

# AgTech4All: estação multiparamétrica *open hardware e open source*

Ana Beatriz Sousa de Oliveira<sup>1</sup>, Maurício de Arruda Rodrigues<sup>1</sup>, Robson Costa<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC) - Câmpus Lages  
R. Heitor Villa Lobos, 225 - São Francisco, Lages - SC, 88506-400

ana.bo22@aluno.ifsc.edu.br, mauricio.a20@aluno.ifsc.edu.br

robson.costa@ifsc.edu.br

**Abstract.** *This work aims to develop a low-cost, easily installable multiparametric station for small-scale farmers. The proposed station is based on Open Hardware and Open Source technologies, enabling simplified access to affordable agro-hydrometeorological monitoring tools, overcoming the financial and technical challenges often faced by these producers. The project encompasses the design and implementation of a prototype capable of collecting and processing data. The results demonstrate the feasibility of the proposed model, highlighting cost reductions and expanded access to monitoring technologies for the small-scale agricultural sector. It is concluded that the proposed solution can significantly contribute to improving natural resource management on small farms, fostering more targeted and efficient development.*

**Resumo.** *Este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de uma estação multiparamétrica de baixo custo e fácil instalação para pequenos produtores rurais. A estação utiliza tecnologias Open Hardware e Open Source, permitindo o acesso facilitado a ferramentas de monitoramento agro-hidrometeorológicas acessíveis, superando as barreiras financeiras e técnicas frequentemente enfrentadas por esses produtores. O projeto aborda a concepção e implementação de um protótipo que realiza a coleta e o processamento de dados. Os resultados demonstram a viabilidade do modelo proposto, evidenciando a redução de custos e a ampliação do acesso a tecnologias de monitoramento para o setor agrícola de pequena escala. Conclui-se que a solução apresentada pode contribuir significativamente para a melhoria da gestão dos recursos naturais nas pequenas propriedades, promovendo um desenvolvimento mais objetivo e eficiente.*

## 1. Introdução

Desde o início do século XXI, a Internet teve um impacto significativo na conectividade global, culminando na revolução da Internet das Coisas (IoT - *Internet of Things*), que interliga o mundo físico ao digital. Nesse cenário interligado, o mundo físico se comunica com o digital por meio de sensores que capturam os dados do ambiente e atuadores que realizam ações no mundo real com base nesses dados (Ananna e Saifuzzaman, 2024). As aplicações de IoT são visíveis em diversos contextos, como em residências, com sistemas de monitoramento do ambiente e aquecimento de água, na área de logística, com o rastreamento e o mapeamento no acompanhamento de cargas, e também na indústria, com

o uso de sensores e válvulas inteligentes que garantem a segurança de plantas industriais (Stevan Jr, 2018).

No que tange à agricultura, as soluções de IoT são extensas, como a irrigação inteligente, monitoramento do solo, gestão de nutrientes e análise de dados climáticos. Tudo isso vai ao encontro da agricultura inteligente, conceito que busca unir a gestão agrícola a tecnologias, de modo a melhorar o rendimento, a eficiência e a lucratividade no campo (Pathmudi et al., 2023). A gestão rural pode ser dividida em três segmentos: antes da porteira (produção e fornecimento de equipamentos ao produtor), dentro da porteira (atividades produtivas da lavoura e/ou rebanho) e depois da porteira (comercialização e entrega da produção) (Araújo, 2007).

A produção agrícola é a atividade econômica mais dependente das condições climáticas, pois o clima afeta a relação das plantas com a ocorrência de pragas e doenças. Muitas práticas inerentes a um processo produtivo eficiente, como o preparo do solo e a adubação, dependem de condições específicas do tempo para serem efetivas naquilo que se propõem (Monteiro, 2009). Além disso, a observação dos parâmetros hidrometeorológicos é crucial para a gestão de riscos associados a enchentes e alagamentos, eventos que não só impactam a segurança das populações locais, mas também podem causar perdas significativas na agricultura e, conseqüentemente, na economia. Nesse sentido, o monitoramento das condições climáticas em uma microrregião é impreterível para um melhor aproveitamento da produção e segurança da região.

As estações multiparamétricas tentam suprir essa necessidade, destacando-se pela sua adaptabilidade e multifuncionalidade. Equipadas com diversos sensores, estas estações podem ser reconfiguradas remotamente para monitorar uma ampla gama de parâmetros ambientais e agrônômicos, como temperatura, umidade e nível de rios. Sua flexibilidade permite aplicações variadas em campos como estudos ambientais, agricultura, silvicultura e até em ambientes urbanos. Além de reduzir custos com equipamentos, a capacidade de adaptação dessas estações melhora a precisão e relevância dos dados coletados, apoiando decisões baseadas em evidências no manejo de recursos naturais e na resposta a eventos climáticos adversos.

Para realizar o acompanhamento dessas condições climáticas, as estações multiparamétricas, que incluem parâmetros agro-hidrometeorológicos, desempenham um papel crucial. Define-se como estação meteorológica o local equipado com sensores que monitoram continuamente diversos parâmetros climáticos de uma macrorregião. Esses dados são periodicamente registrados e analisados. Diferentemente, as estações multiparamétricas têm por objetivo fornecer informações sobre o impacto do tempo e clima em culturas agrícolas e cursos de água, focadas na microrregião em que estão inseridas. A partir disso, é possível monitorar condições ambientais que exercem influência decisiva no desenvolvimento vegetal, como temperatura, no ar e solo, radiação solar e precipitação pluviométrica, ou seja, água disponível no solo, além do nível de rios e lagos (Braga et al., 2015). É preciso ainda observar o microclima de uma pequena área cujas condições atmosféricas diferem do macroclima da região, devido à existência de barreiras geomorfológicas ou elementos, como rios e matas.

A tecnologia é uma grande facilitadora nesse processo, entretanto, o alto custo de implantação dos sistemas figura como uma grande limitação para médios e pequenos

produtores, sobretudo na agricultura familiar. Dessa forma, o grande desafio é tornar estas ferramentas acessíveis a esse público, superando a dificuldade de conexão em áreas remotas e o alto investimento em equipamentos e sensores. Visando auxiliar neste problema, este trabalho propõe o desenvolvimento de uma estação multiparamétrica agro-hidrometeorológica de baixo custo e de simples instalação para coleta e processamento de dados em pequenas propriedades. Nesse sentido, foram traçados os seguintes objetivos específicos:

- Realizar o levantamento de requisitos funcionais e não funcionais;
- Projetar uma *Printed Circuit Board* (PCB) utilizando elementos de *hardware* que melhor se adéquem aos requisitos do projeto;
- Desenvolver o *firmware* a ser utilizado no dispositivo;
- Executar testes operacionais em um ambiente real com uma unidade piloto;

A metodologia utilizada neste trabalho faz uso de uma pesquisa aplicada, do ponto de vista da natureza. Acerca da forma de abordagem, adota-se uma perspectiva mista, combinando métodos quantitativos e qualitativos. Na perspectiva dos objetivos, é um estudo transversal e descritivo dividido em 3 (três) etapas (Fortin et al., 2009). Na primeira etapa, realiza-se um estudo dos requisitos técnicos e tecnologias envolvidas no desenvolvimento da solução proposta. A segunda etapa consiste no desenvolvimento de *hardware* e *firmware* do dispositivo em questão. Por fim, a terceira e última etapa consiste na definição e realização de um conjunto de testes aplicados em um ambiente de teste real para a análise, comparação e compreensão dos resultados obtidos.

Este documento está organizado da seguinte forma: na seção 2 é apresentado o referencial teórico utilizado como base para o desenvolvimento deste trabalho; na seção 3 é descrita e detalhada a solução proposta; na seção 4 são apresentados os testes realizados, bem como discutidos os seus respectivos resultados; por fim, na seção 5, é retratada a conclusão final assim como direcionamentos para trabalhos futuros.

## **2. Referencial Teórico**

Esta seção é dedicada à apresentação e entendimento de tecnologias utilizadas para o desenvolvimento de soluções IoT e seu uso em telemetria climática.

### **2.1. Internet of Things (IoT)**

A Internet das Coisas (IoT) tem-se mostrado um dos paradigmas tecnológicos mais revolucionários e em rápida evolução, transformando significativamente diversos setores da sociedade. IoT refere-se a um sistema de objetos físicos interconectados ou “coisas” incorporadas com sensores, software, eletrônicos e conectividade que permitem a troca de dados entre dispositivos pela Internet, conectando o mundo físico ao virtual de maneira autônoma e segura. Por exemplo, aplicações como o monitoramento e o controle de temperatura, umidade e intensidade de luz são simplificadas com os conceitos de IoT e são exploradas em diversas direções para facilitar a vida das pessoas (Murray et al., 2016).

Ao longo da última década, observou-se um aumento substancial na adoção da IoT em áreas como casas inteligentes, saúde, transporte e produção industrial. Relatórios recentes do Statista<sup>1</sup> preveem que haverá mais de 30 bilhões de dispositivos IoT conectados

---

<sup>1</sup>Plataforma alemã especializada em coleta e visualização de dados.

em todo o mundo até 2030, contra 9,7 bilhões em 2020 (Statista, 2023). Esse crescimento não apenas expande as possibilidades de conectividade entre dispositivos de diferentes capacidades e finalidades, mas também promove a transformação de cadeias de suprimento, modelos de negócios e infraestruturas urbanas.

Neste contexto, a ampla variedade de aparelhos conectados, incluindo *smartphones*, *tablets* e computadores pessoais, possibilita a detecção de variáveis físicas, pessoas e objetos, a realização de cálculos, tomadas de decisão inteligentes e a transmissão de informações pela Internet. Este cenário potencializa a criação de serviços e aplicativos inovadores que oferecem benefícios significativos em âmbitos pessoal, profissional e econômico.

## 2.2. Agricultura 5.0

A agricultura desempenha um papel crucial na sustentação da vida humana, incluindo atividades como cultivo do solo, plantio e criação de gado. A maneira como as práticas agrícolas são realizadas evoluiu ao longo do tempo, incorporando avanços científicos. As tecnologias de sensoriamento remoto desempenham um papel importante na agricultura atual, juntamente com outras tecnologias, como Internet das Coisas (IoT), sistemas robóticos, tecnologia de previsão do tempo e sistemas de posicionamento global (GPS) aumentam a sustentabilidade e a produtividade no campo (Reddy et al., 2024).

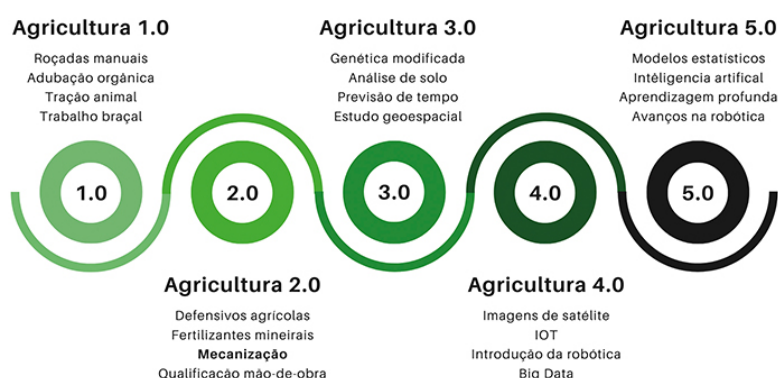
Até o início do século XX, anteriormente à Segunda Guerra Mundial, a agricultura brasileira se apresentava na sua fase 1.0, com métodos tradicionais e práticas rudimentares. A agricultura 1.0 era baseada na força de trabalho manual fornecida pelas famílias de agricultores, e contava com o uso de instrumentos manuais e tração animal para auxiliar no trabalho pesado.

A fase subsequente ao início da agricultura se caracterizou pela agricultura 2.0, marcada pela Revolução Verde, em que se intensificou o uso tecnológico, com máquinas, fertilizantes e variedades melhoradas. Introduziram-se boas práticas de gestão agrônômica e novos insumos, como agrotóxicos e fertilizantes químicos. Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), por volta de 1950 e 1960, menos de 2% das propriedades rurais contavam com máquinas agrícolas. A população do campo sofria com escassez de tecnologia e de informação (Embrapa, 2018).

Com o passar dos anos, as tecnologias evoluíram significativamente, com máquinas e implementos para aumentar a produtividade das atividades do campo, dando início a Agricultura de Precisão junto a agricultura 3.0. Nesta fase, há o desenvolvimento do sistema *Global Positioning System* (GPS), que é utilizado até hoje pelos produtores para o gerenciamento do plantio, bem como a Agricultura de Precisão, que é um conjunto de técnicas que permitem fazer o manejo localizado nos cultivos, prevendo a otimização dos insumos da produção, utilizando técnicas que buscam o melhor rendimento da cultura, analisando a localização, fertilidade do solo, entre outros fatores.

Paralelamente a essas novas demandas da agricultura, surge a transformação digital, levando a uma nova revolução tecnológica, a agricultura 4.0. Essa fase desperta crescente interesse político, econômico e ambiental, pois utiliza técnicas como edição genômica de safras, monitoramento por satélite de variáveis meteorológicas, *softwares* de gestão agrícola, sensores de controle de pesticidas e irrigação, mapeamento digitalizado de índices de fertilidade, umidade, temperatura e condições físico-geo-químicas do solo.

Dada toda a evolução histórica da agricultura e o uso de inteligência artificial e de robôs agrícolas autônomos, encara-se a continuação da fase 4.0 e se inicia a agricultura 5.0 (Figura 1). Ela tem por objetivo utilizar tecnologias de ponta para aumentar a eficiência, a produtividade e a sustentabilidade do setor agrícola. Essa nova fase busca não apenas a automação e digitalização dos processos agrícolas, mas também a integração maior entre a agricultura e outras áreas, como a indústria, a tecnologia da informação e a biologia (Massruhá et al., 2020).



**Figura 1. Evolução da agricultura (Cultivar, 2020).**

A agricultura 5.0 visa otimizar todos os processos do campo, realizando análises mais detalhadas dos dados, buscando otimizar as áreas da lavoura, reduzir os custos com o uso de fertilizantes, melhorar a qualidade do produto cultivado, reduzir desperdícios causados pela má administração das culturas, fornecer informações e resultados corretos sobre a infestação de pragas ou plantas daninhas, otimizar o trabalho dos colaboradores, minimizar os impactos ambientais e possibilitar maior conexão entre produtor, administrador, operadores e agrônomos. Com base nisso, demandam-se soluções tecnológicas que capturem, processem e gerem valor aos dados para a tomada de decisão dos produtores rurais (Santos et al., 2019).

