

Um estudo sobre: Internet das Coisas

Lucas Martins Dallabeneta¹, Victor Eduardo Requia², Vitor Melchiorretto³

¹Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC)
Joinville – SC – Brasil

Resumo. *Este artigo discute aspectos fundamentais da Internet das Coisas (IoT), destacando a evolução do termo, desafios na implementação, e a importância de selecionar protocolos e tecnologias adequadas para diferentes aplicações. Também explora redes IoT e os protocolos de comunicação, detalhando camadas específicas como a de aplicação e rede. Protocolos como MQTT, CoAP, e AMQP são analisados, ressaltando suas vantagens e desafios, particularmente em ambientes com recursos limitados. Na camada de rede, tecnologias como IPV6 e 6LoWPAN são discutidas por sua capacidade de endereçar eficientemente uma vasta quantidade de dispositivos IoT. O artigo aborda as redes em IoT, distinguindo entre Redes de Baixa Capacidade e com Perdas (LLNs) e Redes de Baixa Capacidade e Longo Alcance (LPWANs), como Sigfox, LoRaWAN e NB-IoT.*

1. INTERNET DAS COISAS

O termo Internet das Coisas foi criado por Kevin Ashton em 1999, em uma exposição sobre o uso de sistemas de Identificação por radiofrequência (do inglês Radio-frequency identification — RFID) no rastreamento de objetos de uma cadeia de produção. Para [Ashton 2009] a IoT, tem a finalidade de proporcionar inteligência para objetos físicos, permitindo o controle e notificação de alteração do estado dos mesmos. Na IoT, cada objeto físico inteligente é percebido como um nó da rede, podendo interagir com humanos ou entre os próprios objetos, denominada comunicação máquina para máquina (M2M) [Karagiannis et al. 2015].

Sistemas IoT tem atraído diversas empresas e projetos pelos custos e possibilidades de aplicações. Apesar dos atrativos, o desenvolvimento de sistemas IoT enfrentam desafios como a fragmentação do mercado com variedade de produtos, padrões, protocolos e tecnologias diferentes (BEMBE et al., 2019). Além disso, cada aplicação tem diferentes requisitos como, alcance de transmissão, variedade dos dados coletados pelos sensores e a escassez dos recursos dos dispositivos IoT como, memória, processamento e energia. Portanto, o primeiro aspecto que deve ser considerado no desenvolvimento de aplicações IoT é identificar corretamente os requisitos funcionais e não funcionais do sistema.

2. APLICAÇÕES EM IOT

A grande quantidade de dados de objetos inteligentes, obtidos através dos dispositivos IoT, tem sido muito utilizados para aumentar a eficiência e produtividade em diversas áreas como na agricultura, saúde, logística e cidades inteligentes.

Esses dados coletados permitem a tomada de decisões mais informadas e preditivas. Na agricultura, por exemplo, sensores IoT são utilizados para monitorar condições

do solo, clima e saúde das plantas, otimizando o uso de recursos como água e fertilizantes e aumentando a produção agrícola de maneira sustentável. Como exemplo de uma aplicação real nessa área, podemos citar um estudo intitulado 'Smart Farming Via IoT: A solution for monitoring Rice Productions', conduzido por Rovina Mariam Jose, Naveen Thomas Joseph e Binny S, do Departamento de Ciência da Computação da Digital University e do Kristu Jyoti College, Kerala, Índia, explorou a aplicação de dispositivos IoT para monitorar a produção de arroz. O artigo destaca a importância da tecnologia IoT na agricultura, fornecendo insights sobre a automação de processos e a melhoria da eficiência na produção agrícola. Os autores propõem um sistema de monitoramento e análise de nutrientes do solo baseado em IoT, utilizando sensores de temperatura, NPK e umidade, como uma solução para aumentar a produtividade agrícola. Essa pesquisa demonstra como a implementação de IoT pode beneficiar os agricultores, otimizando a produção e monitorando as condições do solo de forma eficaz [Jose et al.].

