos, eles formam a arquitetura do sistema de rede que possibilita a transmissão de dados de longo alcance de forma eficiente, principalmente em sistemas de IoT

LoRaWAN é um protocolo que permite que muitos dispositivos se comuniquem com um gateway usando modulação LoRa. Ele também inclui recursos de segurança, como autenticação e criptografia. Cada pacote pode ter até 255 bytes e pode transmitir dados a uma taxa de até 50 Kbps. Além disso, o LoRaWAN tem o recurso ADR, que permite ao servidor LoRa alterar as configurações dos dispositivos para melhorar a taxa de transmissão, tempo de transmissão e consumo de energia (ZYRIANOFF; HEIDEKER; SILVA; KLEINSCHMIDT; KAMIENSKI, 2019).

Uma rede LoRaWAN comum tem três componentes: dispositivos (como sensores ou atuadores), gateways e um servidor. Os dispositivos são conectados aos gateways por meio de links sem fio LoRa, enquanto os gateways se conectam a um servidor remoto por meio de uma rede IP. A topologia da rede é chamada *Star-of-Stars*, o que significa que grupos de dispositivos são conectados a um gateway central que, por sua vez, está conectado a um servidor central. O servidor coleta e analisa informações dos dispositivos conectados. (BANKOV; KHOROV; LYAKHOV, 2016).

Figura 5 - Topologia da rede LoRaWan



Fonte: Modificado (BANKOV; KHOROV; LYAKHOV, 2016 , p.1).

Segundo Silva, Souza, Almeida, Souza, Spanhol e Camargo (2020) A LoRaWAN é uma tecnologia que permite a comunicação entre dispositivos e gateways, e tem três configurações diferentes para dispositivos finais. A Classe A é a configuração obrigatória. Já na Classe B, a comunicação é iniciada pelo gateway, que abre duas janelas de recepção após determinar o momento da transmissão. Na Classe C, o dispositivo final mantém uma janela aberta até a próxima transmissão, precisando de uma fonte constante de energia.

Figura 6 - Camadas da tecnologia LoRaWAN

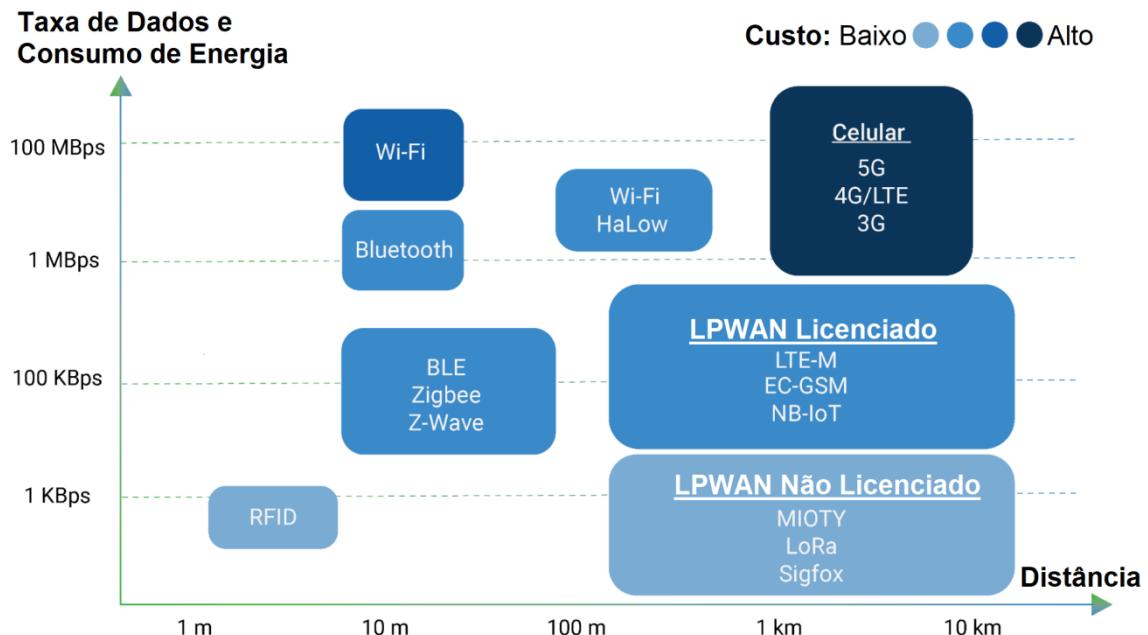


Fonte: Semtech Corporation (2015, p. 11)

Em relação à segurança, a LoRaWAN usa criptografia AES-CMAC para a rede e AES-CCM* para a aplicação. Existem dois tipos de autenticação disponíveis: OTAA, que é mais robusto e envolve a troca de chaves com a rede, e ABP, que é mais simples e envolve o armazenamento direto das chaves no dispositivo.

3.5.3 Comparação entre LoRa e outros protocolos de rede

Figura 7 - Comparação entre protocolos de rede



Fonte: Adaptado de Bassi (2021)

A Rede LoRa se destaca dos demais protocolos de comunicação de uso generalizado devido a suas notáveis vantagens: baixo consumo de energia, segurança robusta e um alcance amplo. Embora apresente uma desvantagem em termos de baixa transmissão de dados, suas características específicas a torna ideal para atender às demandas de sistemas embarcados. Como resultado, seu uso está rapidamente ganhando popularidade em aplicações IoT. (DEVALAL; KARTHIKEYAN, 2018)

Tabela 1 Comparação entre Protocolos de rede LPWAN

| Parâmetro | LORA | MIOTY | SIGFOX |
|---------------------------|----------------|----------------|----------------|
| Alcance | < 14 km | < 15 km | < 17 km |
| Frequência do Espectro | não licenciado | não licenciado | não licenciado |
| Largura de Banda do Sinal | 125kHz | 2kHz | 0.1 kHz |
| Taxa de Dados | < 10 kBbps | < 2.4 kBbps | < 10 Bps |
| Padrão aberto | sim | não | parcial |
| Implantações | amplamente | alguns | amplamente |

Fonte: e, Sikora, Schappacher e Amjad (2019)

Conforme descrito na tabela acima o LoRa mesmo se comparado a outras redes LPWAN similares oferece um alcance de até 14 km, comparável ao MIOTY e ao Sigfox, mas se destaca com uma largura de banda e taxa de dados maiores para transmissões eficientes em maior velocidade. Sendo um padrão aberto, promove flexibilidade e inovação.

3.5.4 Aplicações em diversas áreas

Na área da Agricultura, de acordo com Citoni, Fioranelli, Imran e Abbasi (2019), a população mundial deverá atingir 9 bilhões de pessoas antes de 2050, especialmente nos países em desenvolvimento. A Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação prevê que, para atender a essa demanda, a produção de alimentos nesses países precisa dobrar, ao mesmo tempo em que diversos fatores podem afetar negativamente a produção, como mudanças climáticas, escassez de água e combustíveis fósseis, diminuição da quantidade de terra arável e aumento no preço energético. No entanto, avanços tecnológicos como a IoT podem ajudar a mitigar esses problemas.

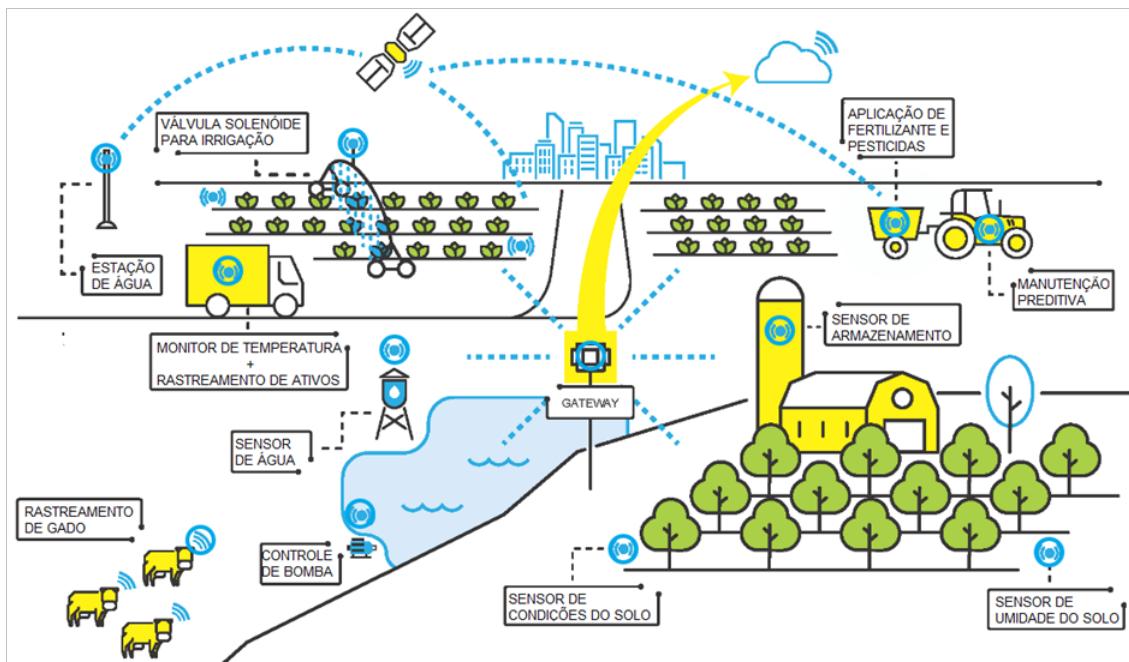
A IoT possui a capacidade de melhorar a eficiência do setor agrícola globalmente, aumentando a produção por meio de sensores e atuadores que captam e transmitem informações sobre o solo, animais, água, maquinário, condições climáticas e energia, permitindo a otimização desses recursos. Para o funcionamento desses dispositivos interconectados, uma rede de longa distância se mostra bastante adequada.