### 2.3. Soluções de IoT para o Agronegócio

No setor rural, a IoT envolve serviços de tecnologias da informação e *software*, principalmente *big data* e ferramentas de gerenciamento de propriedades rurais. Entre os exemplos de soluções, é possível citar o monitoramento do solo, em termos de umidade e níveis de nutrientes, controle fitossanitário das exportações por meio da implementação de sistemas de rastreamento por IoT e na qualidade de controle de desempenho zootécnico animal, avaliação de processamento de alimentos e previsão de variáveis meteorológicas (Kubota e Benedeti Rosa, 2023).

### 2.4. Estações agrometeorológicas

As estações agrometeorológicas têm como finalidade fornecer informações para estudar a influência do tempo e do clima (elementos físico-meteorológicos) sobre as culturas agrícolas e animais (elementos biológicos), sendo possível determinar o crescimento e

desenvolvimento de espécies, sanidade animal e vegetal. Isso é feito a partir da captura de dados meteorológicos e biológicos que contribuem para o entendimento do inter-relacionamento entre solo, planta, animal, tempo e/ou clima, além de auxiliarem na tomada de decisões que podem melhorar a produção agrícola.

Normalmente, as estações contêm sensores que também são encontrados em uma estação climatológica, como o de molhamento foliar, observações fenológicas, pragas e doenças e de umidade do solo. Entre os principais elementos climáticos a serem monitorados estão os processos físicos de baixa atmosfera e camadas superiores do solo. Estes são climaticamente determinantes da biosfera local ou regional, outros elementos como o balanço de energia e de água são igualmente relevantes, assim como umidade atmosférica e temperatura do ar em movimento, CO<sup>2</sup>, SO<sup>2</sup> e salinidade dos solos.

As observações em macro, meso e microescala são semelhantemente necessárias na agrometeorologia. O monitoramento em macroescala, ou macroclimático, abrange grandes áreas ou regiões, como, por exemplo, uma bacia hidrográfica. A mesoescala visa apenas a um afluente, sub-bacia ou propriedade agrícola. Já a microescala, ou microclima, refere-se ao ambiente compreendido por uma cultura ou ainda à planta.

Os fatores ambientais que impactam significativamente o desenvolvimento e crescimento das plantas incluem a temperatura do ar e do solo, fotoperiodismo, radiação solar, chuvas e os elementos do balanço hídrico, como déficits e excessos de água. Adicionalmente, o avanço das tecnologias de sensoriamento remoto abre novas oportunidades para a meteorologia agrícola, possibilitando o monitoramento de condições climáticas e de biomassa em grandes áreas. Essas informações são essenciais para enriquecer os dados agrometeorológicos e melhorar as previsões e alertas voltados ao setor agrícola (Braga et al., 2015).

## 2.5. Estações multiparamétricas

As estações multiparamétricas representam uma evolução das estações tradicionais, incorporando a capacidade de serem reparametrizadas para cumprir uma variedade de funções. Essas estações são equipadas com uma série de sensores e instrumentos que podem ser configurados para monitorar diferentes parâmetros ambientais ou agrônômicos, como temperatura, umidade, nível de rios, entre outros. A flexibilidade de configuração permite que estas estações sejam utilizadas em diferentes tipos de pesquisa e monitoramento, desde estudos ambientais até aplicações específicas na agricultura, silvicultura ou mesmo em zonas urbanas.

Um dos principais benefícios desse tipo de estação é sua capacidade de adaptação a necessidades específicas por meio de atualizações remotas de *software* e alterações nos parâmetros de sensoriamento. Isso significa que uma única estação pode ser ajustada para responder a mudanças nas condições ambientais ou aos objetivos de um projeto de pesquisa sem a necessidade de instalar novos equipamentos no local. Essa adaptabilidade não só reduz custos, como também aumenta a eficácia do monitoramento em tempo real, oferecendo dados mais precisos e relevantes para os usuários.

---

<sup>2</sup>Dióxido de carbono ou gás carbônico é um composto químico gasoso que tem um papel significativo no efeito estufa e nos desequilíbrios climáticos do planeta.

<sup>3</sup>Dióxido de enxofre ou anidrido sulfuroso é um composto químico gasoso que compõe as chuvas ácidas e reduz as taxas de crescimento e de fotossíntese das plantas.

Além disso, a estação multiparamétrica tem um papel crucial na coleta de dados para a tomada de decisões baseada em evidências no manejo de recursos naturais e na resposta a eventos climáticos, como enchentes e alagamentos. Com a capacidade de medir múltiplos fatores ambientais simultaneamente, essas estações proporcionam uma compreensão mais holística dos ecossistemas. Essa abordagem integrada é essencial para enfrentar os desafios do desenvolvimento sustentável e para a implementação de práticas de manejo que sejam responsivas às dinâmicas complexas do meio ambiente (Blainski et al., 2012).

## 2.6. Fluxo de dados IoT

A troca de dados no ambiente da IoT envolve a comunicação constante e bidirecional de informações entre dispositivos conectados à Internet. Essa interação inicia-se com sensores e dispositivos inteligentes que coletam, processam, enviam e recebem dados.

Primeiramente, os dispositivos IoT capturam os dados, que podem ser processados localmente ou enviados para servidores remotos, para armazenamento e processamento mais complexo. Posteriormente, os dados processados são distribuídos para outros dispositivos na rede IoT ou sistemas externos, como aplicativos móveis, painéis de controle administrativos e usuários finais. Com a transmissão de dados em tempo real, é possível emitir alertas, acionar funções automáticas ou oferecer informações relevantes para tomada de decisões estratégicas de negócios, como mostra a Figura 2.

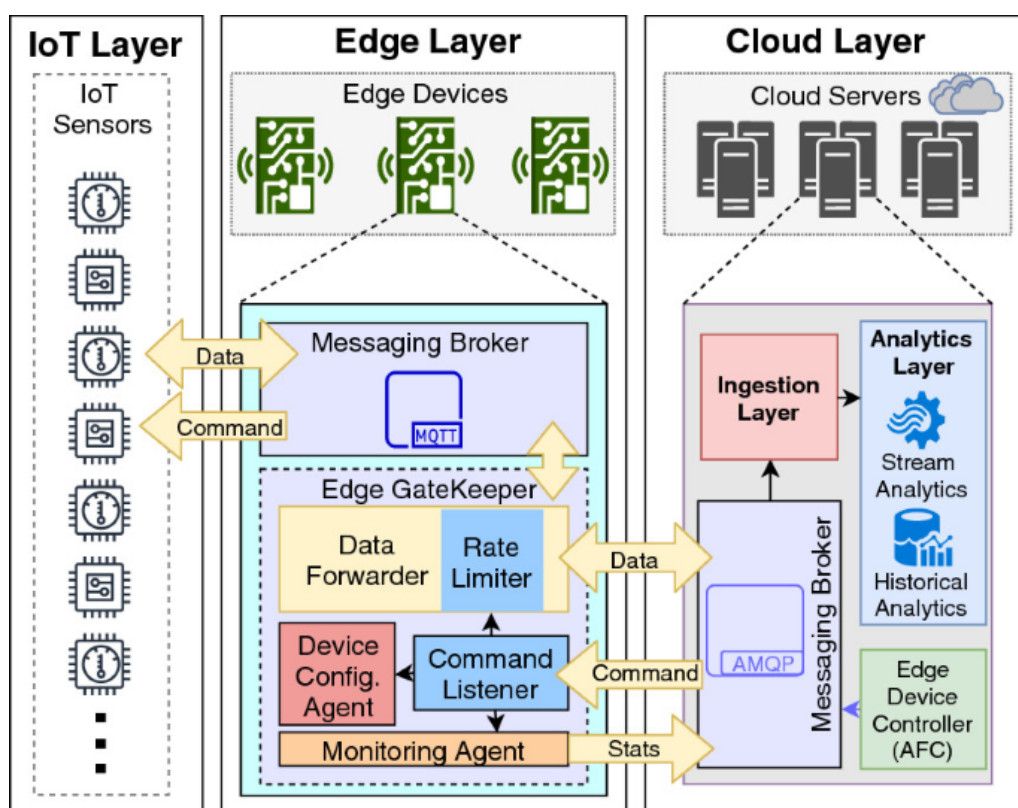


Figura 2. Fluxo de dados em redes IoT (Thekkummal et al., 2020).

O processamento eficiente desses dados pode ser alcançado por meio de uma combinação de modelos de computação variados. Isso inclui a computação em nuvem,

que oferece acesso flexível e sob demanda a recursos computacionais distribuídos; a computação em névoa, que prioriza o processamento de dados próximo à sua origem; e a computação de borda, que busca processar os dados o mais próximo possível da fonte.

### 2.6.1. Computação em nuvem

A computação em nuvem (*cloud computing*) é um paradigma de computação que fornece acesso onipresente e sob demanda a um conjunto compartilhado de recursos configuráveis, como processadores, armazenamento, serviços e aplicativos para outros computadores ou dispositivos. A arquitetura dos ambientes de computação em nuvem é dividida em cinco camadas principais: Infraestrutura Física, Infraestrutura Virtual, Plataforma, Aplicação e Rede.

De acordo com essas camadas, três modelos de serviços de computação em nuvem foram definidos para serem fornecidos aos usuários: *Infrastructure-as-a-Service* (IaaS), *Platform-as-a-Service* (PaaS) e *Software-as-a-Service* (SaaS). Esses modelos de serviço são mostrados na Figura 3 e projetados para funcionar de maneira integrada com as camadas da arquitetura de nuvem.

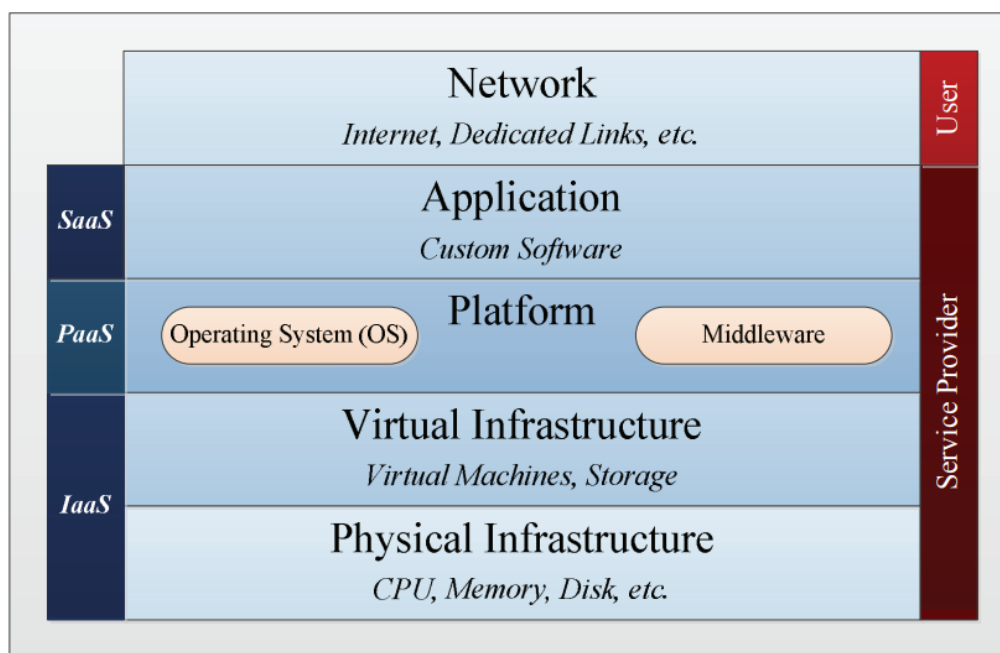


Figura 3. Camadas de computação em nuvem (Fatemi Moghaddam et al., 2015).

Esses modelos oferecem vantagens significativas como flexibilidade, escalabilidade e eficiência, essenciais para as operações de negócios modernas. Com o aumento da necessidade por soluções baseadas em nuvem, a arquitetura de computação em nuvem continua a evoluir rapidamente, destacando-se como um campo vital no setor tecnológico (Fatemi Moghaddam et al., 2015).

## 2.6.2. Computação em névoa

A computação em névoa (*fog computing*) é uma nova tendência na computação que visa processar dados próximos à fonte de dados, reduzindo significativamente o volume de dados que deve ser enviado dos dispositivos finais para a nuvem, além de permitir que a análise de dados e a geração de conhecimento ocorram diretamente na fonte.

A palavra névoa transmite a ideia de aproximar as vantagens da nuvem da fonte de dados, como na meteorologia, onde nuvens próximas ao solo são chamadas de névoa. Dessa forma, os aplicativos, serviços, dados, poder de computação e tomada de decisão são empurrados de nós centralizados para os extremos lógicos da rede (Figura 4).

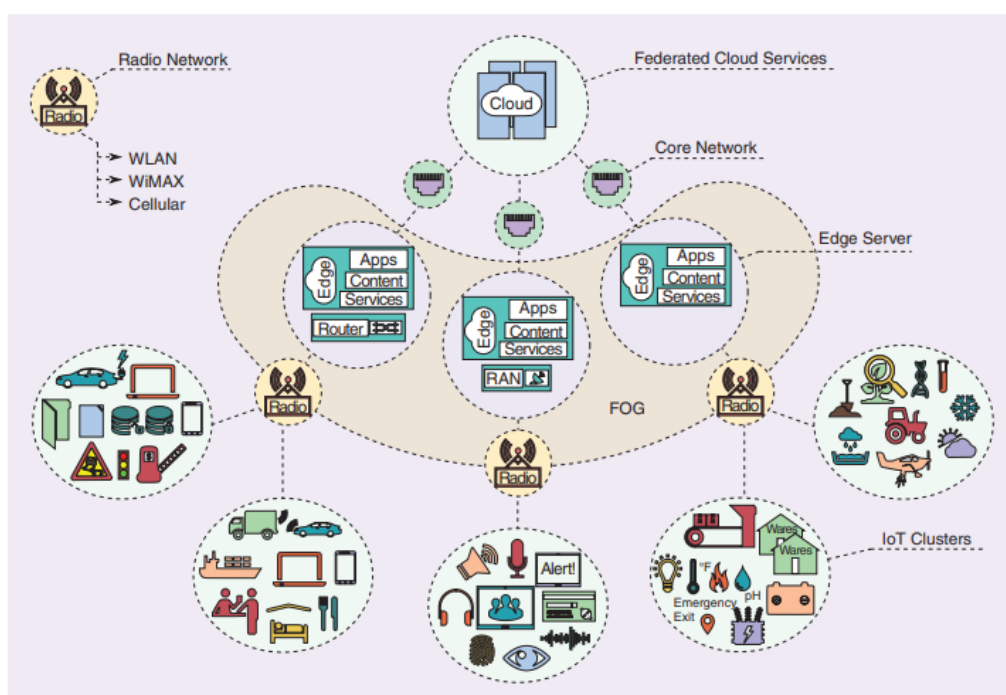


Figura 4. O paradigma arquitetônico da neblina (Munir et al., 2017).