Em um estudo realizado na Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), foi destacada a importância da segurança durante as operações de carga e descarga de navios nos portos. Diante desse cenário, o uso do Sigfox aparece, integrando sensores de distância a um SiP, os quais são estrategicamente posicionados no cais para monitorar o distanciamento dos navios em relação ao berço de atracação. O uso do Sigfox possibilitou o processamento em tempo real das informações sobre a posição dos navios, permitindo o envio imediato de alertas às equipes de operação portuária por meio da rede [Dutra et al. 2022].

No trabalho de [Paredes Parra et al. 2019], propõe-se um sistema de monitoramento utilizando a tecnologia LoRaWAN para painéis fotovoltaicos. O objetivo do sistema é cobrir longas distâncias com o mínimo consumo de energia. Para obter os dados de temperatura do ambiente, o sensor utilizado foi o DHT22. Para monitorar a temperatura dos painéis solares, foi utilizado o sensor DS18S20. Este sensor foi escolhido por ser uma solução de baixo custo, fornecendo medições de temperatura em graus Celsius. Como microcontrolador, foi utilizado um Arduino Nano e como estação base, foi utilizado um Raspberry Pi. A comunicação LoRa operava na frequência de 868 MHz entre os dispositivos. O módulo transceptor usado foi o RFM95W e o HOPE RFM95W. O experimento foi realizado em um sistema de energia solar fotovoltaica (potência de 5 kW) conectada à rede elétrica e localizada em um campus universitário (sudeste da Espanha). A partir da análise dos dados, os autores afirmam que aspectos como, a distância entre a fonte e o destino e problemas de propagação têm uma clara influência no processo de recepção de dados. O gasto total com os componentes necessários para o projeto, foi de 39,26 euros.

Portanto, a integração de dados de objetos inteligentes pode ter impacto significativo na transformação digital de vários setores, promovendo não apenas crescimento econômico, mas também sustentabilidade e bem-estar. No entanto, é fundamental que essa integração seja feita de maneira correta, utilizando os equipamentos e recursos necessários para cada aplicação. A seguir, iremos discutir a respeito de alguns ambientes que envolvem as tecnologias em IoT.

3. PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO EM IOT

Os protocolos da Internet são classificados conforme a camada do modelo ISO/OSI (International Organization for Standardization, 1996) que atuam. Na literatura da área de redes, um modelo de arquitetura da Internet bastante citado é o de cinco camadas (KUROSE; ROSS; ZUCCHI, 2007): aplicação, transporte, rede, enlace e física. Os protocolos propostos para a Internet das Coisas, enquadram-se em alguma das camadas do modelo de cinco camadas de acordo com a funcionalidade do protocolo. Alguns autores têm apresentado arquiteturas específicas para IoT (AL-QASEEMI et al., 2016; KRICO; POKRIC; CARREZ, 2014; BRITO et al., 2017), porém, nenhuma das propostas se tornou padrão de fato. Isso porque, propor protocolos que se orientam pela arquitetura bem consolidada da Internet facilita a interoperabilidade entre os dispositivos e tecnologias de comunicação. Na Figura 1 são apresentados alguns protocolos de IoT como, COAP, UDP, IPV6 e LoRa, classificados de acordo com a camada TCP/IP em que são inseridos

Figura 1. Pilha TCP/IP e pilha de protocolos IoT..

TCP/IP	PROTOCOLOS IOT			
APLICAÇÃO	COAP	MQTT	AMQP	HTTP
TRANSPORTE	UDP	TCP		
REDE	IPV6	6LOWPAN		
ENLACE	IEEE 802.15.4 MAC	LORA MAC		
FÍSICA	IEEE 802.15.4	IEEE 802.11	LORA	ZIGBEE

Autores.

