

PROPOSTA ARQUITETURAL DE BAIXO CUSTO PARA AUTOMAÇÃO NA COLETA DE DADOS DE MONITORAMENTO DE LABORATÓRIOS EM AMBIENTE EDUCACIONAL BASEADO EM INTERNET DAS COISAS (IOT)

Autores

Renan França Gomes Nogueira¹

Luís Fernando de Almeida²

Resumo

Este trabalho apresenta a viabilidade da aplicação de tecnologias ligadas à Internet das Coisas (IoT), Rede LoRa e o seu protocolo LoRaWAN, como veículos de comunicação entre sensores para o monitoramento de laboratórios de uma Instituição de Ensino Superior. O objetivo foi propor arquitetura genérica de IoT, de baixo custo e com garantia de disponibilidade dos dados, para automação do monitoramento de ambiente educacional com grande capilaridade e armazenamento dos dados em plataforma central, por meio de aplicação de Computação em Nuvem. Para tal, utilizou-se como métodos de abordagem a pesquisa qualitativa e, quanto ao procedimento utilizado para levantamento de dados, fez-se uso de estudo de caso por meio de uma PoC – *Proof of Concept*, que em português significa Prova de Conceito. Esse tipo de procedimento se propôs a estudar fenômeno ainda pouco explorado em seu contexto natural e provar o funcionamento da arquitetura proposta. De acordo com resultados e conclusão, restou demonstrado terem sido alcançados os objetivos apresentados, haja vista que todos os testes foram bem sucedidos. A aplicabilidade dessa automação será de grande importância para ações proativas e facilidade na gestão dos ambientes institucionais, além de garantir um ambiente mais seguro aos alunos.

Palavras-chave: Internet das Coisas. LoRa/LoRaWAN. Computação em Nuvem. Sensores. Monitoramento.

LOW COST ARCHITECTURAL PROPOSAL FOR AUTOMATION IN LABORATORY MONITORING DATA COLLECTION IN EDUCATIONAL ENVIRONMENT BASED ON INTERNET OF THINGS (IOT)

Abstract

This project presents the feasibility of applying technologies related to the Internet of Things (IoT), LoRa Network and its LoRaWAN protocol, as communication vehicles among sensors for tracking laboratories of a Higher Education Institution. The objective was to propose generic IoT architecture, with a low cost and with guaranteed data availability, for automation of the educational environment monitoring with great capillarity and storage of data on a central platform, through the application of Cloud Computing. For it, qualitative research approach methods were used and, as to the procedure used for data collection, a case study was used through a PoC - Proof of Concept. This kind of procedure was proposed to study a phenomenon still little explored in its natural context and to prove the functioning of the proposed architecture. According to its results and conclusion, it was demonstrated that the proposed objectives have been achieved, considering that all tests were successful. The applicability of this automation will be of great importance for proactive actions and ease in the management of institutional environments, besides ensuring a safer environment for students.

Keywords: Internet of Things, LoRa/LoRaWAN, Cloud Computing, Sensors, Tracking.

¹ Mestrando em Engenharia Mecânica do Programa de Pós-Graduação da Universidade de Taubaté – UNITAU, Professor e Coordenador de Curso Superior na Fatec Cruzeiro - Prof. Waldomiro May - e-mail: renan.nogueira@fatec.sp.gov.br

² Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual Paulista - UNESP, Professor e Coordenador da área de Automação do Mestrado em Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté - UNITAU - e-mail: luis.almeida@unitau.br

INTRODUÇÃO

Com o rápido desenvolvimento urbano e maior demanda para suprir as necessidades, seja na área da saúde, da educação, em cidades consideradas inteligentes ou em indústrias, um dos caminhos utilizados e que tem surtido resultados positivos, principalmente quanto à agilidade na comunicação entre equipamentos, com segurança dos dados e baixo custo, é a implantação de IoT (Internet das Coisas), como forma de sistematização e automação dos processos.

A IoT, termo originalmente americano para descrever “*Internet of Things*”, ou seja, Internet das Coisas, ainda que não seja um termo recente, uma vez que o conceito surgiu baseado em tecnologia RFID³ e redes *wireless*, já utilizadas com a vinda da *internet* para a sociedade, retrata uma infraestrutura de comunicação padronizada, em uma rede virtual dinâmica, na qual é possível a integração de objetos e pessoas oferecendo, aos objetos, a autonomia de se comunicarem entre si, sem a necessidade de pessoas. No que diz respeito aos objetos, entende-se que, antes, eram considerados possíveis a conexão apenas de computadores e que, com a evolução tecnológica, vários outros equipamentos puderam ser conectados a outros, inclusive controlados, sendo exemplos as TVs, eletrodomésticos, smartphones, entre outros equipamentos eletrônicos.