As vantagens da névoa são especialmente observadas em aplicações IoT, pois o processamento nos nós de neblina libera largura de banda, o que ajuda a melhorar a eficiência geral da rede. Além disso, a distância entre nós do cliente e do servidor na nuvem é normalmente de vários saltos, enquanto os clientes podem se conectar aos nós da névoa geralmente por meio de um único salto. Conseqüentemente, a computação em névoa reduz a latência da transmissão de dados dos dispositivos IoT para o servidor devido à proximidade da névoa com os dispositivos finais em comparação com a nuvem.

As plataformas de computação em nuvem normalmente geram *jitter*<sup>4</sup> de atraso mais alto para aplicativos em comparação com os aplicativos executados em nós de neblina. Conseqüentemente, a computação em névoa é mais adequada para aplicações IoT em tempo real do que a computação em nuvem (Munir et al., 2017).

<sup>4</sup>Uma variação estatística do atraso na entrega de dados em uma rede, ou seja, pode ser definida como a medida de variação do atraso entre os pacotes sucessivos de dados.

### 2.6.3. Computação de borda

A computação de borda (*edge computing*) visa que os dados sejam processados no limite da rede, ou seja, o mais próximo possível da fonte de dados. Normalmente, dispositivos que possuem poder computacional significativo, como *smartphones* podem executar processamento localizado antes de envolver as camadas superiores. Isso pode ser visto através da *Mobile-Edge Computing* (MEC).

A MEC é uma instância de *edge computing* onde o objetivo é fornecer recursos de computação em nuvem na borda da rede, onde o servidor de borda no MEC está localizado na estação base, como exemplifica a Figura 5.

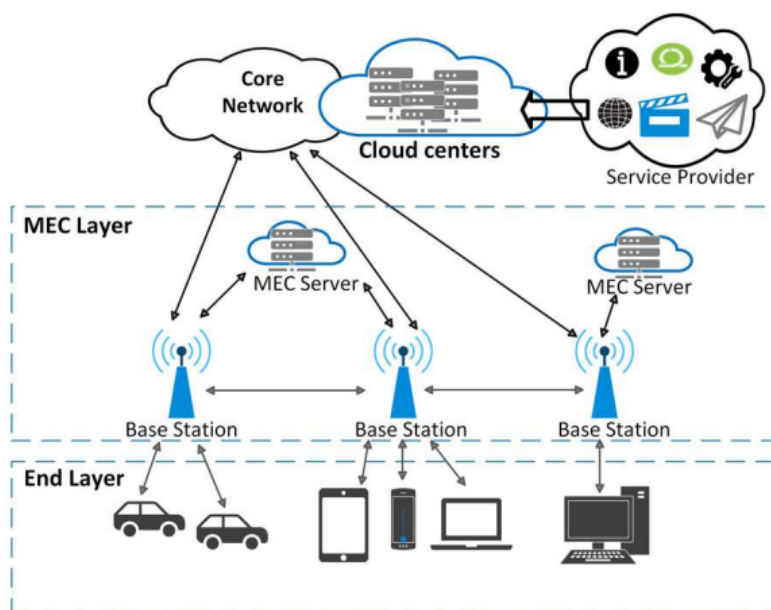


Figura 5. Arquitetura de computação móvel de ponta (Nouhas et al., 2023).

Em resumo, a ideia central é estender funcionalidades de computação em nuvem, como processamento e armazenamento, até a borda da rede móvel. Esta abordagem leva a uma diminuição da latência da rede e a uma melhoria na qualidade do serviço oferecido aos usuários finais móveis (Nouhas et al., 2023).

### 2.7. Arquitetura de soluções IoT

Ao analisar as diferentes abordagens para as arquiteturas de IoT, nota-se que a complexidade e a variabilidade das soluções demandam flexibilidade na escolha do modelo de camadas. Enquanto a arquitetura de três camadas é amplamente reconhecida por sua simplicidade e eficácia em cenários básicos, estruturas mais complexas, como as de quatro ou cinco camadas, oferecem uma melhor segmentação funcional, permitindo uma gestão mais detalhada dos dados e processos.

Essas arquiteturas avançadas incluem, por exemplo, uma camada de processamento ou *middleware*, que facilita a integração e análise de dados, e uma camada de negócios, que suporta a tomada de decisão com base nas informações coletadas. A escolha depende, portanto, do escopo, dos requisitos de performance e segurança, e da escala de implementação do projeto IoT em questão.

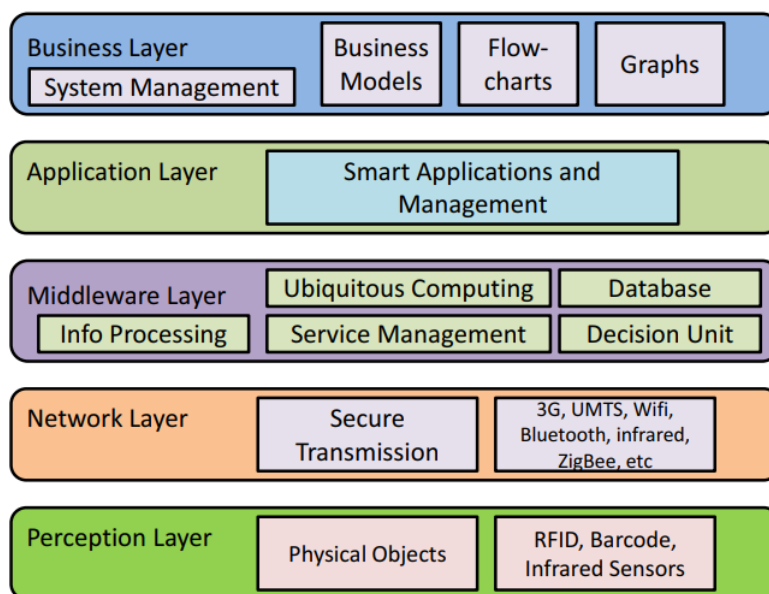


Figura 6. Arquitetura IoT de 5 camadas (Khan et al., 2012).

A arquitetura IoT em 5 camadas é subdividida (de baixo para cima) em: Camada de Percepção, Camada de Comunicação, Camada de *Middleware*, Camada de Aplicação e Camada de Negócios, conforme mostra a Figura 6.

### 2.7.1. Camada de Percepção

A Camada de Percepção, frequentemente referida como Camada de Dispositivo, desempenha o papel de interface inicial entre o mundo físico e os sistemas digitais. Esta camada é composta por uma variedade de dispositivos sensoriais, como sensores baseados em *Radio Frequency Identification* (RFID), códigos de barras 2D e sensores infravermelhos, responsáveis por captar as características físicas dos objetos, tais como localização, temperatura e movimento.

A principal funcionalidade desta camada é a detecção e coleta de informações específicas, que são posteriormente convertidas em sinais digitais para facilitar a transmissão via redes. Além disso, esta camada se assemelha ao elemento de rede na Rede de Gerenciamento de Telecomunicações, indicando sua importância na coleta e na transmissão de dados em sistemas de comunicação (Khan et al., 2012).

### 2.7.2. Camada de Comunicação

A Camada de Comunicação, normalmente referida como Camada de Transporte, desempenha um papel crucial na transferência de dados entre diferentes níveis em sistemas de tecnologia IoT. Ela atua como intermediária entre a Camada de Percepção, que capta os dados dos sensores, e o centro de processamento, garantindo que as informações trafeguem de forma segura e eficiente.

Para tal, utiliza-se uma variedade de tecnologias e meios de comunicação, in-

cluindo redes com fio e sem fio, como 3G, UMTS, Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee e infravermelho. Além disso, protocolos como IPv6 são fundamentais para lidar com o endereçamento de bilhões de dispositivos conectados, facilitando a integração e a comunicação entre diferentes dispositivos e redes (Khan et al., 2012).

### **2.7.3. Camada *Middleware***

A Camada de *Middleware* é fundamental no ecossistema IoT, pois conecta dispositivos e facilita a comunicação entre eles. As principais tecnologias empregadas nesta camada incluem banco de dados, processamento inteligente, computação em nuvem e computação ubíqua. Esta camada recebe informações da camada de rede e as armazena em bancos de dados, realizando o processamento dessas informações.

Além disso, a Camada de *Middleware* é capaz de executar e tomar decisões automáticas com base nos resultados analisados, o que potencializa a autonomia e a eficiência dos serviços prestados pelos dispositivos IoT. A integração e o gerenciamento eficaz dos serviços por esta camada são essenciais para a funcionalidade e escalabilidade da Internet das Coisas (Khan et al., 2012).

### **2.7.4. Camada de Aplicação**

A Camada de Aplicação é crucial para o desenvolvimento e a implementação eficaz de soluções que abrangem diversos setores. Esta camada aproveita os dados refinados provenientes da Camada de *Middleware* para gerar *insights* significativos e automatizar processos em áreas como saúde, agricultura, habitação e transporte. Por exemplo, na agricultura inteligente, pode otimizar o uso de recursos e melhorar a produtividade. Essa integração e aplicação de tecnologia não apenas simplificam as operações diárias, mas também promovem uma vida mais conectada e eficiente (Khan et al., 2012).

No contexto da Camada de Aplicação, uma plataforma de integração e gerenciamento desempenha um papel importante, facilitando a interação entre os usuários e os dispositivos IoT. Ela proporciona uma interface unificada para o monitoramento e controle dos dispositivos, coletando dados em tempo real e permitindo a tomada de decisões baseada em dados. Isso é importante em ambientes, onde múltiplos dispositivos e serviços precisam ser gerenciados.

### **2.7.5. Camada de Negócios**

A Camada de Negócios, opera como o núcleo estratégico onde os modelos de negócios são formulados e revisados. Esta camada tem a responsabilidade crucial de administrar os aplicativos e serviços, assegurando que não só as operações técnicas sejam eficientes, mas também que as estratégias comerciais alinhem-se visando de longo prazo (Khan et al., 2012).

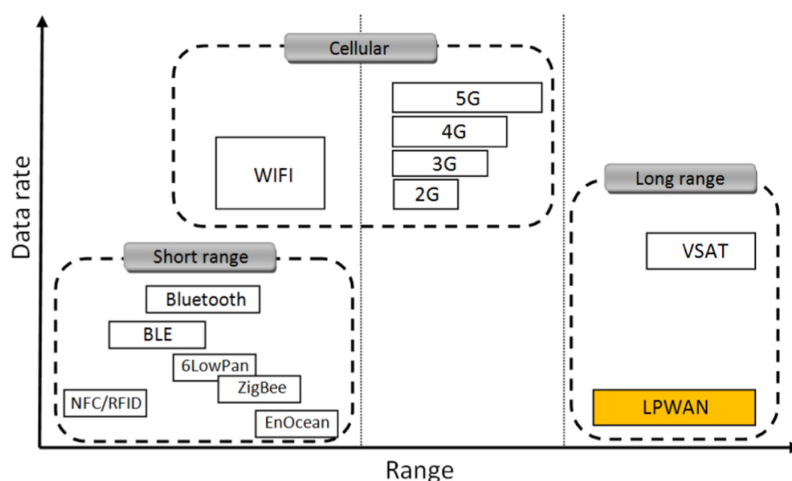
A eficácia da Camada de Negócios, não reside apenas em sua capacidade de promover inovações tecnológicas ou gerar lucro, mas também em como ela equilibra essas metas com a responsabilidade de proteger as informações dos usuários. Esta abordagem

integrada é crucial para o desenvolvimento sustentável e ético da IoT, garantindo que tanto os benefícios tecnológicos quanto os imperativos comerciais sejam alcançados de forma responsável (Wu et al., 2010).

## 2.8. Low Power Wide Area Network (LPWAN)

Trata-se de tecnologias de rede sem fio derivadas da *Wide-Area Network* (WAN) com foco em *Low Power* (LP) que atendem à visão da IoT exibindo baixo consumo de energia, fornecendo grande cobertura de área, utilizando largura de banda de forma eficiente e exigindo baixos custos de implantação de rede. Várias tecnologias estão sob a égide de LPWAN, como redes de comunicação móvel, por exemplo, Segunda Geração (2G), Terceira Geração (3G) e Quarta Geração (4G), *Long Range* (LoRa), *SigFox* e *Narrowband-IoT* (NB-IoT).

Nos últimos anos, surgiram duas categorias principais de tecnologias LPWAN: redes baseadas em tecnologias não celulares e redes baseadas em celulares. Esses tipos de tecnologias podem utilizar frequências licenciadas ou não licenciadas e utilizar padrões proprietários ou abertos. Normalmente suportam em média até 40 km de cobertura em áreas rurais e 10 km em áreas urbanas (Figura 7), devido a presença de construções civis, com uma vida útil mínima da bateria de 10 anos. A maioria das tecnologias usa técnicas *Ultra Narrow Band* (UNB) e *Spread Spectrum* (SS). Ambas são baseadas em comunicação via radiofrequência, ou seja, onde ondas eletromagnéticas propagadas sem depender de meios físicos, como cabos. Dessa forma, qualquer dispositivo compatível com estas tecnologias que se encontre dentro da área de cobertura pode receber e/ou enviar mensagens (Mekki et al., 2019).