Na camada de aplicação, serão discutidos os protocolos Constrained Application Protocol (CoAP), Message Queue Telemetry Transport (MQTT), Advanced Message Queuing Protocol (AMQP) e Hypertext Transfer Protocol (HTTP), sendo os protocolos mais utilizados atualmente em IoT. Na camada de rede, serão discutidos os protocolos Internet Protocol (versão 6) e 6LoWPan. Na camada de enlace, serão apresentadas as tecnologias IEEE 802.15.4, IEEE 802.11, LoRa PHY e Bluetooth BLE. As tecnologias de comunicação para IoT podem ser classificadas como de curto alcance e de longo alcance de transmissão. As redes de curto alcance são denominadas Redes de baixa capacidade e com perdas (do inglês Low Power and Lossy Networks — LLNs), e as redes de longo alcance são denominadas Redes de baixa capacidade e Longo Alcance (do inglês Low Power and Wide Area Networks — LPWANs). A escolha de qual tipo de tecnologia de comunicação utilizar em aplicações IoT depende do cenário onde a aplicação será empregada. Neste trabalho, tecnologias do tipo LPWAN, especificamente, a LoRaWAN será utilizada na transmissão de dados por longo alcance, assim como o padrão IEEE 802.11 para a transmissão de curto alcance na rede local.

4. PROTOCOLOS NA CAMADA DE APLICAÇÃO

No trabalho de [Donta et al. 2022], apresenta-se uma revisão de literatura com comparações de protocolos de camada de aplicação para IoT. Segundo o autor, o grupo Constrained RESTful Environments (CoRE) sob a Internet Engineering Task Force (IETF) e a União Internacional de Telecomunicações, trabalham no desenvolvimento de protocolos de camada de aplicação no contexto de IoT. Esses protocolos são principalmente categorizados em cliente-servidor e publicação/assinatura.

Apesar de ser amplamente utilizado na Internet, o protocolo HTTP não é o mais recomendado para aplicações IoT por usar padrões da Internet existente, sem considerar os dispositivos restritos. Além das questões de escalabilidade e consumo de energia, o protocolo não foi projetado para ambientes de redes instáveis, comuns em cenários de IoT.

O protocolo MQTT proposto pela IBM teve a primeira aplicação destinada ao monitoramento de oleodutos, cujo objetivo era desenvolver um protocolo leve com economia de banda e baixo consumo de energia e processamento. O protocolo MQTT foi projetado para a troca eficiente de dados em tempo real entre sensores e dispositivos móveis. Tem como princípio minimizar a largura de banda da rede e os requisitos de recursos do dispositivo, garantindo uma entrega confiável. Pode transmitir dados em redes de baixa largura de banda ou não confiáveis com um consumo de energia muito baixo. Também opera sobre o TCP, porém foram desenvolvidos funcionalidades na camada de aplicação do protocolo para minimizar os efeitos do TCP. Com relação a esse aspecto, adicionou-se ao MQTT o oferecimento de três tipos de qualidade de serviço (do inglês Quality of Service — QoS) para a entrega das mensagens:

- QoS 0 - No máximo uma vez (At most once): Este é o nível mais básico de QoS. A mensagem é entregue no máximo uma vez, e a entrega não é confirmada. É o modo mais rápido, pois não há necessidade de confirmação ou armazenamento da mensagem.
- QoS 1 - Pelo menos uma vez (At least once): O MQTT garante que a será entregue ao receptor pelo menos uma vez. Se o publicador não receber uma confirmação de entrega, ele tentará enviar a mensagem novamente.
- QoS 2 - Exatamente uma vez (Exactly once): Este é o nível mais alto de QoS e garante que a mensagem seja entregue exatamente uma vez ao receptor. Implementa um mecanismo de estabelecimento da conexão de quatro etapas para garantir que mensagens perdidas sejam retransmitidas.