As aplicações mais comuns de IoT para a tecnologia agrícola incluem:

- Controle automático de irrigação: que otimiza o uso de água na agricultura, monitorando as condições do solo para ativar a irrigação de forma inteligente;
- Agricultura arável: que inclui o monitoramento do solo, análise química para detectar pragas e doenças e monitoramento de máquinas;
- Pecuária de bem-estar animal: que inclui o monitoramento do movimento dos animais para diagnosticar e prevenir doenças, como claudicação, hábitos de alimentação e monitoramento da boiada;
- Controle de armazenamento: que avalia a quantidade de recursos

- armazenados para avaliar se precisam ser repostos ou escoados;
- Controle durante o transporte: que permite avaliar se a temperatura está em níveis seguros durante o transporte e armazenamento, além de rastrear a localização e o movimento de ativos em tempo real para prevenir perdas e roubos.

Figura 8 - LoRaWan para Smart Agriculture



Fonte: Modificado de Alliance (2023)

Quanto à aplicação em prédios de acordo com Havard, McGrath, Flanagan e Macnamee (2018), a utilização da IoT em edificações é cada vez mais necessária, visto que a tecnologia trouxe uma nova dimensão para a automação residencial. Isso permite que o gerenciamento predial tenha informações precisas sobre o desempenho do edifício e possa tomar decisões informadas para melhorar a eficiência energética, segurança e conforto dos ocupantes. Portanto, a aplicação da IoT em edifícios inteligentes é uma área em constante evolução e que ainda há muito a ser explorada.

Uma rede de sensores permite diversas medições, incluindo iluminação, temperatura, umidade, etc. O uso inteligente desses sensores em edifícios, em conjunto com atuadores, permite o controle e monitoramento do ambiente. Alguns projetos de implementação incluem:

- Climatização: a temperatura em um prédio afeta o conforto e a produtividade. O controle automático da temperatura pode ser feito com sensores e

equipamentos em cada sala.

- Iluminação: sensores podem monitorar a iluminação e a presença de pessoas em uma sala, permitindo a economia de custos e energia. O sistema pode ser aprimorado para que os usuários possam adaptar a iluminação.
- Uso de eletricidade: em edifícios inteligentes, um sistema de gerenciamento de energia permite que as pessoas acompanhem seu consumo de energia e reduzam seu uso.
- Uso de água: as medições de consumo de água podem conscientizar as pessoas a evitar desperdícios. Exibir níveis de uso e custos pode motivar a adoção de técnicas para reduzir o consumo.
- Detecção de fogo, fumaça e monóxido de carbono: sensores podem detectar fogo e monóxido de carbono para prevenir fatalidades.
- Detecção de vazamento de água: sensores podem indicar riscos de inundação e ativar contramedidas, se possível.
- Estado das janelas: alertas podem ser enviados se os sensores detectarem janelas abertas, o que pode ser um problema de segurança.

A Agricultura de Precisão (AP) representa uma abordagem agrícola de vanguarda que faz uso de tecnologias avançadas, tais como sistemas de sensores e comunicação sem fio, para a coleta de dados minuciosos sobre as condições do campo, abrangendo informações sobre solo, clima e culturas. Este enfoque é especialmente relevante em áreas agrícolas remotas, onde a conectividade e a coleta de informações precisas são essenciais para uma gestão eficaz.

A tecnologia LoRa (Low Power Wide Area Network) desempenha um papel fundamental na Agricultura de Precisão, como descrito no estudo de Silva, Mendes, Silva, Santos, Mestre, Serôdio e Morais (2019). Essa tecnologia oferece uma solução de comunicação sem fio de longo alcance e baixo consumo de energia, tornando-a ideal para a coleta de dados em ambientes agrícolas vastos e muitas vezes distantes de infraestruturas de telecomunicações convencionais. Além disso, observa-se uma tendência crescente no uso desta tecnologia.

Diversos experimentos foram conduzidos para explorar as aplicações da tecnologia LoRa no monitoramento agrícola. Um desses experimentos envolveu o rastreamento de vacas, permitindo a coleta de dados de sinais vitais e localização por

meio de dispositivos em suas coleiras. Apesar de uma taxa de perda de pacotes de 20% a uma distância de aproximadamente 2 km entre os dispositivos e o gateway LoRa, essa abordagem se mostrou eficaz.

Em um adicional experimento, direcionado ao monitoramento das condições climáticas em uma estufa destinada à produção de cogumelos, foi empregada a tecnologia LoRa, por meio de dispositivos de custo acessível e baixo consumo de energia. Embora o LoRa enfrente desafios notáveis em ambientes com obstáculos, como edifícios, vale ressaltar que esta tecnologia se destacou em grandes áreas, como campos agrícolas.

Uso em Cidades de acordo com Zanella, Bui, Castellani, Vangelista e Zorzi (2014), a IoT possibilita a coleta de uma enorme quantidade e variedade de dados gerados por diferentes entidades, como organizações, cidadãos, empresas e administrações públicas. Essas entidades formam uma entidade ainda maior que é a cidade, e os dados coletados são fundamentais para criar uma cidade inteligente por meio de uma estrutura unificada, simples e econômica. A implementação da IoT urbana pode trazer diversos benefícios na gestão e otimização dos serviços públicos.

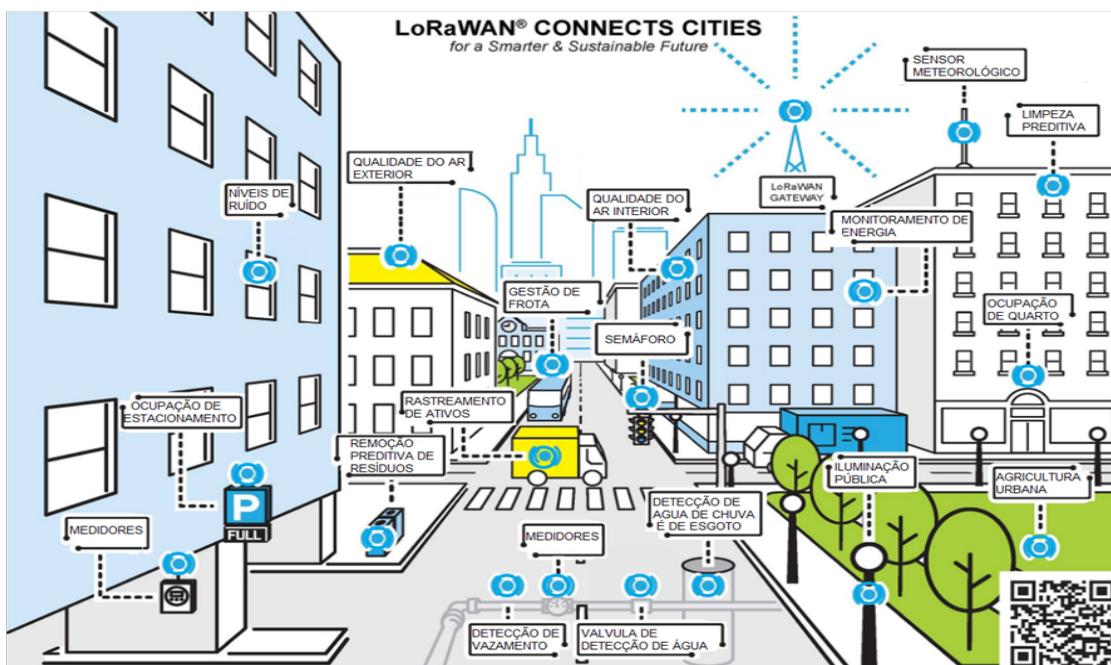
Ao instalar um conjunto de sensores e atuadores em edifícios para obtenção de um sistema interligado, diversas infraestruturas de gerenciamento e monitoramento são criadas dentro da cidade, as quais incluem:

- Saúde estrutural dos edifícios: monitoramento das condições reais de cada edificação e identificação de áreas mais sujeitas ao impacto de agentes externos, fornecendo um banco de dados distribuído de medições das integridades estruturais.
- Resíduos: gestão de resíduos por meio do uso de contêineres de lixo inteligentes que detectam o nível de carga e permitem uma otimização da rota dos caminhões coletores.
- Ar: monitoramento da qualidade do ar em áreas lotadas e parques, além de fornecer recursos de comunicação para aplicativos de saúde em dispositivos pessoais.
- Ruído sonoro: medição da quantidade de ruído produzido em qualquer hora nos locais que adotam o serviço.