**Figura 7. Taxa de dados necessária versus capacidade de alcance das tecnologias de comunicação LPWAN (Mekki et al., 2019).**

A técnica UNB emprega um canal de frequência extremamente estreito (menos de 1 kHz) para conectar transmissores e receptores a longas distâncias. Essa abordagem proporciona cobertura extensa com um mínimo de potência de transmissão, o que a torna uma tecnologia LPWAN ideal para dispositivos IoT. Por outro lado, a técnica SS utiliza uma banda larga para a transmissão de dados, distribuindo o sinal por uma faixa de frequência muito mais ampla que a banda real dos dados. Devido a isso, os sinais SS são capazes de

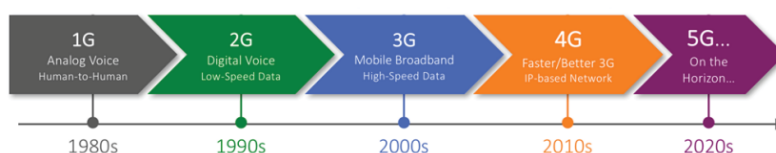
operar com uma *Power Spectral Density* (PSD)<sup>5</sup> mais baixa comparada aos transmissores de banda estreita, oferecendo uma vantagem significativa para a conectividade de longo alcance em dispositivos IoT de baixa energia (Chilamkurthy et al., 2022).

O envio de mensagens LPWAN é altamente influenciado pelo protocolo de comunicação adotado, variando desde o tamanho das mensagens e taxa de transmissão até a área de cobertura. A utilização dessa tecnologia permite que soluções IoT incorporem sistemas de comunicação sem fio, cobrindo vastas áreas e com baixo consumo de energia elétrica. A transmissão de dados ocorre por meio de radiofrequência, com a faixa de frequência sujeita às leis e regulamentos do país em que está operando.

### 2.8.1. Evolução 1G - 5G / 3GPP

A popularidade da comunicação móvel tem crescido nos últimos anos, impulsionada por uma evolução acelerada na tecnologia de dispositivos móveis. Esse avanço foi marcado pelo aumento expressivo no número de usuários de telecomunicações, progredindo desde a primeira geração (1G) até as gerações subsequentes: 2G, 3G, 4G e agora 5G. Cada nova geração tem proporcionado melhorias significativas em velocidade e desempenho para os dispositivos móveis, como ilustra a Figura 8.

As redes de comunicação móvel tem suas especificações técnicas estabelecidos pela *3rd Generation Partnership Project* (3GPP). Estas fornecem a base para o desenvolvimento de novas tecnologias, como 5G, IoT e banda larga móvel, além de garantir interoperabilidade e *roaming* contínuo entre diferentes redes móveis em todo o mundo. Seus trabalhos técnicos mais notáveis são o desenvolvimento e manutenção do *Global System for Mobile Communications* (GSM), *Universal Mobile Telecommunication System* (UMTS), *Long-Term Evolution* (LTE) e 5G NR (3GPP, 2024).



**Figura 8. Mudanças evolutivas nas tecnologias móveis (Shukurillaevich et al., 2019).**

A Primeira Geração (1G) de telefonia móvel surgiu na década de 1980, introduzindo sistemas como *Mobile Telephone System* (MTS), *Advanced Mobile Telephone System* (AMTS), *Improved Mobile Telephone System* (IMTS) e *Push to Talk* (PTT), operando com tecnologia analógica. Utilizava sinais de rádio com frequência de 150 MHz e o método de acesso múltiplo por divisão de frequência (FDMA) para modulação de chamadas de voz. Essa geração era caracterizada por baixa capacidade e segurança reduzida, permitindo que as comunicações fossem facilmente interceptadas.

Já na virada para os anos 90, surgiu a Segunda Geração (2G), que marcava a transição para sinais digitais, possibilitando transmissão de voz e dados a uma velocidade

<sup>5</sup>Descreve a potência presente no sinal em função da frequência, por unidade de frequência, ou seja, mostra em quais frequências as variações são fortes e em quais frequências as variações são fracas.

de até 64 Kbps. O 2G introduziu o serviço de mensagens curtas (SMS) e usava uma largura de banda de 30 a 200 KHz. Além disso, tecnologias intermediárias como *General Packet Radio Service* (GPRS), *Code Division Multiple Access* (CDMA) e *Enhanced Data Rates For GSM Evolution* (EDGE), conhecidas como 2,5G, começaram a usar comutação de pacotes e circuitos, oferecendo taxas de dados de até 144 Kbps.

Com a Terceira Geração (3G), houve um aumento significativo na clareza e velocidade de transmissão, operando em uma faixa de 2100 MHz e com uma largura de banda de 15-20 MHz. O 3G permitia comunicação de voz por comutação de circuitos e introduziu serviços robustos de dados, incluindo acesso à televisão e vídeo em movimento, e *roaming* global<sup>6</sup>.

A Quarta Geração (4G) expandiu ainda mais essas capacidades, oferecendo velocidades de download de até 100 Mbps. Além de melhorar as características do 3G, o 4G trouxe novidades como o acesso a jornais multimídia, programas de TV em alta definição e transmissões de vídeo digitais. A tecnologia *Long-Term Evolution* (LTE) é um dos pilares desta geração, focando em atender as exigências de aplicações futuras como banda larga sem fio e multimídia.

Por fim, a chegada da rede 5G promete revolucionar o conceito de dispositivos portáteis, unificando todos os serviços e aplicações sob um único IP. Com velocidades extremamente altas e confiáveis, o 5G busca não apenas satisfazer as necessidades tecnológicas atuais, mas também criar uma base sólida e confiável no campo das telecomunicações, oferecendo uma plataforma para serviços integrados de voz, câmera, e multimídia em dispositivos móveis (Shukurillaevich et al., 2019).

### **2.8.2. 4G LTE: CAT-1, CAT-4, CAT-M e NB-IoT**

O 4G-LTE representa uma evolução significativa na tecnologia de comunicação móvel, oferecendo velocidades superiores e maior capacidade em comparação com o 3G. Esta tecnologia permite taxas de transferência de dados mais rápidas, alcançando até 100 Mbps para download e 30 Mbps para *upload*, o que resulta em uma experiência de usuário aprimorada, com menor latência e maior eficiência no tráfego de dados. As categorias LTE, que vão de CAT-0 a CAT-18, são definidas por diferentes taxas de dados, latência e métricas de desempenho, influenciando a escolha de conectividade para implantações de IoT. Para estas soluções, CAT-1, CAT-4, CAT-M e NB-IoT são particularmente relevantes devido ao seu equilíbrio entre desempenho e consumo de energia.

A LTE CAT1 é projetada especificamente para aplicações IoT, oferecendo um equilíbrio entre desempenho e eficiência energética. Reduzindo a largura de banda e as demandas de comunicação, ela economiza energia e custos em sistemas de grande escala ou de longo alcance. Ideal para aplicações que necessitam de interatividade moderada, como interfaces de navegação e voz, é uma opção robusta para conectar dispositivos utilizando redes LTE existentes.

O LTE CAT4 é ideal para cenários de IoT que requerem altas taxas de transferência de dados, como sistemas de vigilância por vídeo e soluções de entretenimento

---

<sup>6</sup>Serviço oferecido por operadoras do mundo inteiro para permitir que seus clientes utilizem o celular fora do país de origem.

em veículos. Com capacidade de download de até 150 Mbps e *upload* de 50 Mbps, suporta aplicações mais complexas e dados intensivos. No entanto, sua menor eficiência energética o torna menos adequado para dispositivos alimentados por bateria, sendo mais viável para situações onde os dispositivos têm acesso contínuo a uma fonte de energia.

O LTE CAT M é uma tecnologia de baixo custo dentro do espectro LPWAN, criada para complementar o NB-IoT com velocidades de *upload* e *download* mais rápidas de até 1 Mbps e latência reduzida. Sua grande vantagem é a compatibilidade com as redes LTE existentes, permitindo que operadoras implementem a tecnologia sem investimentos adicionais significativos em infraestrutura, apenas atualizando o software.

O NB-IoT é uma tecnologia LPWAN que opera em bandas de frequência licenciadas, proporcionando uma conectividade robusta, segura e confiável para IoT. Especialmente projetado para aplicações que enviam pequenas quantidades de dados esporadicamente, como medidores inteligentes e monitoramento de sensores, destaca-se pelo seu baixo consumo de energia e excelente penetração de sinal, o que é ideal para alcançar locais com pouca cobertura. Com velocidades típicas de *download* e *upload* adequadas para transmissões de dados pequenas, esta é uma solução eficiente para uma vasta gama de dispositivos IoT (Networks, 2024).

Parameters	LTE CAT4	LTE CAT1	LTE CAT M	NB-IoT
Receiving Bandwidth	20MHz	20MHz	1.4MHz	200kHz
Download Rate	150Mbps	10Mbps	1Mbps	200kbps
Upload Rate	50Mbps	5Mbps	1Mbps	144kbps
Transmit Power	23dBm	23dBm	20dBm	20dBm
Duplex Mode	Full duplex	Full duplex	Full duplex or half duplex	Half duplex
Complexity	Relatively high	Moderate	Lower	Ultra-low
Applications	Video surveillance, mobile HD video streaming, advanced smartphone connectivity, etc.	POS, wearables, vehicle telematics, etc.	Utility meters, sensor monitoring, asset tracking, etc.	Smart meters, smart agriculture, smart city, etc.

**Figura 9. Comparação entre diferentes categorias LTE (Networks, 2024).**

A escolha da categoria LTE certa é crucial para manter uma operação de IoT. Com isso, é necessário avaliar as necessidades específicas, implicações técnicas e econômicas, como a taxa de transmissão e o consumo de energia, como mostra a Figura 9.

### 2.8.3. LoRa/LoRaWAN

LoRa define-se como uma solução de rede de comunicação de ampla área e baixo consumo de energia. Adota um modelo de design em camadas que se fundamenta em princípios de aplicação, como redes simplificadas, uso de frequências não licenciadas e dispositivos terminais de conectividade *plug-and-play*. Permite a rápida, flexível e econômica implementação de redes de comunicação de grande alcance e baixo consumo de energia, atendendo à necessidade crescente por conexões de dados menores e oferecendo uma visão abrangente das redes de comunicação dedicadas à energia (Yanzhi et al., 2023).

A arquitetura geral é dividida em quatro camadas, camada de aplicação, camada central, camada de agregação e camada de acesso, conforme mostrado na Figura 10.

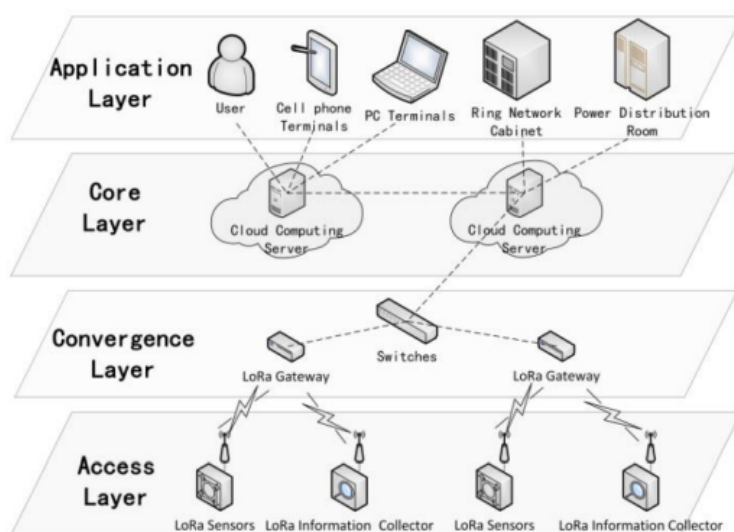


Figura 10. Arquitetura geral LoRa (Yanzhi et al., 2023).

O LoRaWAN se destina a fornecer conectividade sem fio segura e contínua para *end-nodes* em diferentes aplicações de IoT. É composto por três tipos de dispositivos: Classe A, Classe B e Classe C. Os dispositivos Classe A consomem menos energia, mas têm atrasos mais longos. Por outro lado, os dispositivos Classe B requerem uma quantidade moderada de energia enquanto mantêm a latência dos dados mínima. Já os dispositivos Classe C estão sempre conectados a fontes de energia externas e possuem uma latência insignificante.

Opera em uma topologia em estrela, permitindo que os nós finais enviem mensagens para vários *gateways* que se comunicam com o servidor da rede. Uma mensagem enviada por um dispositivo final pode ser recebida por diversos *gateways*, desde que estejam dentro do alcance de transmissão. A comunicação é realizada utilizando a tecnologia de acesso por rádio LoRa. A conexão com o servidor é feita através do protocolo TCP/IP (Chilamkurthy et al., 2022).

## 2.9. Trabalhos Correlatos

As soluções de IoT têm ganhado cada vez mais espaço na sociedade devido às suas conveniências e realizações. Há um crescente interesse tanto na indústria quanto na academia em desenvolver tecnologias mais acessíveis e com melhor desempenho. Por conta disso, nos últimos anos, foram realizados alguns estudos visando o desenvolvimento de estações de baixo custo e fácil instalação.

A partir de pesquisas nas bases *IEEE Xplore*, *Google Scholar* e *ScienceDirect* foram selecionados 10 artigos para análise. Nessa etapa, consideramos os parâmetros colhidos, *hardware* utilizado e custo do projeto como critérios de semelhança, dessa forma foram selecionados 5 que se destacaram por esses itens com o projeto proposto para serem elencados nesta subseção.

O artigo: Uma estação meteorológica baseada no arduino e em *web services restful* (Elias et al., 2014), apresenta um sistema que inclui uma estação meteorológica de baixo custo e uma aplicação web para exibir os dados medidos. A estação usa uma placa

Arduino equipada com sensores para medir temperatura, umidade relativa do ar, pressão barométrica, velocidade do vento, luminosidade e precipitação de chuva. A aplicação web permite a visualização dos dados medidos, envio de alertas via X (antigo Twitter) e integração com outras aplicações através de *Web Services RESTful*. A principal motivação é oferecer uma alternativa de baixo custo e fácil operação em comparação às estações meteorológicas profissionais, que são caras e complexas de operar.