No MQTT, os dispositivos que desejam enviar informações são conhecidos como publicadores. Eles enviam suas mensagens para um servidor central chamado broker. Estas mensagens são categorizadas por tópicos. Por outro lado, os dispositivos que desejam receber informações são chamados de assinantes. Eles informam ao broker os tópicos de seu interesse e, assim, assinam esses tópicos. A comunicação no MQTT é assíncrona, o que significa que os publicadores e assinantes não precisam operar no mesmo ciclo de tempo. Isso permite uma grande flexibilidade, pois os dispositivos podem enviar e receber mensagens quando estiverem disponíveis, sem a necessidade de uma comunicação síncrona contínua. Esse desacoplamento temporal e espacial entre os clientes é uma das principais características do MQTT, que motivaram o seu uso em aplicações IoT, na qual os dispositivos podem não estar sempre conectados ou disponíveis.

Outro protocolo de camada de aplicação com destaque em IoT é o Protocolo de Aplicação Restrita (CoAP). O CoAP é um protocolo projetado especificamente para dispositivos com recursos limitados, como os encontrados em cenários IoT e comunicações Máquina-a-Máquina (M2M). É um protocolo inspirado no HTTP, mas é otimizado para uso em dispositivos e redes restritas. As principais características do CoAP incluem:

- Baseado em UDP: Ao contrário do HTTP e MQTT, que utilizam TCP, o CoAP opera sobre o protocolo de camada de transporte User Datagram Protocol (UDP). Isso torna o CoAP mais leve e adequado para dispositivos com capacidades limitadas e redes com largura de banda restrita.

- Interação: O CoAP adota o modelo cliente-servidor semelhante ao HTTP, utilizando comandos como GET, POST, PUT e DELETE. Suporta interações tanto síncronas quanto assíncronas.

- Compatibilidade: O CoAP é projetado para ser interoperável com o HTTP, permitindo que os clientes CoAP acessem recursos em servidores HTTP por meio de um proxy reverso.

O Advanced Message Queuing Protocol (AMQP) também é utilizado no desenvolvimento de aplicações IoT por ser um padrão aberto para mensagens que surgiu da indústria financeira, permitindo a comunicação entre aplicativos por meio de um middleware orientado a mensagens. Desenvolvido para operar sobre o protocolo de transporte TCP, com 8 bytes de cabeçalho, o AMQP é amplamente reconhecido por sua capacidade de fornecer comunicação assíncrona de publicação e assinatura de mensagens. Assim como o MQTT, o AMQP oferece suporte aos três níveis de QoS. O AMQP é mais flexível e rico em recursos que o MQTT ou o CoAP. No entanto, devido à sua complexidade pode ser inadequado para alguns sistemas IoT restritos. O AMQP é mais adequado para aplicações que necessitam de fluxo contínuo de dados com baixa latência.

5. PROTOCOLOS NA CAMADA DE REDE

A camada de rede desempenha importante papel na IoT, pois é responsável por rotear pacotes de dados entre dispositivos na Internet e endereçar unicamente cada dispositivo. Identificar objetos de forma única é uma questão crítica para o funcionamento e sucesso das aplicações de IoT que requerem a classificação de milhares de dispositivos para gestão e controle deles remotamente através da Internet (FARHAN et al., 2018). Os principais protocolos de camada de rede, sendo objetos de estudo deste trabalho são: o Protocolo da Internet Versão 6 (IPv6) e o IPv6 over Low power Wireless Personal Area Networks (6LoWPAN).

O Protocolo de Internet versão 6 (IPv6) utiliza endereço de 128 bits, aumentando significativamente o número de endereços disponíveis, tornando-o adequado para a vasta gama de dispositivos em IoT. O protocolo IPv6 foi desenvolvido com diversos recursos em relação ao IPv4 como, segurança, reconfiguração de rede e roteamento. Com isso, o IPv6 possibilita o envio de pacotes de 1280 bytes. O tamanho do pacote IPv6 é um limitador da aplicação direta do IPv6 em aplicações IoT, por exemplo, tecnologias de camada de enlace como o IEEE 802.15.4 que é muito utilizada em hardware restrito como os microcontroladores, permite o envio de pacotes com tamanho máximo de 127 bytes e cabeçalho de 40 bytes. Diante disso, a Internet Engineering Task Force (IETF) criou os

grupos de trabalho, 6LoWPAN e RoLL para especificar padrões em várias camadas da pilha de protocolo, visando conectar redes de baixa potência e com alta taxa de perda à Internet [Ko et al. 2011].