- Trânsito: monitoramento do tráfego da cidade usando sensores e GPS em veículos para fornecer informações importantes às autoridades e aos cidadãos, possibilitando a solução de problemas relacionados ao trânsito.
 - Iluminação inteligente: otimização da eficiência da iluminação pública, ajustando a intensidade de acordo com a hora do dia, condições climáticas e presença de pessoas.

Automação e salubridade de prédios públicos: monitoramento do consumo de energia e do meio ambiente em edifícios públicos usando sensores e atuadores para controlar iluminação, temperatura e umidade, aumentando o conforto das pessoas que vivem nesses ambientes e reduzindo os custos de aquecimento e resfriamento.

Figura 9 - LoRaWan para Smart Cities



Fonte: Modificado de Alliance (2023)

Na área da logística conforme apontado por Song, Yu, Zhou, Yang e He (2021), a logística é a gestão coordenada e detalhada de uma operação complexa que envolve muitas pessoas, instalações ou suprimentos, com o objetivo de movimentar recursos, bens e serviços desde o ponto de origem até o ponto de consumo, a fim de garantir que os recursos estejam disponíveis onde são necessários. No entanto, o alto custo da logística pode afetar a eficiência das cadeias globais de comércio, sendo necessária uma abordagem mais eficiente para reduzir custos.

A logística inteligente baseia-se em tecnologias recentes para realizar monitoramento em tempo real e coletar informações de todo o processo logístico, com o objetivo de melhorar o processamento, distribuição e armazenamento, contribuindo para a economia de custos.

A seguir, apresentamos oito cenários que demonstram o uso da logística inteligente:

- Transporte: A tecnologia IoT é usada para monitorar veículos, cargas e motoristas em tempo real, melhorando a eficiência do transporte e reduzindo custos e perda de carga.
- Armazenagem: A gestão de armazéns é otimizada usando tecnologias IoT para monitorar o ambiente e melhorar o processo de gestão do produto.
- Carregamento/descarregamento inteligente: As atividades de carregamento e descarregamento são gerenciadas de forma inteligente para uma localidade determinada.
- Carregamento: As atividades de transporte e armazenamento são gerenciadas horizontalmente, em uma mesma localidade, e se beneficiam da IoT para melhorar a eficiência.
- Empacotamento: A IoT é utilizada para criar embalagens interativas, conscientes e inteligentes que se comunicam dinamicamente com sensores, como *RFID*, *NFC*, *Bluetooth* e etiquetas inteligentes.
- Distribuição inteligente: A IoT é aplicada para gerenciar de forma inteligente os centros de distribuição e desenvolver abordagens de entrega.
- Processamento inteligente de informações: A IoT é usada para processar informações logísticas em todos os cenários, incluindo o design de modelos de gerenciamento e sistemas de informação logística.

A Indústria 4.0 é um conceito que se baseia em uma combinação de tecnologias avançadas, incluindo a automação industrial, a digitalização, a computação em nuvem e os sistemas ciberfísicos. Essas tecnologias são interconectadas para criar um sistema mais eficiente e eficaz em termos de produção e operações industriais.

A IoT é uma das tecnologias-chave dentro do conceito da Indústria 4.0. A implementação da IoT na indústria tem como objetivo a comunicação e cooperação

entre processos e componentes, permitindo uma integração mais fácil e eficiente entre os sistemas. A IoT é capaz de coletar e transmitir dados em tempo real, permitindo uma tomada de decisão mais rápida e assertiva em relação aos processos industriais.

A interconexão de processos e componentes por meio da IoT permite uma integração mais eficiente, uma comunicação mais rápida e uma tomada de decisão mais acertada em relação aos processos industriais que gera uma maior produtividade e competitividade no mercado global.(ADEBAYO; CHAUBEY; NUMBU, 2019).

Misra, Roy e Mukherjee (2021) Menciona algumas aplicações industriais dentro do processo da IoT:

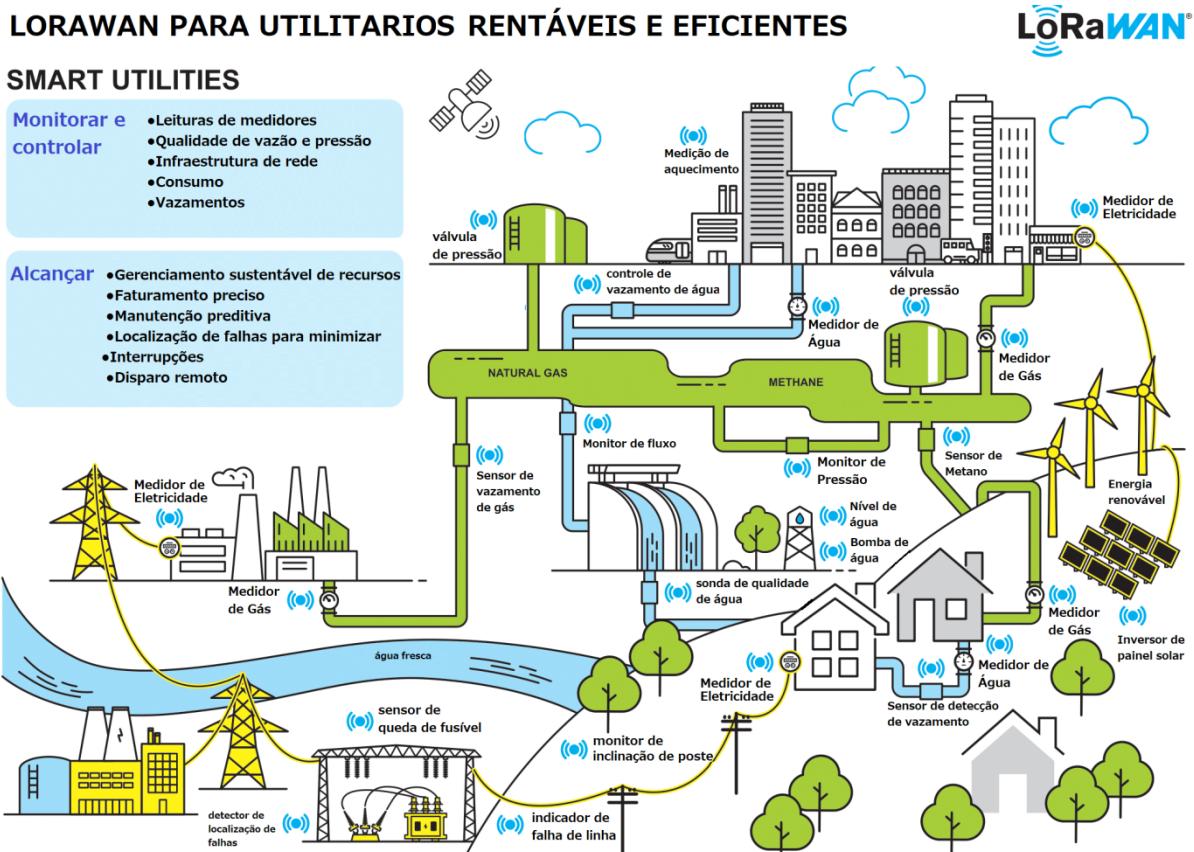
- Manufatura: A Indústria 4.0 impacta significativamente a manufatura, com três tipos de automação: fixa, flexível e programável. A automação na linha de produção coordena estações de trabalho conectadas, reduzindo erros e custos de mão-de-obra, melhorando a qualidade do produto e a segurança do trabalhador.
- Construção: A automação na construção é possível desde o planejamento até a reciclagem de estruturas, melhorando a segurança dos trabalhadores com tecnologias avançadas e sensores inteligentes, além de melhorar a qualidade do trabalho.
- Produção de Alimentos: A digitalização transformou a indústria de alimentos e bebidas, atualização de maquinário, melhoria da segurança dos operadores e reduzindo o consumo de energia. Exemplos incluem o uso da ordenha robótica e limpeza automática em fazendas leiteiras dos EUA, permitindo a expansão da indústria.