O trabalho: Estação meteorológica experimental de baixo custo (Sousa et al., 2015), trata da montagem e calibração de uma estação meteorológica experimental utilizando materiais de baixo custo. Foram coletados dados de temperatura, umidade relativa do ar e pressão atmosférica. Os resultados mostraram que a estação experimental possui boa confiabilidade, com diferenças mínimas nos dados em comparação com uma estação oficial. O objetivo principal é facilitar o ensino de climatologia geográfica, fornecendo um meio acessível para coleta de dados meteorológicos em escolas e instituições de ensino, ao mesmo tempo que oferece uma ferramenta prática para análise climática. O custo total dos materiais utilizados foi de aproximadamente R\$ 100,00 (na época), tornando a estação uma solução viável e econômica para fins didáticos e de pesquisa.

O projeto: *Design and development of IoT based system for retrieval of agrometeorological parameters* (Jangam et al., 2018), propõe um sistema para recuperação de dados agrometeorológico, utilizou-se de um ESP8266 conectado a sensores de temperatura e umidade do ar e do solo, pressão, quantidade e intensidade de chuva. Os resultados obtidos mostraram que foi possível monitorar variáveis de forma eficiente em tempo real e com baixo custo. Os autores também sugerem que o sistema poderia ser melhorado com a adição de parâmetros, como velocidade e direção do vento, pH do solo e sensores de nutrientes do solo.

O artigo: *Agrometeorological monitoring station based microcontroller and bluetooth communication* (Gutiérrez Junco et al., 2015), explica a construção de uma estação de monitoramento de variáveis meteorológicas para aplicação na agricultura. Para isso, foram monitoradas as variáveis de temperatura e umidade do ar, umidade do solo e direção do vento com transmissão de dados via *Bluetooth*. Para a fabricação da estrutura da estação foram utilizados materiais de baixo custo, como policloreto de vinila (PVC). A conclusão extraída é de que foi possível realizar o monitoramento, contudo, a calibração dos sensores precisa ser observada para garantir a precisão e o alcance da tecnologia de comunicação pode não atender a necessidade de grandes áreas.

O trabalho que mais se assemelha ao proposto é o *AgDataBox-IoT - application development for agrometeorological stations in smart*, descrito por (Hachisuca et al., 2023), nele é detalhada a arquitetura computacional desenvolvida para uma estação de baixo custo que permita adquirir, transmitir, armazenar e processar parâmetros agrometeorológicos. As variáveis monitoradas no estudo incluíram: temperatura e umidade do ar, pressão atmosférica, radiação solar, velocidade do vento, precipitação, temperatura do solo (5 cm, 20 cm e 30 cm) e umidade do solo. Utilizou-se de um ESP32 com transmissão de dados via *Wi-Fi* para o processamento em nuvem. O resultado colhido foi positivo, com ressalvas a uma necessidade de melhoria da análise de dados na plataforma e alteração para a tecnologia *LoRa*, visando alcançar áreas maiores com um custo menor.

Nesse sentido, a solução proposta (AgTech4All) se destaca pois possibilita mo-

nitorar vários parâmetros agro-hidrometeorológicos, como condutividade, pH do solo e radiação solar. Além disso, também é possível melhorar a precisão dos sensores a partir da aquisição e troca para sensores mais precisos, sem a necessidade de atualizar o *firmware*. O sistema também possui um portal de configuração, possibilitando ao usuário alterar as configurações de amostragem e envio de dados, bem como conexão *Wi-Fi* e credenciais MQTT. As vantagens e desvantagens de cada solução são apresentadas no Quadro 1.

Artigo	Vantagens	Desvantagens
Uma estação meteorológica baseada no arduino e em <i>web services restful</i> (Elias et al., 2014)	Baixo custo, fácil operação, integração com Web Services.	Não detalha custos, pode ter limitações de - ?escalabilidade.
Estação meteorológica experimental de baixo custo (Sousa et al., 2015)	Simplicidade, econômica e confiável para fins didáticos e de pesquisa.	Aplicação limitada a ensino e monitoramento de poucos parâmetros.
<i>Design and Development of IoT based System for Retrieval of Agrometeorological Parameters</i> (Jangam et al., 2018)	Monitoramento em tempo real e possibilidade de expansão.	Não inclui parâmetros como velocidade e direção do vento ou pH do solo; custo não especificado.
Estação meteorológica com microcontrolador e <i>Bluetooth</i> (Gutiérrez Junco et al., 2015)	Estrutura de baixo custo (PVC), útil para agricultura.	Baixa precisão por calibração; alcance reduzido pelo uso de <i>Bluetooth</i> .
<i>AgDataBox-IoT</i> - Desenvolvimento para estações agrometeorológicas (Hachisuca et al., 2023)	Monitoramento abrangente, dados processados na nuvem, potencial para expansão com <i>LoRa</i> .	Necessidade de melhorias na análise de dados;
AgTech4All: estação multiparamétrica <i>open hardware</i> e <i>open source</i>	Múltiplos parâmetros, fácil instalação, permite expansão com <i>LoRa</i> , integração com <i>Things Board</i> e geração de séries históricas.	Os sensores não possuem uma precisão tão alta devido ao baixo custo, além disso não foi realizada uma avaliação do consumo da bateria.

**Quadro 1. Comparação de estações meteorológicas de baixo custo.**

### 3. Solução Proposta

Este trabalho apresenta o AgTech4All, uma solução avançada de estação agro-hidrometeorológica multiparamétrica, projetada com base no modelo de arquitetura de soluções IoT de 5 camadas, conforme descrito na seção 2.7. O AgTech4All visa proporcionar uma nova abordagem para o monitoramento dos fatores climáticos e ambientais, utilizando equipamentos que facilitam a coleta e análise de uma ampla gama de dados. A solução foi desenvolvida para ser altamente configurável e adaptável, possibilitando ajustes remotos e a integração de sensores para monitorar variáveis como temperatura, umidade, nível de rios e outros parâmetros críticos.

Nessa seção, serão detalhados os conceitos fundamentais para o desenvolvimento do AgTech4All, incluindo as tecnologias que serão empregadas e os pré-requisitos necessários para a implementação do sistema. A proposta abrange a flexibilidade e a capacidade de resposta às necessidades específicas de pesquisa e monitoramento, proporcionando uma ferramenta robusta e eficiente para o gerenciamento de recursos naturais e a resposta a eventos climáticos, alinhando-se com as melhores práticas de desenvolvimento sustentável.

### 3.1. Arquitetura

A arquitetura do sistema é organizada em camadas distintas que colaboram para garantir a eficiência no processamento e análise de dados. A camada de Percepção é responsável pela coleta de dados através de sensores. Em seguida, a camada de Comunicação faz a transmissão desses dados. As camadas de *Middleware*, Aplicação e Negócios utilizam o *ThingsBoard* para receber, gerenciar e visualizar os dados coletados, completando o ciclo desde a coleta até a análise e decisão.

Os dados coletados pelos sensores na estação podem ser enviados por diferentes tecnologias de comunicação, a depender da configuração do dispositivo. Esse fluxo segue caminhos distintos de acordo com a tecnologia parametrizada (Figura 11).

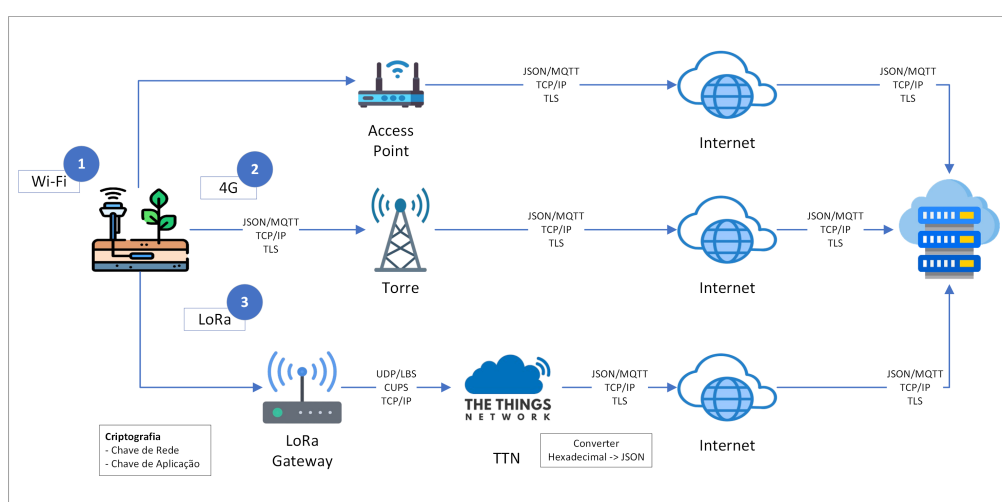


Figura 11. Fluxo dos dispositivos.

#### 3.1.1. Camada de Percepção

A camada de percepção é responsável pela captura dos dados obtidos em medições reais de componentes físicos e transformá-los em informação para transmissão em rede. Para o desenvolvimento do projeto, optou-se por uma placa de desenvolvimento baseada no microcontrolador ESP32-S3.

Este microcontrolador oferece interfaces de entrada e saída e é equipado com recursos como conectividade *Wi-Fi* e *Bluetooth*. O projeto da placa de circuito impresso é apresentado nas Figuras 12 e 13, respectivamente. Esta representa as conexões entre o microcontrolador, regulador de tensão, conversor analógico digital, interface 4G<sup>7</sup> e demais componentes.

As variáveis coletadas e monitoradas por meio dos sensores na estação serão: temperatura e umidade do ar e no solo, pressão atmosférica, radiação solar, luminosidade, direção e velocidade do vento, quantidade de chuva, salinidade, pH do solo, nitrogênio, fósforo e potássio (NPK), condutividade do solo e tensão da bateria. A coleta e envio desses dados permitirão uma análise detalhada das condições ambientais pela aplicação.

<sup>7</sup>O modelo 3D da placa 4G não é apresentado na figura devido à indisponibilidade deste pelo fabricante.

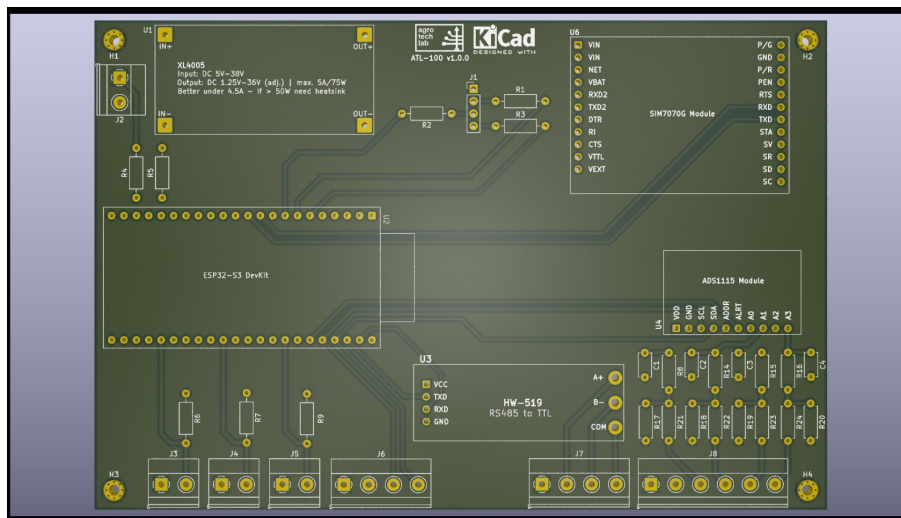


Figura 12. Printed Circuit Board (PCB).

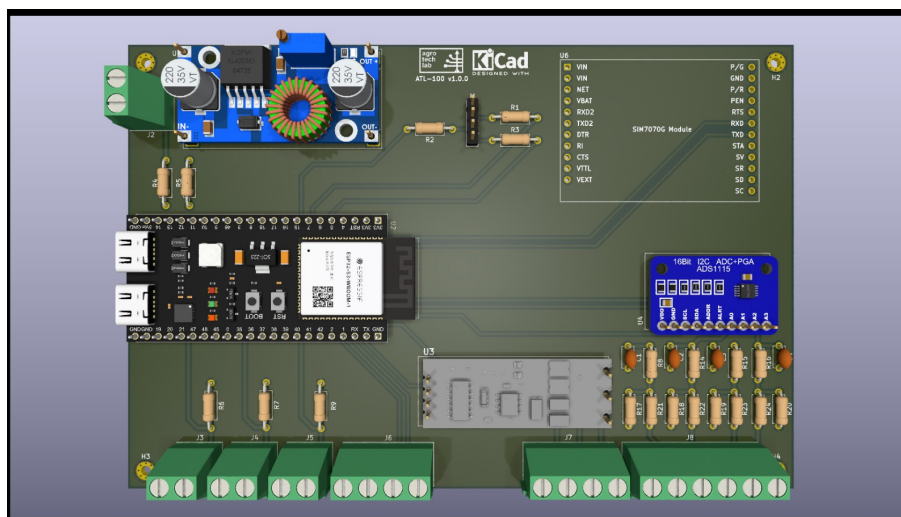


Figura 13. Printed Circuit Board (PCB).

Cada um dos sensores utilizados possui uma faixa de operação, ou seja, em quais condições ambientais de temperatura e pressão ele pode operar. Além disso, para algumas faixas específicas existem ainda faixas de acurácia, isto é, níveis em que há variação entre o valor obtido e o valor verdadeiro da grandeza física, de acordo com uma margem de erro definida pelo *datasheet*<sup>8</sup> dos fabricantes.

No Quadro 2, são apresentadas as faixas de operação e os dados de acurácia dos sensores, conforme especificado na documentação técnica. Os sensores de umidade do solo, vento, chuva e tensão não possuem todos os dados especificados.

<sup>8</sup>Documento oficial que informa o desempenho e outras características técnicas de um produto, máquina ou componente, detalha o suficiente para que o equipamento possa ser usado corretamente.