O protocolo 6LoWPAN, é adaptação do IPv6 para redes de baixa capacidade e com perdas da IoT. Atua principalmente entre a camada de rede e enlace. O 6LoWPAN foi proposto com foco na tecnologia 802.15.4 e inclui mecanismos para otimizar a comunicação, como compressão de cabeçalho, fragmentação e encaminhamento mesh na camada de enlace, tornando-o ideal para ambientes de IoT com restrições de largura de banda, energia, processamento e memória [Kim et al. 2022]. O mecanismo de compressão de cabeçalho, pode reduzir o cabeçalho IPv6 a apenas 2 bytes para comunicações internas, utilizando endereços link-local. Para comunicações destinadas a dispositivos fora da rede 6LoWPAN, quando o prefixo da rede externa é conhecido, o cabeçalho IPv6 pode ser compactado para 12 bytes. Caso o prefixo da rede externa não seja conhecido, a compressão pode resultar em um cabeçalho de 20 bytes [Olsson 2014] O 6LoWPAN pode atingir no máximo 250 Kbps de taxa de transmissão.

No desenvolvimento de sistemas para IoT, a escolha da tecnologia de comunicação é um aspecto fundamental para o funcionamento adequado da aplicação. Deve-se observar o alcance da transmissão desde os sensores até um gateway com acesso à Internet. As tecnologias de transmissão em IoT são divididas em redes de longo alcance e redes de curto alcance.

6. REDES EM IOT

As Redes de Baixa Capacidade e com Perdas (do inglês *Low-power and Lossy Networks* - LLNs) são tecnologias sem fio propostas para dispositivos com restrições de consumo energético e capacidade de processamento. Essas redes são adequadas para aplicações que podem tolerar conexões instáveis e perda de pacotes de dados. Geralmente, são usadas em cenários que exigem uma transmissão de curto alcance, na ordem de metros. Em relação à topologia de rede, as LLNs em sua maioria possibilitam a topologia *mesh*, estendendo o alcance de transmissão, pois os dispositivos de rede encaminham os pacotes entre eles salto-a-salto até alcançar um nó de maior capacidade ou comutador com acesso à Internet, por exemplo, a tecnologia IEEE 802.15.4 e o Bluetooth *mesh*.

As LLNs são normalmente implantadas na indústria, no monitoramento de ativos industriais, nas casas inteligentes, entre outras.

Uma das grandes vantagens dessas redes é o baixo consumo de energia. Os dispositivos que operam em redes LLN são geralmente projetados para funcionar em modos de economia de energia, prolongando assim a vida útil da bateria e minimizando a necessidade de manutenção.

Diversas tecnologias se enquadram nesta categoria, incluindo IEEE 802.15.4, *Bluetooth Low Energy* (BLE), Wi-Fi HaLow, WirelessHART, ZigBee e Z-Wave. Cada uma dessas tecnologias tem suas próprias características e vantagens, mas todas possuem objetivo de fornecer conectividade eficiente em termos de energia para dispositivos com recursos limitados. A seguir, as tecnologias são melhor descritas quanto as suas características.

- **Bluetooth Low Energy (BLE):** É uma tecnologia de rede sem fio projetada para

comunicações de curto alcance entre dispositivos. É amplamente utilizado em dispositivos vestíveis, rastreadores de saúde e dispositivos domésticos inteligentes. Possui alcance de no máximo 100 metros, porém pode sofrer interferências que tornam o alcance muito menor. Normalmente, o alcance é de 15 até 25 metros.