Em *Smart Utility* é uma tecnologia avançada de sensoriamento que possibilita a medição e análise do uso de diversos recursos, como eletricidade, água e gás. O grande diferencial dessa tecnologia é a capacidade de transmitir esses dados para fornecedores e clientes em tempo real, permitindo a otimização de estruturas e a detecção de problemas. Além disso, a utilização de *Smart Utility* permite a conservação de recursos naturais por meio da identificação de áreas que apresentam alto consumo e necessitam de melhorias. (GARCIA, 2022)

Segundo Vacca (2021) a utilização demonstra diversas vantagens no gerenciamento e economia de diversos recursos que incluem:

- Eletricidade: Smart Utility monitora uso de energia em casa para detectar gargalos e reduzir consumo. Sistemas controlam redes para minimizar perdas e vazamentos, evitando desperdício. A coleta de dados ajuda a planejar a produção de energia de acordo com a demanda, evitando excesso ou falta dela.
- Água: Distribuição inteligente identifica perdas e uso ilegal de água, reduzindo assim desperdício. O Gerenciamento de ponta a ponta garante distribuição eficiente e evita a perda de água potável. Smart Utility garante abastecimento de água limpa e de qualidade, evitando desperdício e reduzindo o impacto ambiental.
- Gás: Smart Utility identifica desperdício de gás natural, reduzindo consumo desnecessário , o monitoramento inteligente corrige problemas na rede de distribuição, evitando desperdício e interrupções no fornecimento.A gestão inteligente minimiza o impacto ambiental do uso de combustíveis fósseis.

Figura 10 - LoRaWan para Smart Utility



Fonte: Modificado de Alliance (2023)

3.6 Propostas de Trabalhos Relacionados

No estudo de Nunes et al. (2022), a complexidade crescente da tecnologia de sistemas embarcados é abordada, e a placa ESP32 é apresentada como uma alternativa de baixo custo para comunicação de longo alcance. Através de um estudo de caso, o dispositivo foi utilizado para monitorar exercícios físicos coletando dados sobre o tipo de pisada dos usuários.

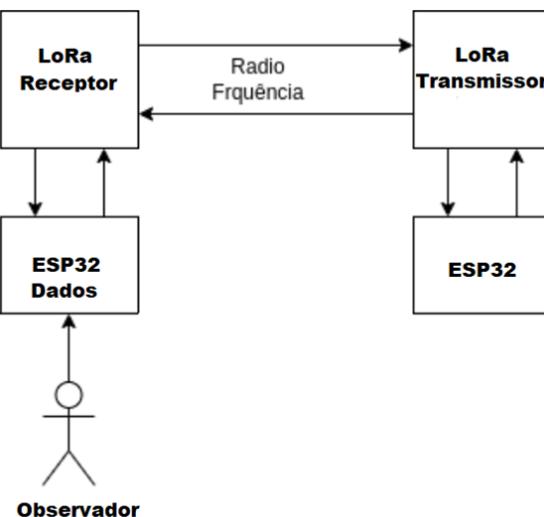
Já o artigo de Rosa et al. (2022) se concentra no uso da placa ESP32 na IoT em um ambiente de pesquisa que requer monitoramento constante. Um sistema de IoT foi utilizado para monitorar condições ambientais como pressão, temperatura, luminosidade, energia, umidade e presença, a fim de garantir o controle ideal do ambiente.

Em resumo, ambos os artigos destacam o potencial da placa ESP32 como uma solução de baixo custo para comunicação de longo alcance e monitoramento de ambientes em aplicações de IoT.

4. Metodologia

O projeto em questão trata-se da implementação de um circuito que utiliza sensores para fazer a leitura de dados e realizar uma transmissão via LoRa. Essas informações são enviadas para um circuito receptor, que interpreta os dados e os exibe para o usuário. Em resumo, o circuito emissor realiza a aquisição dos dados, codifica-os e transmite-os via LoRa. Já o circuito receptor recebe esses dados, decodifica-os e os apresenta de forma comprehensível para o usuário final

Figura 11 - funcionamento da rede lora usando o protótipo

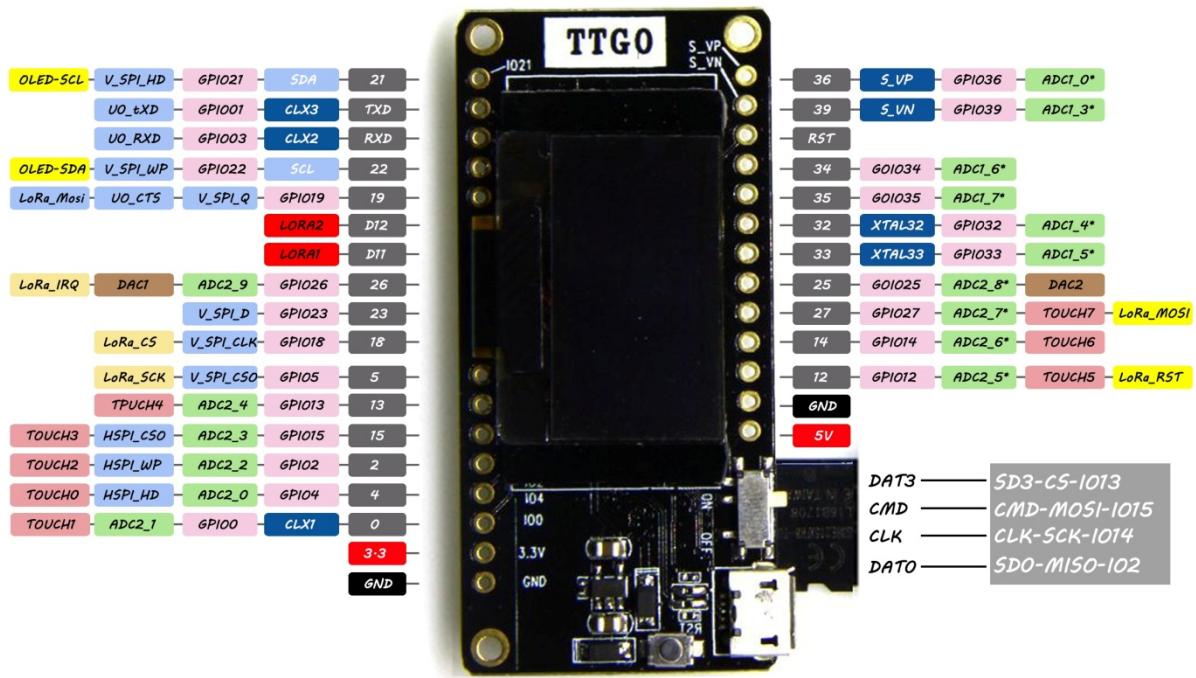


Fonte: autoria própria

4.1 Módulo ESP32 LoRa

O ESP32 incluem a arquitetura Xtensa LX6 da Cadence Design Systems, um processador de dois núcleos que varia de 160 a 240 MHz, capacidade de conexão em redes Wi-Fi e Bluetooth, uma ampla gama de periféricos integrados, como GPIOs, ADCs, DACs, UARTs, I2C, SPI e PWM, além de memória flash integrada que varia de 2mb a 16mb. O dispositivo é compatível com diversas linguagens de programação, incluindo C++, C, MicroPython e Arduino, e recursos avançados de segurança, como suporte a SSL/TLS, criptografia AES e SHA (IBRAHIM; IBRAHIM, 2017).