Sensor	Parâmetro	Faixa de Operação	Faixa - Acurácia	Acurácia
CWT Soil	Temperatura do Solo	-40 °C até 80°C	25°C	±0.50%
CWT Soil	Umidade do Solo	-40 °C até 80°C	0-50% 50-100%	±3.00% ±5.00%
CWT Soil	Condutividade do Solo	-40 °C até 80°C	0-10000 us/cm 10000-20000 us/cm	±3.00% ±5.00%
CWT Soil	pH do Solo	-40 °C até 80°C	-	±0.30 pH
CWT Soil	NPK	-40 °C até 80°C	1-2999 mg/kg(mg/L)	-
CWT Soil	Salinidade do Solo	-40 °C até 80°C	-	-
BME280	Temperatura do Ar	-40 °C até 85°C	25°C 0°C até 65°C -20°C até 0°C 40°C até -20°C	±0.50% ±1.00% ±1.25% ±1.50%
BME280	Umidade do Ar	-40 °C até 85°C	-40 °C até 85°C	±3.00%
BME280	Pressão Atmosférica	300hPa até 1100hPa	-20°C até 0°C 0°C até 65°C 25°C até 40°C	±1.70% ±1.00% ±1.50%
UVM-30A	Radiação Solar	-20 °C até 85°C	0 até 11 UV Index	±1 UV Index
BH1750	Luminosidade	-40 °C até 85°C	-40 °C até 85°C	±20.00%
Biruta	Direção do Vento	-	-	-
Anemômetro	Velocidade do Vento	-	-	-
Pluviômetro	Volume de Chuva	-	-	-
Bateria	Tensão da Bateria	-	-	-

**Quadro 2. Sensores relacionados.**

### 3.1.2. Camada de Comunicação

A estação será parametrizável para operar com as tecnologias de comunicação *Wi-Fi*, 4G ou LoRa. O *Wi-Fi* oferecerá conectividade para redes locais, enquanto o 4G proporcionará acesso em áreas maiores com cobertura móvel. Por sua vez, a tecnologia LoRa será utilizada para comunicação de longo alcance e baixo consumo de energia, visando integrar dispositivos em áreas remotas ou com baixa infraestrutura de rede. Juntas, essas tecnologias permitirão o funcionamento dos dispositivos e a integração com o servidor nas mais diversas regiões.

### 3.1.3. Fluxo via *Wi-Fi*

A comunicação entre a estação e o servidor através de *Wi-Fi* é ilustrada pelo fluxo 1 da Figura 11. Isso ocorre por meio do envio de dados no formato *JavaScript Object Notation* (JSON), utilizando o protocolo *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT). Inicialmente, a estação e o servidor estabelecem uma conexão de rede baseada no protocolo TCP/IP, que oferece um canal confiável e orientado à conexão. Para assegurar a segurança da comunicação, é aplicado o *Transport Layer Security* (TLS), que criptografa os dados transmitidos e protege contra interceptações e ataques. O MQTT, operando sobre o TCP/IP, é um protocolo de mensagens leve e eficiente, adequado para a troca de

informações entre dispositivos. Ele possibilita a publicação e assinatura de mensagens em tópicos específicos. As mensagens trocadas são formatadas em JSON, um formato de dados que facilita a estruturação e interpretação das informações pelo servidor.

#### 3.1.4. Fluxo via 4G

O fluxo de comunicação na rede 4G é similar ao do *Wi-Fi*, este é representado pelo fluxo 2 da Figura 11. A estação e o servidor estabelecem uma conexão de rede usando TCP/IP, e a segurança é garantida pelo TLS, que criptografa os dados. O protocolo MQTT é utilizado para a troca de mensagens formatadas em JSON. A principal diferença é que, na rede 4G, a comunicação ocorre através de uma rede móvel em vez de uma rede local sem fio, mas os princípios de comunicação e segurança são os mesmos.

#### 3.1.5. Fluxo via LoRa/LoRaWAN

O fluxo de comunicação utilizando LoRa/LoRaWAN é detalhado no fluxo 3 da Figura 11. Este envolve componentes e protocolos específicos para garantir a transmissão e o processamento dos dados com segurança. Inicialmente, a estação utiliza a tecnologia LoRa para enviar dados coletados nos sensores até um *gateway*.

O *gateway* LoRa recebe os pacotes de dados dos dispositivos e atua como um intermediário, convertendo os sinais LoRa em dados que podem ser transmitidos através de uma rede mais ampla. A comunicação entre os dispositivos e o *gateway* é protegida por criptografia em duas camadas. A primeira camada de criptografia é aplicada no nível da rede, utilizando o protocolo LoRaWAN para garantir que os dados transmitidos pelo dispositivo sejam criptografados antes de serem enviados ao *gateway*. A segunda camada de criptografia é aplicada no nível da aplicação, onde os dados são protegidos durante o transporte até a plataforma de *backend*.

O *gateway* utiliza o protocolo *User Datagram Protocol* (UDP) para enviar os dados para a rede. O *LoRaWAN Backend Services* (LBS) e o *Common Unified Protocol Server* (CUPS) gerenciam a comunicação e o roteamento dos dados dentro da rede LoRaWAN. O LBS fornece serviços de *backend* para processar os dados recebidos, enquanto o CUPS gerencia a comunicação entre a rede e o servidor de aplicação.

Os dados são então encaminhados para o *The Things Network* (TTN), que é uma plataforma para gerenciar e processar dados LoRaWAN. Após o processamento na TTN, os dados são enviados ao servidor via MQTT, garantindo uma comunicação eficiente e segura. Assim, o fluxo de comunicação começa com a transmissão dos dados dos dispositivos para o *gateway*, que utiliza UDP, LBS e CUPS para encaminhar os dados à TTN, onde os dados são processados e transformados em JSON, formato esperado no servidor.

#### 3.1.6. Camada de *Middleware*

A partir dessa camada, o *ThingsBoard*<sup>9</sup> desempenha um papel importante, servindo como uma plataforma de integração e gerenciamento que facilita a interação entre os usuários

---

<sup>9</sup>Plataforma IoT de código aberto para coleta, processamento, visualização e gerenciamento de dispositivos de dados.

e os dispositivos IoT. Ele proporciona uma interface unificada para o monitoramento e controle dos dispositivos, coletando dados em tempo real e permitindo a tomada de decisões baseadas em dados. Isso é especialmente valioso em ambientes complexos onde múltiplos dispositivos e serviços precisam ser gerenciados de forma eficiente e segura (ThingsBoard, 2024).

A camada de *Middleware* possibilita a comunicação entre aplicativos e componentes de aplicativos em uma rede distribuída. Fornece serviços para conexão por meio de mensagens, integração e APIs, além de serviços de banco de dados na memória e cache, *streaming* de dados/eventos e gerenciamento de API.

No *ThingsBoard* essa camada pode lidar com os vários tipos de protocolos de comunicação utilizados pelos dispositivos, além de ser responsável pela autenticação e autorização. Ela garante que apenas dispositivos registrados e válidos possam interagir com a plataforma. Além disso, pode-se gerar eventos e alarmes com base em condições específicas nos dados recebidos, podendo disparar notificações ou ações definidas.

Ademais, a camada expõe APIs para integração com outros sistemas e serviços externos, como plataformas de *Business Intelligence* (BI). No âmbito da camada de *Middleware* do projeto, o *ThingsBoard* oferecerá um *broker* MQTT para recepção dos dados dos sensores e o armazenamento em um banco de dados *PostgreSQL*.

### 3.1.7. Camada de Aplicação

Na *ThingsBoard*, os elementos são tratados como entidades. O *Tenant* Administrador é a entidade que gerencia clientes, cria ou possui dispositivos e estabelece o vínculo entre ativos. As informações recebidas podem ser acessadas por um *Dashboard*, painel destinado à visualização dos dados e controle dos dispositivos por meio da interface do usuário. Assim, um cliente pode ter acesso a um ou mais ativos e dispositivos, cabendo ao administrador dar a permissão.

A plataforma também permite ao usuário cadastrar e editar os dispositivos existentes, bem como ver seu status de operação e métricas de desempenho. Possibilita ainda, a criação de relatórios e alertas à nível de aplicação, podendo ser enviados via *e-mail* ou SMS<sup>10</sup> visando ofertar gráficos e relatórios sobre tendências e padrões ao longo do tempo.

Do ponto de vista de permissionamento, os administradores podem criar e editar regras para garantir que cada pessoa veja e interaja apenas com informações pertinentes. Isso é possível através da criação de perfis de usuário com diferentes permissões e acessos, assegurando que apenas as funcionalidades necessárias para cada função sejam disponibilizadas.

### 3.1.8. Camada de Negócios

Esta camada é responsável por definir e aplicar regras de negócios que determinam como os dados devem ser manipulados, analisados e apresentados. Ela possibilita a criação de *dashboards* personalizados, a configuração de alertas, eventos e a implementação de

---

<sup>10</sup>Serviço de mensagens de texto que permite a troca de mensagens curtas entre dispositivos móveis.

lógicas baseadas em condições específicas. O *ThingsBoard* assegura que a plataforma não apenas colete e armazene dados, mas também os utilize para gerar insights e promover uma gestão inteligente dos dispositivos e sensores conectados.

Nesse contexto, é possível criar regras de negócio que automatizam ações com base em eventos e condições nos dados, como o acionamento de uma notificação se um valor de sensor exceder um determinado limite, enviar notificações periódicas, atualizar estados de dispositivos ou interagir com APIs externas com base em regras estabelecidas.

A camada de negócio centraliza a lógica de processamento e gerenciamento, garantindo que todas as operações estejam de acordo com as regras e políticas definidas.

## 3.2. Desenvolvimento

### 3.2.1. Tecnologias

Para o desenvolvimento do projeto, optou-se pela utilização do ESP-IDF, um *framework* da *Espressif* para aplicações embarcadas. Baseado no FreeRTOS, *kernel* de sistema operacional em tempo real de código aberto, o *framework* fornece uma série de ferramentas, APIs, componentes e fluxos de trabalho para desenvolver aplicativos usando sistemas operacionais *Windows*, *Linux* e *macOS*.

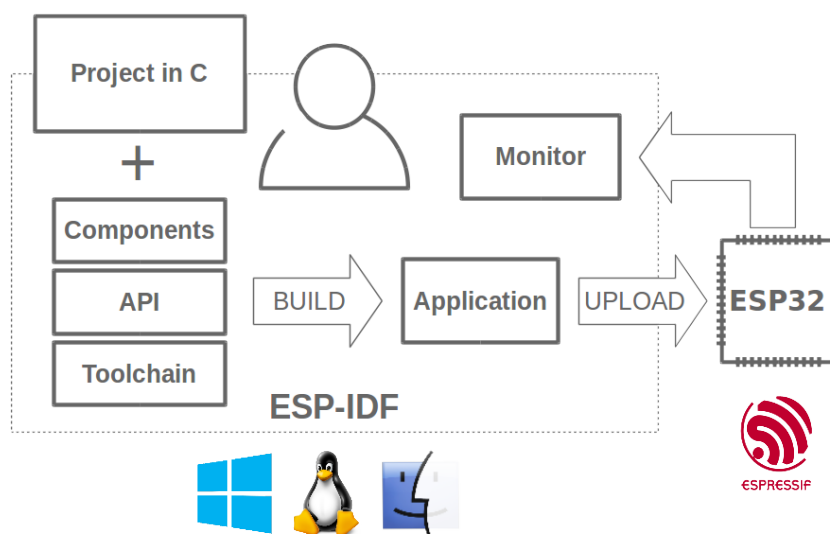


Figura 14. Estrutura de desenvolvimento integrado *Espressif IoT*.

Conforme o diagrama da Figura 14, o projeto é desenvolvido na linguagem de programação C, utilizando a IDE<sup>11</sup> *Visual Studio Code*. Uma vez finalizado o código, este é compilado pela IDE em conjunto com o sistema operacional e enviado para o dispositivo, sendo possível acompanhar a sua execução pelo monitor do ambiente de desenvolvimento.

A estação possui dois modos de operação: *Access Point* e *Station*. No primeiro, é criada uma rede *Wi-Fi* que permite acessar o portal de configuração do sistema, nele é

<sup>11</sup>Software para criar aplicações que combina ferramentas comuns de desenvolvedor em uma única interface gráfica.

possível fazer a parametrização de quais sensores serão utilizados, qual a periodicidade do envio de dados ao servidor e quais as credenciais de acesso serão utilizadas nesse processo. Já no modo *Station*, a estação passa a coletar as informações dos sensores e se conecta com o servidor via *WiFi* ou 4G para o envio da telemetria, utilizando o protocolo MQTT.

O código identifica quais sensores estão habilitados e faz a criação de *tasks*, responsáveis por cada um deles, onde os dados são capturados e salvos na memória. Além disso, as *tasks* foram adaptadas para o envio de dados de acordo com o intervalo de tempo parametrizado.