- **ZigBee:** É um padrão de comunicação sem fio de alta confiabilidade, baixo consumo de energia e latência mínima. Opera na faixa de frequência ISM, comumente em 2,4 GHz, mas também disponível em 868 MHz e 915 MHz. Utiliza o padrão IEEE 802.15.4 para camadas físicas e de enlace, proporcionando baixo consumo de energia e longa duração da bateria dos dispositivos conectados. Caso opere na frequência de 2,4 GHz, a transmissão máxima de dados é de 250 Kbps, 40 Kbps em 915 MHz e 20 kbps em 868 MHz. Possui suporte para topologia *mesh*.

As Redes de Baixa Capacidade e Longo Alcance (do inglês *Low Power and Wide Area Networks* - LPWANs), foram desenvolvidas como alternativa para aplicações que necessitam de comunicação em longa distância, baixo consumo energético e baixo custo de implementação. Em IoT, é adequada para aplicações que necessitam transmitir pequenas mensagens. Como exemplo de LPWANs, citam-se: Sigfox, LoRaWAN e NB-IoT.

Para as tecnologias que utilizam de faixas não licenciadas como Sigfox e LoRaWAN, as frequências são dispostas de forma diferente para cada região. Na Europa, a faixa disponível é de 868 MHz, 915 MHz na América do Norte e 433 MHz na Ásia. O Brasil, utiliza a frequência de 915 MHz.

- **Sigfox** é uma companhia, fundada em 2010, dedicada a comunicação de dispositivos IoT com baixo consumo energético, longa distância e pequena quantidade de dados transmitidos por dia. A empresa adotou o mesmo nome para a sua tecnologia de rede LPWAN. Essa tecnologia pode cobrir uma área de até 50 quilômetros (km) em áreas rurais e de até 10 km em áreas urbanas. Uma das limitações é que, devido ao uso de faixas não licenciadas, os dispositivos normalmente têm permissão de transmitir os dados 1% do tempo total disponível. Ou seja, em uma hora um dispositivo na rede Sigfox consegue transmitir seus dados durante no máximo 36 segundos. Utiliza frequência não licenciada, abaixo de 1 GHz na faixa ISM (Industrial, Scientific and Medical) para transmissão dos dados. Um dos desafios enfrentados por dispositivos que utilizam radiofrequência para comunicação, como Sigfox, é lidar com interferências e colisões durante a transmissão de dados. Como existe o limite de 4 mensagens recebidas pelos dispositivos, não é viável oferecer suporte de confirmação de recebimento para cada mensagem através de confirmações.

- **LoRaWAN** é uma tecnologia LPWAN que oferece conectividade de longo alcance e baixo consumo de energia. Suas especificações são desenvolvidas e mantidas pela LoRa Alliance, uma associação aberta composta por membros colaboradores. O que permite o envio de dados a longa distância em redes LoRaWAN, é a tecnologia LoRa (*Long Range*), que atua na camada física, modularizando os sinais na frequência de rede ISM abaixo de 1 GHz. O alcance de transmissão pode atingir 5 km em áreas urbanas e 20 km em áreas rurais. A taxa de dados do LoRa varia entre 300 bps e 50 kbps, dependendo do fator de espalhamento e da largura de banda do canal. Com o LoRaWAN, utilizando uma rede privada, é possível enviar uma quantidade ilimitada de mensagens, tanto do dispositivo para a rede quanto da rede para o dispositivo. Cada mensagem pode conter até 243

bytes de dados.

Além das especificações de classes, as redes LoRaWAN oferecem diferentes tipos de provedores e administração de rede:

- Rede pública centralizada: esse tipo de rede é gerenciado por uma única empresa. Pode abranger grandes áreas geográficas e fornecer conectividade como serviço. Normalmente, o número de dispositivos, mensagens ou o total de bytes transferidos são restritos e dependem do plano de pagamento.
- Rede pública descentralizada: a rede é construída por seus próprios usuários que disponibilizam seus dispositivos para acesso público, não há uma autoridade que governe essa rede. Pode abranger grandes áreas geográficas, dependendo dos usuários conectados. Essa rede contém uma política de acesso justo que restringe o uso a uma certa quantidade de mensagens por dia.
- Rede privada: essa rede é gerenciada pelo administrador ou entidade específica, podendo ser feito o controle total sobre a configuração da rede, os dispositivos conectados e a gestão de dados. Como a rede é privada, não há limitação quanto ao número de dispositivos ou ao número de mensagens enviadas, ou recebidas por dia.