Figura 12 - Pinagem da Placa ESP32



Fonte: (GITHUB, 2023)

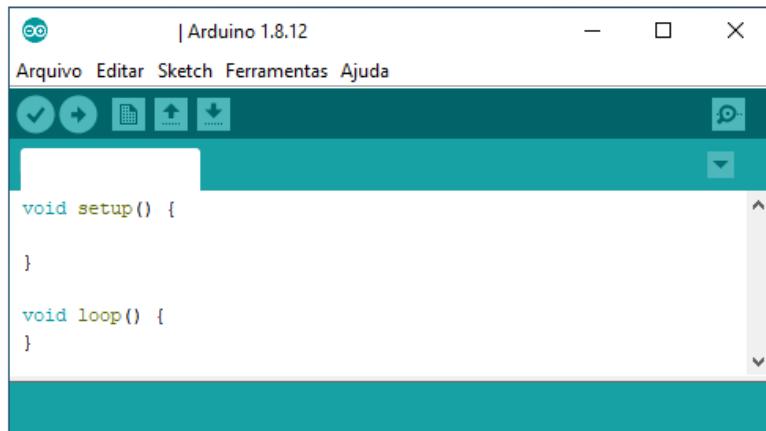
4.2 Ambiente de Desenvolvimento

Será utilizado o ambiente de programação conhecido como Arduino IDE, na versão 1.8.12, que empregar este ambiente foi escolhido devido a sua facilidade de codificação pela empregar as linguagens C e C++, e relevância no cenário de sistemas embargados, principalmente o arduino, embora não se limite a esta. Para viabilizar o uso da placa ESP32, é necessário integrá-la a este ambiente com o

pacote disponível no link https://dl.espressif.com/dl/package_esp32_index.json ao gerenciamento de placas da IDE do arduino

O código se utilizou de uma biblioteca própria denominada "Heltec ESP32 Dev-Boards" é a biblioteca "DHT_sensor_library_for_ESPx" , as funções fornecidas se mostraram funcionais ao sistema específico de codificação para visualização na Tela OLED que faz parte da placa LORA32

Figura 13 Arduino Ide



Fonte: autoria própria

4.3 Implementação

Para a execução do experimento com a placa ESP32 destinada à medição de distâncias, foi crucial selecionar um ponto elevado, situado a vários metros acima do solo, para a instalação do transmissor LoRa. Quanto ao transmissor LoRa, foi imperativo posicioná-lo em um veículo móvel, permitindo o controle da distância percorrida.

Essa escolha estratégica não apenas possibilitou a mobilidade do transmissor em linha reta, mas também tornou eventuais obstáculos entre o transmissor e o receptor mais evidentes e perceptíveis. Este arranjo ofereceu maior visibilidade e eficácia na transmissão, contribuindo para a qualidade e confiabilidade do experimento.

4.2 Distância de Comunicação

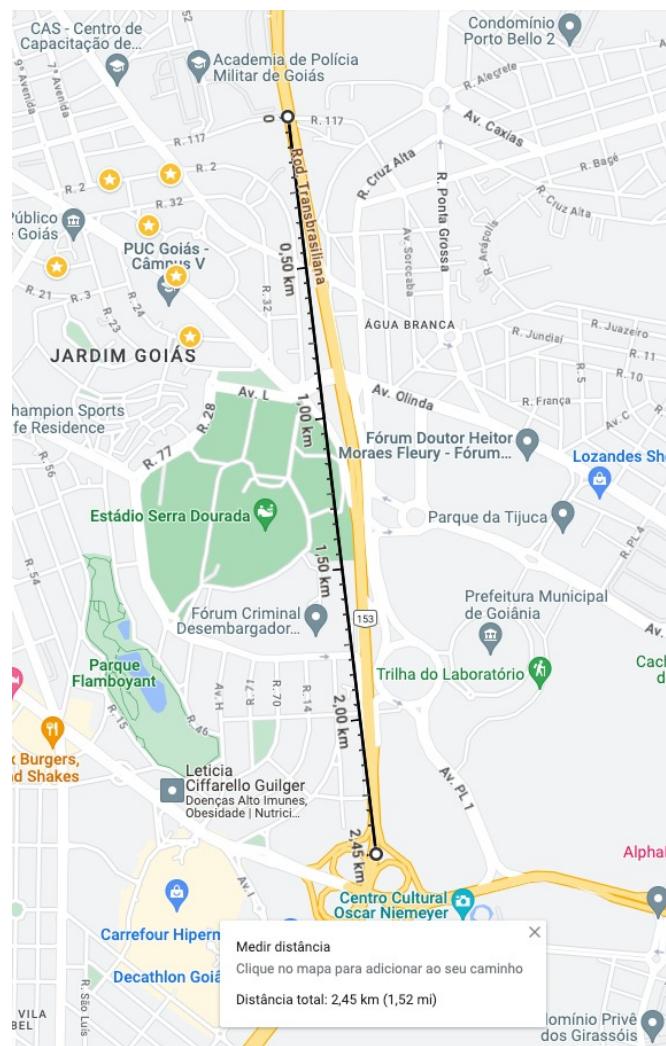
Para avaliar o desempenho em campo dos módulos LoRa, foram conduzidos diversos experimentos. O local de testes está situado em Goiânia, nas proximidades do setor universitário. A primeira experiência foi realizada de maneira preliminar para determinar a distância máxima do sinal LoRa. Este experimento ocorreu em um dia ensolarado, sem nuvens, no período da manhã.

O transmissor LoRa foi alimentado por meio de um power bank, uma bateria portátil, devido à falta de pontos de carregamento no local. A transmissão ocorreu em um viaduto conhecido como Dr. Lauro Belchior, que se destaca acima da rua, conforme reportado pelo jornal local O Popular (2021). As vigas de sustentação do viaduto atingem uma altura de 2,5 metros. Para capturar os dados e as informações

transmitidas, o receptor LoRa foi estrategicamente instalado em um veículo, conectado a um notebook para a extração imediata das informações.

O destino escolhido para o primeiro experimento foi o Centro Cultural Oscar Niemeyer, localizado a uma distância de 2,45 km do ponto de partida. Essa rota foi deliberadamente selecionada, caracterizando-se por um percurso que se desenvolve em uma área desprovida de edifícios ao longo do caminho.

Figura 14 - Primeira Experiência



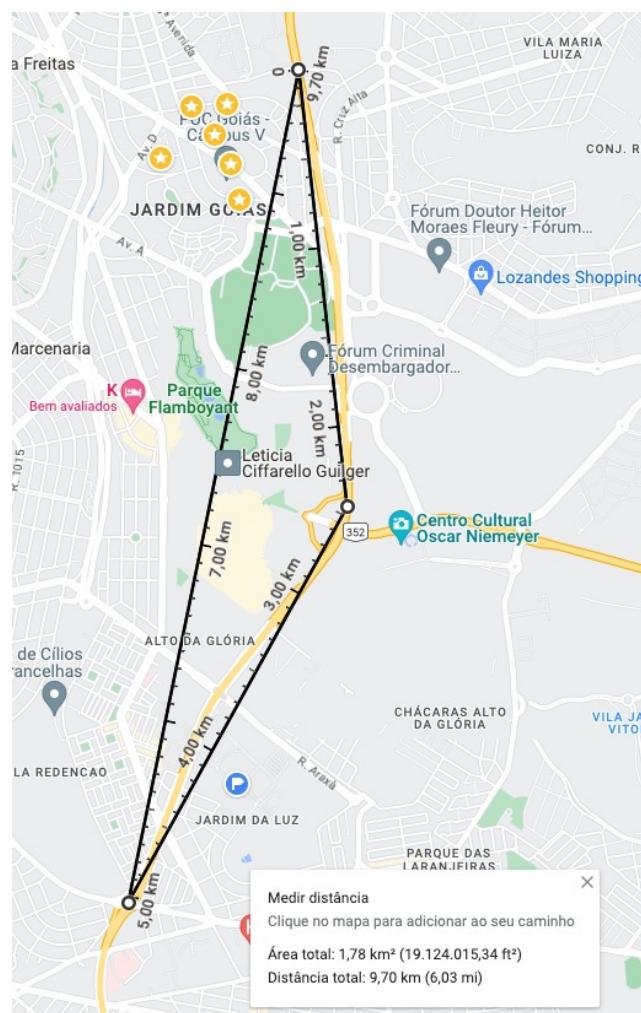
Fonte: De autoria própria.

Para a realização do segundo experimento, buscou-se ampliar a distância em relação ao ponto inicial do primeiro teste. Incrementou-se, assim, a distância em comparação com o ponto final anterior. Neste segundo ponto final, a distância atingiu 4,70 km. Os resultados desse experimento indicaram a não funcionalidade do dispositivo LoRa.

É importante notar que, diferentemente do primeiro teste, esta segunda rota apresenta uma considerável quantidade de edifícios ao longo do caminho entre um ponto e outro. Este cenário pode ter impactado negativamente na comunicação LoRa, contribuindo para a ausência de funcionamento observada nessa etapa do

experimento. Dos dados colhidos no local sobre o sinal foi que houve RSSI de -110, é um SNR de -7.

Figura 15 - Segunda Experiência



Fonte: De autoria própria.

Para o terceiro experimento, optou-se por uma distância ainda maior em comparação ao primeiro ponto, diferenciando-se do segundo experimento, o qual não apresentava obstáculos em seu percurso. Esta terceira etapa do experimento destacou o potencial do dispositivo LoRa, indicando sua eficácia em ambientes abertos e revelando sua capacidade de transmitir dados a uma distância notável de 12,7 km.