Como mostrado na Implementação 1, a função de criação das tarefas verifica nas configurações gerais do sistema se o sensor específico está habilitado. Caso sim, a tarefa referente a ele é iniciada.

```
1 /* Check DHT task */
2 if (atl_config.telemetry.dht.enabled) {
3     /* Create DHT task */
4     if (xTaskCreatePinnedToCore (atl_dht_task, "atl_dht_task", 4096,
5         NULL, 10, &atl_dht_handle, 1)) {
6         ESP_LOGI (TAG, "DHT sensor task created!");
7     } else {
8         ESP_LOGE (TAG, "Error creating DHT sensor task!");
9         return ESP_FAIL;
10 }
```

#### Implementação 1. Exemplo de criação de tarefa.

A Implementação 2, exemplifica como a função de coleta de dados funciona. Inicialmente, são definidas as variáveis e configurada a GPIO<sup>12</sup>, posteriormente é iniciado o *loop* da tarefa. Nesse processo, é carregada a informação salva no microcontrolador e verificado se a estação está em modo emulador ou real. No modo real, os dados são coletados diretamente dos sensores; no modo emulador, eles são gerados aleatoriamente para fins de teste. Após a obtenção dos dados, estes são salvos na memória e verifica-se o período de amostragem, a fim de que a tarefa seja parada até que um novo ciclo deva ser iniciado.

```
1 /**
2  * @fn atl_dht_task(void *args)
3  * @brief Tarefa para leitura de temperatura e umidade via DHT.
4  * @param [in] args - Ponteiro para argumentos da tarefa.
5  */
6 void atl_dht_task(void *args) {
7     float air_temperature = 0.0f, air_humidity = 0.0f;
8     uint32_t sampling_period = CONFIG_ATL_DHT_SAMPLING_PERIOD * 1000;
9
10    /* Configura GPIO */
11    gpio_config_t io_conf = {
12        .intr_type = GPIO_INTR_DISABLE,
13        .mode = GPIO_MODE_INPUT,
14        .pin_bit_mask = 1ULL << CONFIG_ATL_DHT_GPIO,
```

<sup>12</sup>General Purpose Input/Output (GPIO) são portas programáveis de entrada e saída de dados que são utilizadas para prover uma interface entre os periféricos e o microcontrolador.

```

15     .pull_down_en = GPIO_PULLDOWN_ENABLE,
16     .pull_up_en = GPIO_PULLUP_DISABLE
17 };
18 gpio_config(&io_conf);
19
20 /* Loop da tarefa */
21 while (true) {
22     if (atl_load_sensor_state(&atl_telemetry) == ESP_OK) {
23         ESP_LOGI(TAG, "Estado do sensor carregado do NVS.");
24     }
25
26     /* Verifica o modo: emulador ou sensor */
27     if (atl_config.telemetry.telemetry_mode == 1) { // Emulador
28         air_temperature = get_air_temperature(&atl_air_tem_emulator
29 );
30         air_humidity = get_air_humidity(&atl_air_hum_emulator);
31     } else { /* Sensor real */
32         if (dht_read_float_data(DHT_TYPE_AM2301,
33             CONFIG_ATL_DHT_GPIO, &air_humidity, &air_temperature)
34             != ESP_OK) {
35             ESP_LOGW(TAG, "Erro na leitura do sensor DHT!");
36             continue;
37         }
38     }
39
40     /* Adiciona dados aos buffers */
41     if (xSemaphoreTake(atl_telemetry_data_mutex, portMAX_DELAY) ==
42         pdTRUE) {
43         atl_add_reading(&atl_telemetry.air_temperature_buffer,
44             air_temperature);
45         atl_add_reading(&atl_telemetry.air_humidity_buffer,
46             air_humidity);
47         xSemaphoreGive(atl_telemetry_data_mutex);
48     }
49
50     /* Salva estado no NVS */
51     atl_save_sensor_state(&atl_telemetry);
52
53     /* Busca tempo de amostragem */
54     if (xSemaphoreTake(atl_config_mutex, portMAX_DELAY) == pdTRUE)
55     {
56         sampling_period = atl_config.telemetry.dht.sampling_period
57             * 1000;
58         xSemaphoreGive(atl_config_mutex);
59     }
60
61     /* Aguarda o novo ciclo */
62     vTaskDelay(pdMS_TO_TICKS(sampling_period));
63 }
64 }

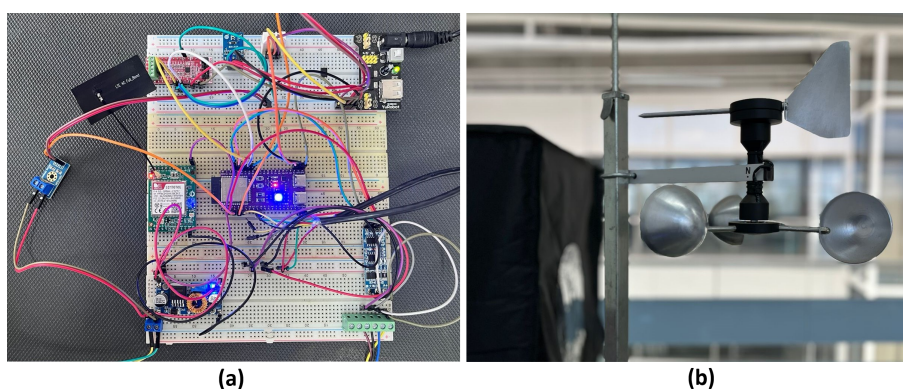
```

## Implementação 2. Exemplo de tarefa de monitoramento de sensor.

Em paralelo ao processo de obtenção de dados, criou-se uma tarefa para o envio da telemetria ao servidor. Essa função é executada em intervalos de tempo configurados e faz a leitura dos dados da memória, formata em JSON e dispara via MQTT.

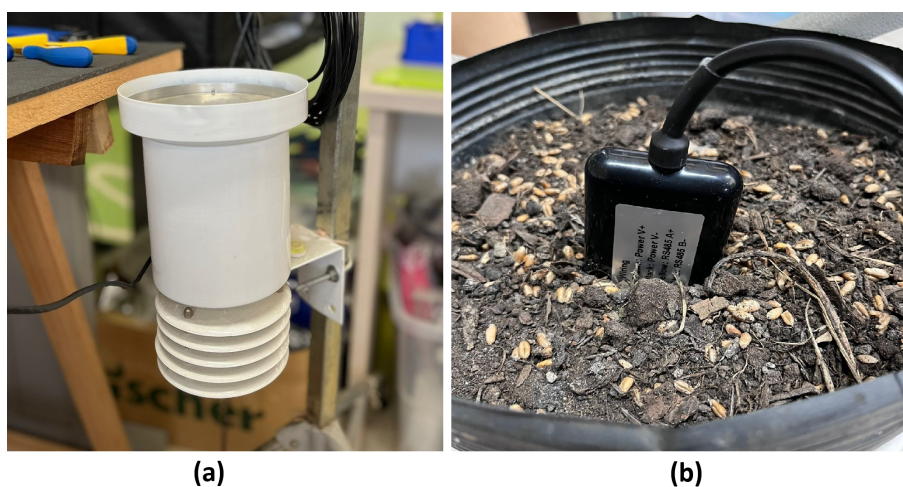
Com relação aos dispositivos físicos utilizados na estação, além da placa de circuito impresso, temos os sensores periféricos conectados ao microcontrolador, sendo estes: anemômetro, biruta, pluviômetro e sensor de solo.

A Figura 15 (a) exibe o microcontrolador e suas conexões com os demais sensores e alimentação. Na imagem (b), temos o sensor responsável por capturar a velocidade e direção do vento, anemômetro e biruta, respectivamente. A velocidade, em rotações por minuto, é obtida através da contagem de pulsos gerados pelo anemômetro em um intervalo de tempo definido, calcula-se pela razão entre a quantidade de pulsos e o tempo decorrido. Já a leitura da direção é feita pela conversão da leitura do sensor em tensão, esta é convertida para um valor em graus com base em intervalos pré-definidos, esse valor é pós-processado na plataforma para que seja exibida a direção no *dashboard*.



**Figura 15. Protótipo da PCB (a) e sensores de velocidade e direção do vento (b).**

A Figura 16 (a) mostra o pluviômetro, responsável pela leitura da quantidade de chuva, nele é feito um cálculo considerando a razão entre o volume coletado, em milímetros cúbicos, e a área do pluviômetro e milímetros quadrados para obter o valor da chuva em milímetros. Na imagem (b), temos o sensor de solo responsável pela coleta desses dados.



**Figura 16. Pluviômetro (a) e sensor de dados do solo (b).**

### 3.2.2. Plataforma

O *ThingsBoard* possibilita a criação de painéis de visualização de dados de forma personalizada. A Figura 17 exibe o painel inicial de visualização dos dados, onde são exibidos os últimos valores recebidos para os principais parâmetros monitorados, bem como o mapa com a localização de cada estação cadastrada.

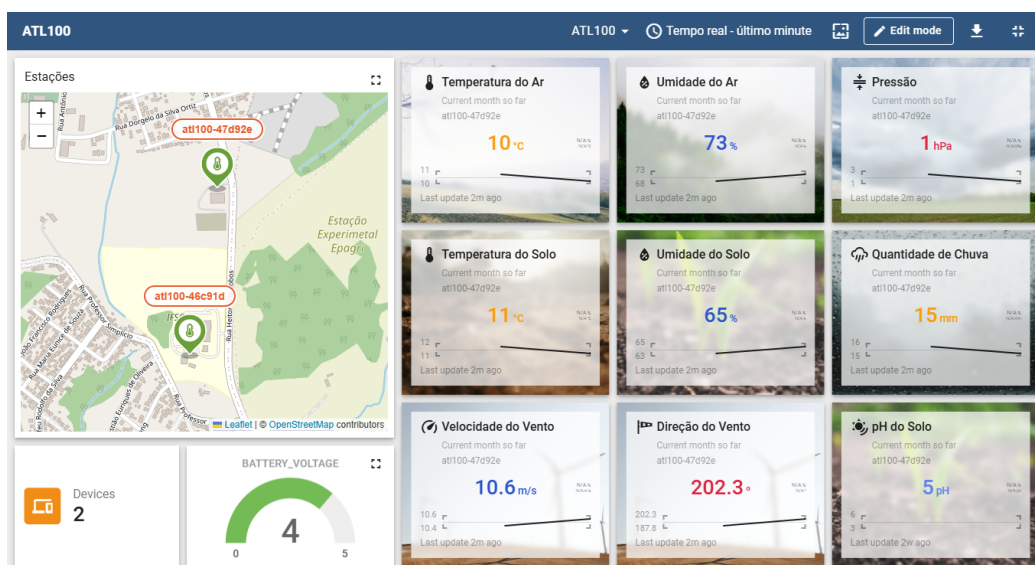


Figura 17. Painel de visualização construído no *ThingsBoard*.

A partir disso, foram criados componentes para exibir os dados coletados pelos sensores em gráficos interativos com séries e históricos, visando facilitar o acesso aos dados para uma análise e tomada de decisão, conforme mostra a Figura 18.

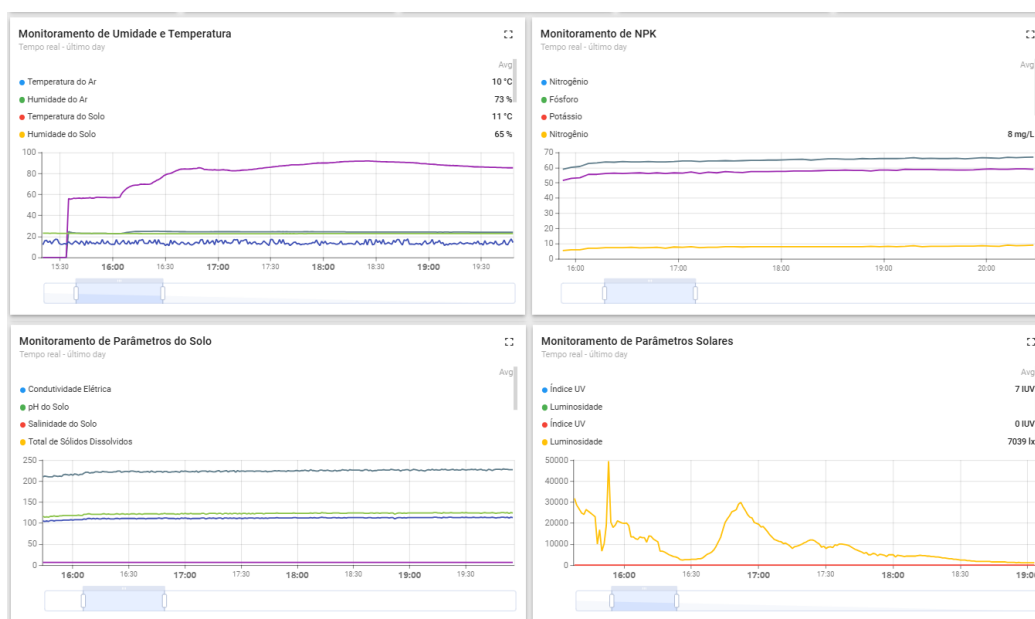


Figura 18. Gráfico de série de dados construído no *ThingsBoard*.

Além disso, o *dashboard* permite selecionar uma estação específica e visualizar os dados específicos enviados por ela, como mostra a Figura 19.

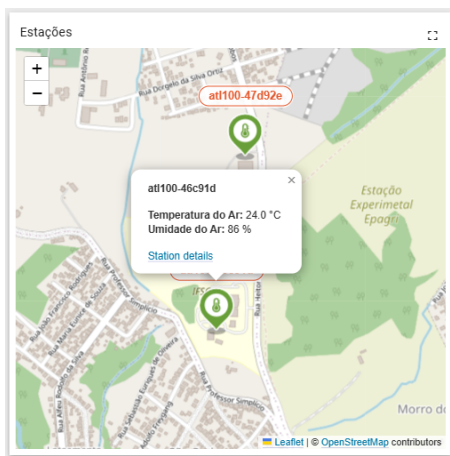


Figura 19. Mapa de visualização das estações cadastradas.

Ao abrir os detalhes de uma estação, são exibidos os últimos dados dos principais parâmetros monitorados e as séries históricas destes, como exemplifica a Figura 20.



Figura 20. Gráfico de série de dados construído no *ThingsBoard*.

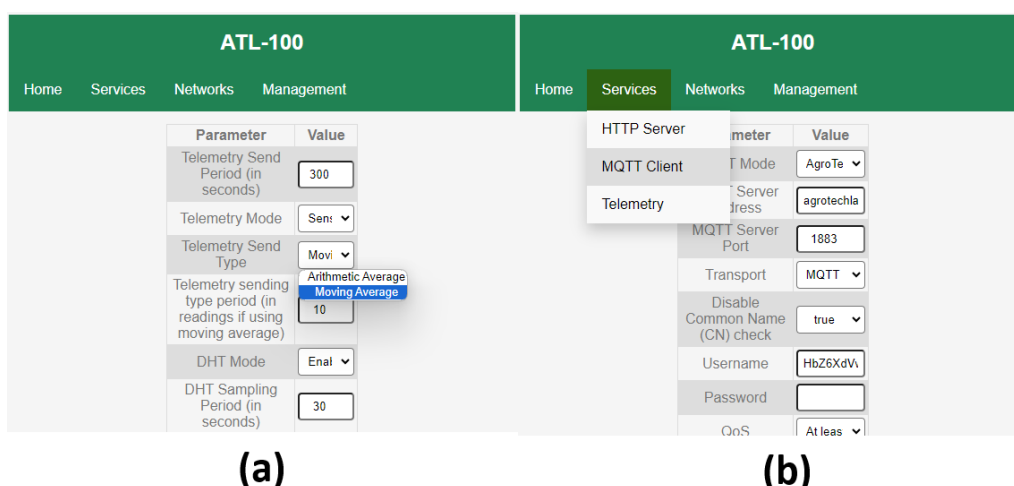
#### 4. Testes e Resultados

Nesta seção serão apresentados os parâmetros utilizados nos testes realizados, bem como os resultados obtidos a partir deles.

A partir do desenvolvimento do protótipo e configuração da plataforma para recepção e envio dos dados, foi possível realizar testes de coleta e processamentos dos dados dos sensores.