• **NB-IoT** é uma tecnologia LPWAN desenvolvida por Third Generation Partnership (3GPP). Surgiu como alternativa no contexto das redes celulares para IoT, pois essas redes podem prover uma ampla cobertura, porém consomem muita energia dos dispositivos. Além disso, as redes celulares foram originalmente projetadas para comunicação de humano para humano (H2H). NB-IoT tem como principais objetivos fornecer comunicação IoT fim-a-fim de longa distância, baixo consumo energético, baixa capacidade de processamento dos dispositivos e melhorar a eficiência nos canais de frequência, utilizando a tecnologia de rede celular.

Diferentemente das tecnologias Sigfox e LoRaWAN que utilizam frequências ISM não licenciadas, NB-IoT utiliza faixas licenciadas, podendo coexistir com *Global System for Mobile Communication* (GSM) e *Long-Term Evolution* (LTE). NB-IoT ocupa uma largura de banda de frequência de 200 kHz, correspondendo a um bloco de recursos na transmissão GSM e LTE. O tamanho máximo de *payload* é de 1600 bytes para cada mensagem com uma largura de banda de 200 kbps para envio de dados e 20 kbps para receber dados. O protocolo de comunicação utilizado pelo NB-IoT é baseado no protocolo LTE. Algumas alterações e aprimoramento de funcionalidade são feitas no protocolo original para existir o mínimo de requisitos necessários para aplicações IoT

7. CONCLUSÃO

Este trabalho buscou apresentar uma base teórica para o início dos estudos em IoT. Foi apresentado a origem do termo, seguindo para o uso da tecnologia atualmente em diversos cenários para que fosse possível, apresentar protocolos, tecnologias e diferenças entre os mais variados ambiente de desenvolvimento. Também é foi de relevância do trabalho, buscar especificações de cada tecnologias para que possa ser possível ao leitor, ter uma base das complexidades que podem afetar a IoT e suas aplicações.

Referências

Ashton, K. (2009). That 'internet of things' thing. *RFID Journal*, 22.

- Donta, P. K. et al. (2022). Survey on recent advances in iot application layer protocols and machine learning scope for research directions. *Digital Communications and Networks*, 8(5):727–744.
- Dutra, G., Sampaio, D., Guedes, P., Cavalcanti, T., and Teixeira, J. M. (2022). Monitoramento dos navios em terminais marítimos utilizando imcp-ht32sx e rede sigfox. In *Congresso Brasileiro de Automática-CBA*, volume 3.
- Jose, R. M., Joseph, N. T., and Binny, S. Smart farming via iot: A solution for monitoring rice productions.
- Karagiannis, V. et al. (2015). A survey on application layer protocols for the internet of things. *Transaction on IoT and Cloud computing*, 3(1):11–17.
- Kim, C.-M., Lim, S.-K., Jeong, J.-D., Choi, Y., and Koh, S.-J. (2022). 6lowpan over optical wireless communications for ipv6 transport in internet of things networks. *IEEE Wireless Communications Letters*, 11(6):1142–1145.
- Ko, J., Terzis, A., Dawson-Haggerty, S., Culler, D. E., Hui, J. W., and Levis, P. (2011). Connecting low-power and lossy networks to the internet. *IEEE Communications Magazine*, 49(4):96–101.
- Olsson, J. (2014). 6lowpan demystified. *Texas Instruments*, 13:1–13.
- Paredes Parra, J. M., García-Sánchez, A. J., Mateo-Aroca, A., and Molina-García, (2019). An alternative internet-of-things solution based on lora for pv power plants: Data monitoring and management. *Energies*, 12(5).