Esses resultados ressaltam a viabilidade e o desempenho do LoRa em cenários mais amplos e isentos de obstruções, fortalecendo a proposta de sua implementação em contextos específicos, como campos abertos.

Figura 16 - Terceira Experiência



Fonte: De autoria própria.

5. Conclusão

A pesquisa empreendida neste estudo buscou avaliar e demonstrar a eficiência do protocolo LoRa como solução para a transmissão de dados em longas distâncias no contexto da Internet das Coisas (IoT). A revisão bibliográfica destaca não apenas as características intrínsecas dessas tecnologias, mas também suas aplicações práticas em setores cruciais como agricultura, edifícios inteligentes, cidades conectadas e logística. As etapas metodológicas incluíram um experimento prático para avaliar a capacidade de transmissão.

Os testes de distância de comunicação evidenciaram a capacidade do LoRa em ambientes abertos e isentos de obstruções. A primeira experiência, realizada em uma rota desprovida de edifícios ao longo do caminho, demonstrou uma transmissão eficaz a uma distância de 2,45 km.

No entanto, o segundo experimento, com uma rota mais longa (4,70 km) e presença significativa de edifícios, indicou limitações na funcionalidade do dispositivo LoRa. Este cenário realçou a influência de obstáculos físicos na comunicação LoRa, ressaltando a importância de considerar o ambiente em aplicações práticas.

O terceiro experimento, realizado em um ambiente aberto e sem obstruções significativas, destacou a robustez do LoRa ao transmitir dados a uma distância notável de 12,7 km. Esses resultados reforçam a viabilidade do LoRa em contextos específicos, como campos abertos, e sinalizam a importância de uma implementação estratégica, levando em conta as características do ambiente.

Conclui-se, portanto, que o protocolo LoRa apresenta-se como uma solução promissora para a transmissão de dados em longas distâncias no âmbito da IoT. Sua eficiência, especialmente em ambientes abertos, sugere aplicações potenciais em cenários como agricultura de precisão, monitoramento ambiental e outras áreas onde a conectividade em longa distância é fundamental. Contudo, é vital considerar as limitações em ambientes urbanos densos, onde obstáculos físicos podem impactar negativamente o desempenho da tecnologia.

Este estudo contribui para a compreensão mais aprofundada das capacidades do protocolo LoRa e fornece *insights* valiosos para a implementação prática em cenários específicos da IoT. Como tecnologia emergente, o LoRa continua a despertar interesse e oferece perspectivas promissoras para aplicações futuras, incentivando pesquisas contínuas e aprimoramento dessa tecnologia na expansão da conectividade IoT em diferentes ambientes e setores.

6. Referência

ADEBAYO, Adelaja Oluwaseun; CHAUBEY, Mani Shanker; NUMBU, Levis Petiho. *Industry 4.0: the fourth industrial revolution and how it relates to the application of internet of things(iot)*. **Journal Of Multidisciplinary Engineering Science Studies (Jmess)**, [S.L.], v. 5, n. 2, p. 2477-2482, fev. 2019

ALLIANCE, Lora. **LoRaWAN® for Smart Agriculture**. 2023. Disponível em: <https://lora-alliance.org/> Acesso em: 05 abr. 2023.

ALMEIDA, Rodrigo Maximiano A.; MORAES, Carlos Henrique V.; SERAPHIM, Thatyana F. Piola; GOMES, Otávio de Souza M.. **Programação de Sistemas Embarcados**. 2. ed. Rio de Janeiro: Gen Ltc, 2022.

ALVES, Mateus Lima; COSTA, José Robertty de Freitas; BEZERRA, Carla Ilane Moreira. Um Relato de Experiência: Ensinando Robótica por Meio de Microcontroladores em uma Escola Profissional de Ensino Médio. In: WORKSHOP SOBRE EDUCAÇÃO EM COMPUTAÇÃO (WEI), 26., 2018, Natal. **Anais do Workshop Sobre Educação em Computação (Wei) [...]**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2018

ANGRISANI, L.; D'ARCO, M.; DASSI, C.; LICCARDO, A.. LoRa Signals Classification Through a CS-Based Method. 2018 IEEE 4Th International Forum On Research And Technology For Society And Industry (Rtsi), [S.L.], p. 1-5, set. 2018. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/rtsi.2018.8548460>.

ARSLAN, Sadık; GÜNDÜZALP, Mustafa. *Implementation of a Sodimm Interfaced Embedded and Modular Controller Board*. **Journal Of Multidisciplinary Engineering Science And Technology (Jmest)**, 2017, v. 4, n. 6, p. 7492-7498, jun. 2017.

BALANI, Navveen. **What is Internet of Things**: iot architecture, components and stack view. IoT Architecture, Components And Stack View. 2021. Disponível em: <https://cloudsolutions.academy/how-to/what-is-internet-of-things/>. Acesso em: 14 mar. 2023.

BANKOV, Dmitry; KHOROV, Evgeny; LYAKHOV, Andrey. *On the Limits of LoRaWAN Channel Access.* **2016 International Conference On Engineering And Telecommunication (Ent)**, [S.L.], p. 10-14, nov. 2016.

BASSI, Agustin. **Introducción a LoRaWAN**. 2021. Disponível em: https://www.gotiot.com/pages/articles/lorawan_intro/content.html. Acesso em: 23 ago. 2023.

CAMARGO, Edson Tavares de. Avaliação de Dispositivos de Rastreamento em uma Rede LoRaWAN no Contexto de Cidades Inteligentes. **Anais do Workshop de Computação Urbana (Courb 2020)**, [S.L.], p. 1-14, 10 dez. 2020. Sociedade Brasileira de Computação

CARRION, Patricia; QUARESMA, Manuela. Internet das Coisas (IoT): definições e aplicabilidade aos usuários finais. **Human Factors In Design**, [S.L.], v. 8, n. 15, p. 49-66, 22 mar. 2019. Universidade do Estado de Santa Catarina

CITONI, Bruno; FIORANELLI, Francesco; IMRAN, Muhammad A.; ABBASI, Qammer H.. *Internet of Things and LoRaWAN-Enabled Future Smart Farming.* **Ieee Internet Of Things Magazine**, [S.L.], v. 2, n. 4, p. 14-19, dez. 2019. *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)*. <http://dx.doi.org/10.1109/iotm.0001.1900043>.

DEVALAL, Shilpa; KARTHIKEYAN, A.. LoRa Technology - An Overview. In: PROCEEDINGS OF THE 2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRONICS, COMMUNICATION AND AEROSPACE TECHNOLOGY (ICECA 2018), 2., 2018, Coimbatore. **Conference**. Coimbatore: ieee, 2018. p. 284-290.

E, Jubin Sebastian; SIKORA, Axel; SCHAPPACHER, Manuel; AMJAD, Zubair. Test and Measurement of LPWAN and Cellular IoT Networks in a Unified Testbed. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL INFORMATICS (INDIN), 17., 2019, Helsinki. **Conference**. [S.L.]: ieee, 2020. p. 1521-1527.

ELECTRODUINO. **LDR sensor module | How LDR Sensor Works**. 2020. Disponível em: <https://www.electroduino.com/ldr-sensor-module-how-ldr-sensor-works/>. Acesso em: 27 set. 2023.

ERTÜRK, Mehmet Ali; AYDÑN, Muhammed Ali; BÜYÜKAKKAŞLAR, Muhammet Talha; EVIRGEN, Hayrettin. **A Survey on LoRaWAN Architecture, Protocol and Technologies. Future Internet**, [S.L.], v. 11, n. 10, p. 216, 17 out. 2019. MDPIAG. <http://dx.doi.org/10.3390/fi11100216>.

FLORES, Kristoffer O.; BUTASLAC, Lsidro M.; GONZALES, Jon Enric M.; DUMLAO, Samuel Matthew G.; REYES, Rosula S.J.. Precision Agriculture Monitoring System using Wireless Sensor Network and Raspberry Pi Local Server. In: 2016 IEEE REGION 10 CONFERENCE (TENCON), 34., 2016, Singapore. **Proceedings [...]**. [S. L.]: ieee, 2017. v. 1, p. 3018-3021.

GARCIA, David. ***What Are Smart Utilities? The Future of Resource Management.*** 2022. Disponível em: <https://www.emnify.com/iot-glossary/smart-utilities>. Acesso em: 7 abr. 2023.

GITHUB. **TTGO-LORA32-V2.0.** 2023. Disponível em: <https://github.com/LilyGO/TTGO-LORA32>. Acesso em: 10 dez. 2023.