A estação foi instalada no laboratório para coleta dos parâmetros de temperatura e umidade do ar e no solo, pressão atmosférica, radiação solar, luminosidade, direção e velocidade do vento, quantidade de chuva, salinidade, pH do solo, nitrogênio, fósforo e potássio (NPK), condutividade do solo e tensão da bateria. A coleta e envio desses dados permitiu uma análise detalhada das condições da operação do sistema e qualidade das informações.

O sistema possui um portal de configuração acessível na rede *Wi-Fi* à qual ele está conectado, com isso é possível realizar as parametrizações necessárias ao seu funcionamento. Dessa forma, é possível configurar o período de amostragem dos sensores e envio dos dados para a plataforma, além do tipo de dado enviado, média móvel ou aritmética simples. Nesse sentido, também é possível alterar nessa tela os dados de conexão da rede e do protocolo MQTT, conforme ilustra a Figura 21.



**Figura 21. Tela de configuração da telemetria (a) e parâmetros do MQTT (b).**

Assim, os sensores são amostrados várias vezes entre os intervalos de envio de dados e esses valores são armazenados. Por exemplo, o envio pode ser configurado para ser realizado a cada 300 segundos, mas amostrado a cada 30 segundos. Dessa maneira, a cada 300 segundos será enviada a média móvel das últimas 10 amostras (janela móvel), de acordo com os parâmetros configurados.

Com isso, foi possível validar o envio de dados pela estação e os componentes utilizados nos *dashboards* criados no *ThingsBoard*, verificou-se que estes foram corretamente populados na plataforma e exibiram os dados para o usuário conforme o esperado.

## 5. Conclusão e Trabalhos Futuros

Este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de uma estação agro-hidrometeorológica multiparamétrica de baixo custo. A solução proposta demonstrou ser eficiente na coleta de dados e permitiu a análise dos dados em *dashboards* intuitivos no *ThingsBoard*, otimizando o acompanhamento dos parâmetros obtidos nos sensores.

Os testes realizados em laboratório validaram a coleta de dados reais dos sensores e a funcionalidade de envio de dados para o servidor, demonstrando a confiabilidade do sistema. Quanto aos custos de construção, a aquisição de todos os equipamentos necessários para a construção da estação custa em torno de U\$ 190 (Quadro 3).

Equipamento	Quantidade	Unidade (U\$)	Total (U\$)
PCB	1	0.050	0.050
Plastic Box	1	4.130	4.130
Weather Station Kit	1	100.000	100.000
100nF	4	0.050	0.200
Screw Terminal 01x02	4	1.810	7.240
Screw Terminal 01x04	3	2.310	6.930
Screw Terminal 01x06	1	2.660	2.660
67R	1	0.050	0.050
42R	1	0.050	0.050
17R	1	0.050	0.050
10k	3	0.050	0.150
1.2k	1	0.050	0.050
4.7k	1	0.050	0.050
3k3	4	0.050	0.200
100R	4	0.050	0.200
50R	4	0.050	0.200
DHT22	1	0.970	0.970
7 in 1 Soil Sensor	1	28.410	28.410
Power Module	1	10.470	10.470
ESP32-S3 DevKit	1	6.280	6.280
RS-485 Module	1	0.860	0.860
ADS1115 Module	1	0.840	0.840
SIM7070G Module	1	16.430	16.430
Total Parcial		162.060	
Frete		0.000	
Desconto		-3.500	
Impostos		31.712	
<b>Total</b>		<b>190.272</b>	

**Quadro 3. Quadro de componentes e custos**

Ao compararmos com estações tradicionais comercializadas no Brasil, normalmente custando em torno de R\$ 5.000<sup>13</sup>, o AgTech4All é entre 70 e 90% mais barato em relação às estações convencionais, a depender da cotação do dólar no momento da compra dos equipamentos.

Durante o desenvolvimento deste trabalho, foram identificadas algumas oportunidades para aprimoramento e expansão da solução proposta:

- Integração com LoRa/LoRaWAN;
- Realização de mais testes em ambiente externo.

<sup>13</sup>[https://www.climaeambiente.com.br/prod,idproduto,3730078,estacao-de-temperatura-e-umidade-do-solo-e-folhas---300-metros---k6345?utm\\_campaign=\\*|\\*&utm\\_term=&campaignid=20339380272&adgroupid=&targetid=&adid=&rnd=14250703889225348021&gad\\_source=4&gclid=Cj0KCQiApNW6BhD5ARIsACmEbkXw\\_1yxSdQssqnEYZ43NyCkB-\\_7ecwbxqs1j4DhBWW3bAm7-vgMl6QaAhqzEALw\\_wcB](https://www.climaeambiente.com.br/prod,idproduto,3730078,estacao-de-temperatura-e-umidade-do-solo-e-folhas---300-metros---k6345?utm_campaign=*|*&utm_term=&campaignid=20339380272&adgroupid=&targetid=&adid=&rnd=14250703889225348021&gad_source=4&gclid=Cj0KCQiApNW6BhD5ARIsACmEbkXw_1yxSdQssqnEYZ43NyCkB-_7ecwbxqs1j4DhBWW3bAm7-vgMl6QaAhqzEALw_wcB)

Como trabalhos futuros, sugere-se a realização de testes mais elaborados em ambiente externo, aumentando o número de dados e parâmetros monitorados. Os testes realizados em laboratório se mostraram promissores, contudo, isso tornaria a estação mais robusta e garantiria uma confiança maior nos dados obtidos.

Ademais, durante o desenvolvimento do projeto, o tempo de desenvolvimento do *firmware* utilizado e a conexão com todos os sensores físicos para obtenção dos dados reais levou mais tempo do que o estimado inicialmente, sobretudo, devido a quantidade de parâmetros monitorados e utilização de diferentes protocolos de comunicação. Assim, não foi possível concluir a implementação do módulo LoRa/LoRaWAN. Essa realização proporcionaria maior cobertura e performance energética ao projeto da estação.

Além disso, essa implementação é especialmente vantajosa, pois potencializa a redução de custos do projeto, uma vez que reduz custos operacionais e de construção. Pode-se citar o custo de mensalidade para acessar a rede 4G, no LoRa não há custo posterior à aquisição das antenas. Na construção da estação, a compra dos componentes necessários para o 4G está em torno de U\$ 16, já para o LoRa esse custo é aproximado em U\$ 10.

Portanto, conclui-se que os objetivos principais desse trabalho foram concluídos com sucesso. Ficam os pontos supracitados que podem ser desenvolvidos futuramente para melhorar o custo total de construção, cobertura e confiança da estação.

## Referências

- 3GPP (2024). About 3gpp. Disponível em: <https://www.3gpp.org/about-us> - Acesso em 06 de maio de 2024.
- Ananna, T. N. e Saifuzzaman, M. (2024). Introduction to iot. *Ithaca: Cornell University Library, arXiv.org*, 1(1):1–50.
- Araújo, M. J. (2007). *Fundamentos de Agronegócios*. Editora Atlas S.A, São Paulo.
- Blainski, E., Garbossa, L., e Antunes, E. (2012). *Estações hidrometeorológicas automáticas: recomendações técnicas para instalação*. Number 240 in Epagri. Documentos. Epagri, Florianópolis. Estação meteorológica - Instalação. ISSN 0100-8986.
- Braga, H. J., Ricce, W. S., Pandolfo, C., Garbossa, L. H. P., Massignam, A. M., Blainski, E., e Vieira, H. J. (2015). *Agrometeorologia Catarinense: estações convencionais*. Epagri - Departamento Estadual de Marketing e Comunicação - DEMC.
- Chilamkurthy, N. S., Pandey, O. J., Ghosh, A., Cenkeramaddi, L. R., e Dai, H.-N. (2022). Low-power wide-area networks: A broad overview of its different aspects. *IEEE Access*, 10:81926–81959.
- Cultivar, G. (2020). Como avança o processo de modernização da agricultura. Disponível em: <https://sopesp.com.br/2020/10/30/como-avanca-o-processo-de-modernizacao-da-agricultura/> - Acesso em 22 de abr. de 2024.
- Elias, A. A. d. A., Silva, J. C. P. d., Gonçalves, R. N., e Souza, T. S.-d. (2014). Ardweather: Uma estação meteorológica baseada no arduino e em web services restful. In *XIV Safety, Health and Environment World Congress*, pages 44–48. COPEC.
- Embrapa (2018). *Trajatória-da agricultura brasileira*. Disponível em: <https://www.embrapa.br/visao/trajetoria-da-agricultura-brasileira> - Acesso em 22 de abr. de 2024.

- Fatemi Moghaddam, F., Rohani, M. B., Ahmadi, M., Khodadadi, T., e Madadipouya, K. (2015). Cloud computing: Vision, architecture and characteristics. In *2015 IEEE 6th Control and System Graduate Research Colloquium (ICSGRC)*, pages 1–6.
- Fortin, M. F., Côté, J., e Filion, F. (2009). *Fundamentos e Etapas do Processo de Investigação*. Lusodidacta.
- Gutiérrez Junco, D. F., Díaz Caro, D. F., Cruz Forero, M. S., e Ruge, I. A. R. (2015). Agrometeorological monitoring station based microcontroller and bluetooth communication. In *2015 IEEE 2nd Colombian Conference on Automatic Control (CCAC)*, pages 1–5.
- Hachisuca, A. M. M., de Souza, E. G., Oliveira, W. K. M., Bazzi, C. L., Donato, D. G., de Souza Mendes, I., Abdala, M. C., e Mercante, E. (2023). Agdatabox-iot - application development for agrometeorological stations in smart. *MethodsX*, 11:102419.
- Jangam, A. R., Kale, K. V., Gaikwad, S., e Vibhute, A. D. (2018). Design and development of iot based system for retrieval of agrometeorological parameters. In *2018 International Conference on Recent Innovations in Electrical, Electronics & Communication Engineering (ICRIEECE)*, pages 804–809.
- Khan, R., Khan, S. U., Zaheer, R., e Khan, S. (2012). Future internet: The internet of things architecture, possible applications and key challenges. In *2012 10th International Conference on Frontiers of Information Technology*, pages 257–260.
- Kubota, L. e Benedeti Rosa, M. (2023). *Internet das coisas e conectividade no campo*, chapter 6, pages 135–136. IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada), Rio de Janeiro.
- Massruhá, S. M. F. S., Leite, M. A. d. A., Luchiari Junior, A., e Evangelista, S. R. M. (2020). *A transformação digital no campo rumo à agricultura sustentável e inteligente*. Embrapa, Brasília.
- Mekki, K., Bajic, E., Chaxel, F., e Meyer, F. (2019). A comparative study of lpwan technologies for large-scale iot deployment. *ICT Express*, 5(1):1–7.
- Monteiro, J. E. B. (2009). *Agrometeorologia dos Cultivos : O fator meteorológico na produção agrícola*. Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, Brasília.
- Munir, A., Kansakar, P., e Khan, S. U. (2017). Ifciot: Integrated fog cloud iot: A novel architectural paradigm for the future internet of things. *IEEE Consumer Electronics Magazine*, 6(3):74–82.
- Murray, A., Papa, A., Cuzzo, B., e Russo, G. (2016). Evaluating the innovation of the internet of things. *Business Process Management Journal*, 22:341–356.
- Networks, I. (2024). Lte cat4/cat1/catm/nb-iot, which is your alternative to 2g 3g solutions? Disponível em: <https://www.inhand.com/en/support/blogs/which-is-your-alternative-to-2g-3g-solutions/> - Acesso em 06 de maio de 2024.
- Nouhas, H., Belangour, A., e Nassar, M. (2023). Cloud and edge computing architectures: A survey. In *2023 IEEE 11th Conference on Systems, Process & Control (ICSPC)*, pages 210–215.
- Pathmudi, V. R., Khatri, N., Kumar, S., Abdul-Qawy, A. S. H., e Vyas, A. K. (2023). A systematic review of iot technologies and their constituents for smart and sustainable agriculture applications. *Scientific African*, 19:e01577.
- Reddy, P. K., Mary, D. R. K., Murugan, R., Chengoden, Victor, N., Maddikunta, R., Gadekallu, T. R., Rakesh, N., Zhu, Y., e Paek, J. (2024). Remote sensing for agriculture in the era of industry 5.0—a survey. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 17:5920–5945.

- Santos, T. C. d., Esperidião, T. L., e Amarante, M. d. S. (2019). Agricultura 4.0: Software de gerenciamento de produção. *Revista Pesquisa e Ação*, 5(4):122–131.
- Shukurillaevich, U. B., Sattorivich, R. O., e Amrillojonovich, R. U. (2019). 5g technology evolution. In *2019 International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT)*, pages 1–5.
- Sousa, R. R. d., Antunes, J. P., e Cabral, I. (2015). Estação meteorológica experimental de baixo custo. *Geo UERJ*, 27:80–97.
- Statista (2023). Number of internet of things (iot) connected devices worldwide from 2019 to 2030, by vertical. Disponível em: <https://www.statista.com/statistics/1194682/iot-connected-devices-vertically/> - Acesso em 22 de abr. de 2024.
- Stevan Jr, S. (2018). *Agrometeorologia dos Cultivos : O fator meteorológico na produção agrícola*. Editora Érica/Saraiva, São Paulo.
- Thekkummal, N. B., Jha, D. N., Puthal, D., James, P., e Ranjan, R. (2020). Coordinated data flow control in iot networks. In Brandic, I., Genez, T. A. L., Pietri, I., e Sakellariou, R., editors, *Algorithmic Aspects of Cloud Computing*, pages 25–41, Cham. Springer International Publishing.
- ThingsBoard (2024). What is thingsboard? Disponível em: <https://thingsboard.io/docs/getting-started-guides/what-is-thingsboard/> - Acesso em 06 de maio de 2024.
- Wu, M., Lu, T.-J., Ling, F.-Y., Sun, J., e Du, H.-Y. (2010). Research on the architecture of internet of things. In *2010 3rd International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering(ICACTE)*, volume 5, pages V5–484–V5–487.
- Yanzhi, S., Jiayun, L., Junhan, Y., Quan, W., e Cheng, F. (2023). Multi-mode multi-priority low power wide area distribution communication network based on lora. In *2023 15th International Conference on Communication Software and Networks (ICCSN)*, pages 264–269.