GUPTA, B.B.; QUAMARA, Megha. ***An overview of Internet of Things (IoT): architectural aspects, challenges, and protocols.*** *Concurrency And Computation: Practice and Experience*, [S.L.], v. 32, n. 21, p. 1-24, 17 set. 2018. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/cpe.4946>.

HAVARD, Nicolas; MCGRATH, Sean; FLANAGAN, Colin; MACNAMEE, Ciaran. ***Smart Building Based on Internet of Things Technology.*** In: **12TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON SENSING TECHNOLOGY (ICST)**, 12., 2018, Limerick. Conference. [S.L.]: ieee, 2019. p. 278-281.

IBRAHIM, Dogan; IBRAHIM, Ahmet. ***The Official ESP32 Book.*** London: Elektor Publication, 2017.

KALABURGI, Narayan. ***Working of DHT sensor – DHT11 and DHT22.*** 2021. Disponível em: <https://nerdyelectronics.com/working-of-dht-sensor-dht11-and-dht22/>. Acesso em: 25 mar. 2023.

KOLBAN, Neil. ***Kolban's book on ESP32.*** [S.I.]: Leanpub, 2018.

LIMA, Matheus ; ALVES, Francisco ; JUCA, Sandro . Sistema IoT para Monitoramento de Temperatura e Umidade Ambientes e Acionamento Remoto de Cargas. In: ESCOLA REGIONAL DE INFORMÁTICA DO PIAUÍ (ERI-PI), 4. , 2018, Teresina. **Anais** [...]. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2018 . p. 232 - 237.

MEDEIROS, Flaviani Souto Bolzan; COLPO, Iliane; SCHNEIDER, Vanessa Andréia; CARVALHO, Patrícia Stefan de. INTERNET OF THINGS: uma investigação do conhecimento científico em artigos acadêmicos na última década. **Revista Eletrônica de Administração e Turismo**, [s. l.], v. 12, n. 7, p. 1652-1674, dez. 2018.

MISRA, Sudip; ROY, Chandana; MUKHERJEE, Anandarup. ***Introduction to Industrial Internet of Tings and Industry 4.0.*** [S.L.]: Crc Press, 2021. 398 p.

NUNES, Eduardo Elias; SOUZA, Rodrigo Alencar de; COSTA, Arlindo Messias Mendes da; AMARAL, Hiram Carlos Costa; REZENDE, Diogo Pena; MOURÃO, Andreza. Sistemas Embarcados: comunicação via esp32 com lora. **Brazilian Technology Symposium**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 1-5, out. 2022.

O POPULAR: Vigas do Viaduto Lauro Belchior, na BR-153, são içadas | O Popular - Veja mais em: <https://opopular.com.br/cidades/vigas-do-viaduto-lauro-belchior-na-br-153-s-o-icadas-1.2359710>. Goiânia, 23 out. 2021. Disponível

em: <https://opopular.com.br/cidades/vigas-do-viaduto-lauro-belchior-na-br-153-s-o-icadas-1.2359710>. Acesso em: 02 dez. 2023.

OLIVEIRA, Lucas R. de; CONCEIÇÃO, Arlindo F. da; S. NETO, Lauro P.. **Revisão sistemática da literatura sobre aplicações das tecnologias LoRa e LoRaWAN**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE SISTEMAS COMPUTACIONAIS (SBESC), 8., 2018, Salvador. Anais [...]. Porto Alegre: Sbesc, 2018. p. 1-8.

ORTIZ, Fernando M.; CRUZ, Pedro; COUTO, Rodrigo de S.; COSTA, Luís Henrique M. K.. Caracterização de uma Rede Sem-fio de Baixa Potência e Longo Alcance para Internet das Coisas. **Anais do Xxxvi Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos (Sbrc 2018)**, [S.L.], p. 1159-1172, 10 maio 2018. Sociedade Brasileira de Computação - SBC.
<http://dx.doi.org/10.5753/sbrc.2018.2485>.

PERDOMO-CAMPOS, Alejandro; VEGA-GONZÁLEZ, Ilioer; RAMÍREZ-BELTRÁN, Jorge. ESP32 Based Low-Power and Low-Cost Wireless Sensor Network. In: PROCEEDINGS OF 19TH LATIN AMERICAN CONTROL CONGRESS (LACC 2022), 19., 2023, Havana. **Proceedings [...]**. [S.L.]: Springer Cham, 2023. v. 464, p. 275-285.

PEREIRA, Mauricio; CRUVINEL, Paulo. Desenvolvimento de um sistema de coleta automática de dados agrícolas baseado em rede LoRa e no microprocessador ESP32. **Anais da X Escola Regional de Informática de Mato Grosso (Eri-Mt 2019)**, [S.L.], p. 43-48, 16 out. 2019. Sociedade Brasileira de Computação - SBC.
<http://dx.doi.org/10.5753/eri-mt.2019.8592>.

RAMBORGER, F. F. et al. Breve Tutorial em Programação de Microcontroladores ESP8266 com MicroPython. In: XXXIII Congresso de Iniciação Científica do Inatel (Incitel), Santa Rita do Sapucaí, Minas Gerais, Jun. 2021. **Anais...** Santa Rita do Sapucaí: Inatel, 2021. p. 1-8.

REDDY, G Karthick Kumar. *Traffic Signals Generation with Bicolor LEDS using PIC 18F Series Microcontroller*. **International Journal Of Embedded Systems And Applications**, [S.L.], v. 1, n. 2, p. 11-17, 31 dez. 2011. Academy and Industry Research Collaboration Center (AIRCC).

ROSA, Alan Franco; TEIXEIRA, David Vaz; ALVES JÚNIOR, Nilton. Sistema IoT multipropósito para monitoramento de laboratórios e experimentos. **Notas Técnicas**, [S.L.], v. 11, n. 2, p. 27-37, jan. 2022. Brazilian Center for Physical Research.
<http://dx.doi.org/10.7437/nt2236-7640/2021.02.004>.

SAVAUX, Vincent; DELACOURT, Christophe; SAVELLI, Patrick. **Considering Sync Word and Header Error Rates for Performance Assessment in LoRa System**. 2021 Wireless Telecommunications Symposium (Wts), [S.L.], p. 1-5, 21 abr. 2021. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/wts51064.2021.9433676>.

Semtech Corporation. ***LoRa® and LoRaWAN®: A Technical Overview.*** 2015.

Disponível em: https://lora-developers.semtech.com/uploads/documents/files/LoRa_and_LoRaWAN-A_Tech_Overview-Downloadable.pdf. Acesso em: 03 abr. 2023.

SILVA, Marcos Vinícius Rocha da; SOUZA, José Eduardo de; ALMEIDA, Thiago Vinney Oliveira; SOUZA, Álvaro Ricieri Castro e; SPANHOL, Fabio Alexandre; SILVA, Rogério Oliveira da; SILVA, Igor Rodrigues Sousa. Linguagem de Programação Python. **Revista Tecnologias em Projeção**, Brasília, v. 10, n. 1, p. 55-71, 19 ago. 2019.

SILVA, Nuno; MENDES, Jorge; SILVA, Renato; SANTOS, Filipe Neves dos; MESTRE, Pedro; SERÔDIO, Carlos; MORAIS, Raul. 19th EPIA Conference on Artificial Intelligence. In: LOW-COST IOT LORA SOLUTIONS FOR PRECISION AGRICULTURE MONITORING PRACTICES, 19., 2019, Vila Real. **Proceedings [...]** [S.L.]: Springer Cham, 2019. v. 1, p. 224-235

SONG, Yanxing; YU, F. Richard; ZHOU, Li; YANG, XI; HE, Zefang. Applications of the Internet of Things (IoT) in Smart Logistics: a comprehensive survey. **IEEE Internet Of Things Journal**, [S.L.], v. 8, n. 6, p. 4250-4274, 15 mar. 2021. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/jiot.2020.3034385>.

THETHINGSNETWORK. **RSSI and SNR.** 2023. Disponível em: <https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/rssi-and-snr/>. Acesso em: 11 out. 2023.

THOMAZINI, Daniel; ALBUQUERQUE, Pedro Urbano Braga de. **Sensores industriais:** fundamentos e aplicações. 9. ed. São Paulo: Érica, 2020. 248 p.

VACCA, John R.. ***Solving Urban Infrastructure Problems Using Smart City Technologies: handbook on planning, design, development, and regulation.*** [S.L.]: Elsevier, 2021.

ZANELLA, Andrea; BUI, Nicola; CASTELLANI, Angelo; VANGELISTA, Lorenzo; ZORZI, Michele. *Internet of Things for Smart Cities. IEEE Internet Of Things Journal*, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 22-32, fev. 2014. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/jiot.2014.2306328>.

ZYRIANOFF, Ivan; HEIDEKER, Alexandre; SILVA, Dener Ottolini; KLEINSCHMIDT, João Henrique; KAMIENSKI, Carlos Alberto. Impacto de LoRaWAN no Desempenho de Plataformas de IoT baseadas em Nuvem e Névoa Computacional. **Workshop em Clouds e Aplicações**, Porto Alegre, p. 43-46, 16 set. 2019. Sociedade Brasileira de Computação - SBC.

APÊNDICE A - Transmissor

```
#include <SPI.h>
#include <LoRa.h>

//Pinos de Transmissão do Lora
#define SCK 5
#define MISO 19
#define MOSI 27
#define SS 18
#define RST 14
#define DIO0 26

#define BAND 915E6

String packet;
//packet counter
int counter = 0, packSize = 0;

void setup() {
    //initialize Serial Monitor
    Serial.begin(115200);

    Serial.println("ESP32 Lora Inicializado");

    //SPI LoRa pins
    SPI.begin(SCK, MISO, MOSI, SS);
    //setup LoRa transceiver module
    LoRa.setPins(SS, RST, DIO0);

    if (!LoRa.begin(BAND)) {
        Serial.println("Inicializando LoRa Falhou");
        while (1);
    }
}
```

```

Serial.println("Inicializando LoRa OK!");
delay(1000);
}

void loop() {

    packet = (String)counter;
    packSize = packet.length();

    Serial.println("Enviando: " + (String)packSize + " bytes");
    Serial.println("Mensagem " + packet + " º");

    //Send LoRa packet to receiver
    LoRa.beginPacket();
    LoRa.print("Mensagem ");
    LoRa.print(packet);
    LoRa.endPacket();

    //Limitando o tamanho do contador
    if (counter >= 999) {counter=0;}
    else {counter++;}

    delay(10000);
}

```

APÊNDICE B - Receptor

```

#include <SPI.h>
#include <LoRa.h>

//Pinos de Transmissão do Lora
#define SCK 5 // GPIO5 SCK
#define MISO 19 // GPIO19 MISO
#define MOSI 27 // GPIO27 MOSI
#define SS 18 // GPIO18 CS
#define RST 14 // GPIO14 RESET
#define DIO0 26 // GPIO26 IRQ(Interrupt Request)

#define BAND 915E6

//Variaveis Globais
String packet,packSize,RSSII,snr;

void setup() {
    //initialize Monitor Serial
    Serial.begin(115200);

    Serial.println("ESP32 Lora Inicializado");
    Serial.println("Aguardando Pacote...");

    //SPI LoRa pins

```

```

SPI.begin(SCK, MISO, MOSI, SS);
//setup LoRa transceiver module
LoRa.setPins(SS, RST, DIO0);

if (!LoRa.begin(BAND)) {
    Serial.println("Inicializando LoRa Falhou");
    while (1);
}
Serial.println("Inicializando LoRa OK!");
delay(1000);

LoRa.receive(); // Habilita o rádio no modo de recepção contínua
}

void loop() {

int packetSize = LoRa.parsePacket();

if (packetSize) { //Checa se o pacote foi recebido LoRa

    packet = "";
    packSize = String(packetSize,DEC); //Armazenando o Tamanho do Pacote Em Decimal

    //Concatenando o Pacote Recebido na string
    for (int i = 0; i < packetSize; i++) {
        packet += (char) LoRa.read(); //Lendo e atribuindo o próximo byte do pacote.
        RSSII = String(LoRa.packetRssi(),DEC) ; //Atribuindo o RSSI medio do ultimo pacote recebido
        int ValorSNR = LoRa.packetSnr();
        snr = String(ValorSNR, DEC) ; //Atribuindo o SNR medio do ultimo pacote recebido
    }

    Serial.println("Recebendo " + packSize + " bytes" );
    Serial.println("RSSI=" + RSSII + "db" + " SNR=" + snr + "db");
    Serial.println("Pacote: " + packet + "º");
}
}

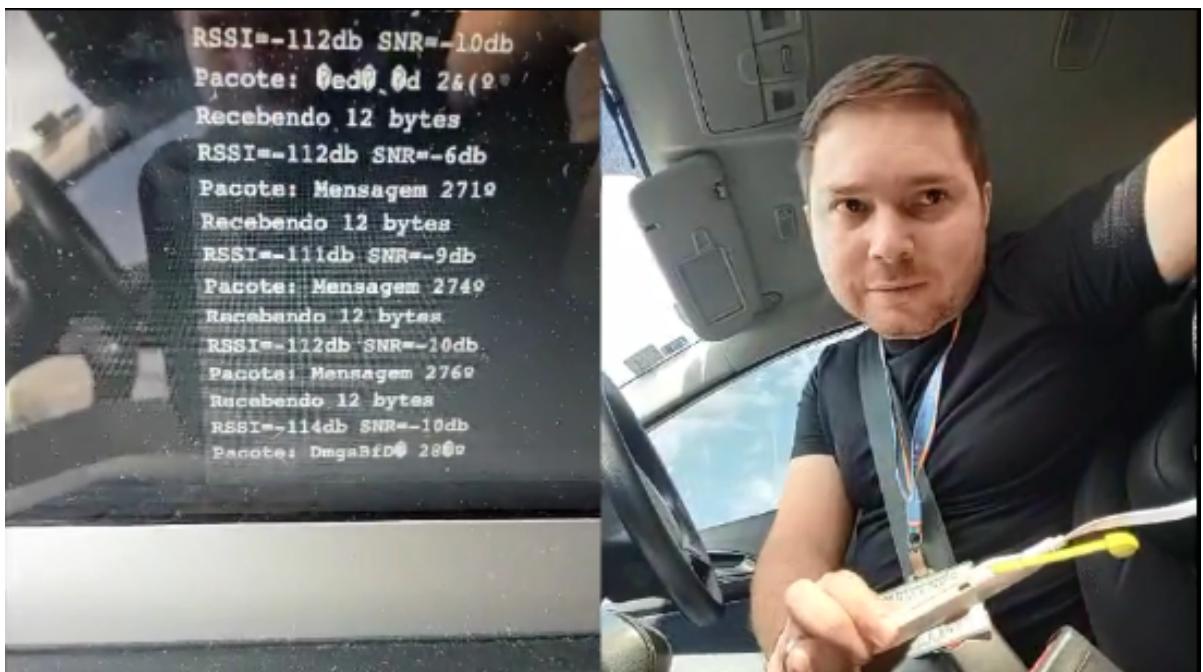
```

Figura 17 - Teste em Campo do Transmissor



Fonte: De autoria própria.

Figura 18 - Teste em Campo do Receptor



Fonte: De autoria própria.

Figura 19 - Chegada Centro Cultural Oscar Niemeyer



Fonte: De autoria própria



PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS
GABINETE DO REITOR

Av. Universitária, 1069 • Setor Universitário
Caixa Postal 86 • CEP 74605-010
Goiânia • Goiás • Brasil
Fone: (62) 3946.1000
www.pucgoias.edu.br • reitoria@pucgoias.edu.br

RESOLUÇÃO n° 038/2020 – CEPE

ANEXO I

APÊNDICE ao TCC

Termo de autorização de publicação de produção acadêmica

O(A) estudante WILLIAN PIRES LIMA do Curso de Engenharia de Computação, matrícula 2016.2.0033.01333, telefone: (62) 3574-1523 e-mail williampires38@gmail.com, na qualidade de titular dos direitos autorais, em consonância com a Lei nº 9.610/98 (Lei dos Direitos do Autor), autoriza a Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC Goiás) a disponibilizar o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado **EXPLORANDO AS VANTAGENS DA REDE LORA EM IoT: UM ESTUDO DE CASO COM MEDIDA DE DISTÂNCIA USANDO ESP32**, gratuitamente, sem ressarcimento dos direitos autorais, por 5 (cinco) anos, conforme permissões do documento, em meio eletrônico, na rede mundial de computadores, no formato especificado (Texto(PDF); Imagem (GIF ou JPEG); Som (WAVE, MPEG, AIFF, SND); Vídeo (MPEG, MWV, AVI, QT); outros, específicos da área; para fins de leitura e/ou impressão pela internet, a título de divulgação da produção científica gerada nos cursos de graduação da PUC Goiás.

Goiânia, 14 de dezembro de 2023.

Assinatura do autor: Willian Pires Lima

Nome completo do autor: WILLIAN PIRES LIMA

Assinatura do professor-orientador: Daniel Corrêa da Silva

Nome completo do professor-orientador: Daniel Corrêa da Silva