Com essa versatilidade, o alcance dos equipamentos eletrônicos de pequeno porte, por meio da inserção da IoT, veio a favorecer a conexão e sistematização de programas e processos como o gerenciamento escolar, na área educacional, de maquinários, na área industrial, de sistemas de irrigação em espaços agrícolas, de sistemas de iluminação em áreas urbanas etc.

Nota-se, assim, um crescimento expressivo de dispositivos de IoT – *Internet* das Coisas, conectados à rede. O número de conexões IoT massivas aumentou em um fator de três vezes em 2019, chegando a quase 100 milhões, conforme dados do Ericsson Mobility Report (2020).

Considera-se que, de fato, muitos estudos acadêmicos têm sido apresentados em busca de soluções de automatização na área da saúde, abrangendo questões a respeito de “Como manter seguras e organizadas as informações de um paciente?”, “A que ponto os equipamentos da área da saúde podem ser sistematizados para atender procedimentos básicos como, por exemplo, armazenar dados padrões de pacientes para agilizar um atendimento ou diagnóstico?”.

³ Sua composição se resume, basicamente, a uma antena, um transceptor e um transponder ou etiqueta de Rádio Frequência. O transceptor faz a leitura do sinal e transfere os dados para um dispositivo leitor, enquanto o transponder ou etiqueta contém o circuito de informações a ser transmitido.

Nesses aspectos, a implantação da IoT na área da saúde vai além da resolução desses problemas, podendo, até mesmo, otimizar exames e cirurgias, além de possibilitar também o controle inteligente dos leitos. Cabe aqui ressaltar a necessidade atual de gerenciamento da disponibilidade de equipamentos de proteção individual (EPIs), respiradores, leitos de Unidade de Terapia Intensiva (UTI), assim como dos plantões dos profissionais de saúde para suprimento dos hospitais públicos e de campanha, nessa época de pandemia da *Covid-19*.

Neste trabalho, como objetivo geral, buscou-se propor arquitetura genérica de IoT, de baixo custo, com alta disponibilidade, para automação do monitoramento de ambiente educacional, com grande capilaridade e armazenamento dos dados em plataforma central. Com isso, desenvolveu-se a metodologia, primeiramente pensada na implantação das IoTs, que são formadas, em sua maioria, por computadores simuladores da área industrial, como solda virtual e braço robótico, impressora 3D, Controlador Lógico Programável, para a comunicação *wireless* dos sensores, a fim de efetuar o monitoramento em tempo real de laboratórios com o armazenamento seguro dos dados coletados, por meio de ambiente *Cloud Computing*, o que pode favorecer, posteriormente, a emissão de relatórios importantes para o gerenciamento proativo dos ambientes, antecipando-se na ocorrência de falhas. Assim, o trabalho procurou responder o seguinte problema de pesquisa: De que forma pode-se garantir o monitoramento de ambientes de modo amplo, mas com coleta de dados central, por meio da automação do processo?

Por fim, para elaborar as hipóteses levou-se em consideração que a pesquisa adota a abordagem qualitativa. Segundo Sampieri; Collado; Lucio, (2014, p. 382) “As hipóteses de trabalho qualitativas são gerais ou amplas, emergentes, flexíveis e contextuais, adaptam-se aos dados e às mudanças no decorrer da pesquisa”. A pesquisa foi iniciada com as seguintes hipóteses levantadas:

- a) A tecnologia LoRa é indicada para interligar sensores IoT em ambientes distantes um do outro, com grande capilaridade, para monitoramento de laboratórios que simulam indústria 4.0, equipamentos de informática e laboratório de eventos;
- b) Os dados coletados pelos sensores são armazenados em ambiente central, em nuvem, utilizando aplicativos online para gerenciamento dos dados, garantindo a disponibilidade dos dados.

Alinharam-se a este trabalho, os seguintes objetivos específicos:

- Identificar a tecnologia LPWAN mais adequada para o projeto;

- Projetar arquitetura genérica de IoT, com alta disponibilidade e baixo custo para atender monitoramento de ambiente educacional;
- Adquirir, montar e configurar os equipamentos necessários para compor a rede;
- Fazer estudo de caso, com uma PoC - Prova de Conceito, em laboratórios na Fatec Cruzeiro - Prof. Waldomiro May, bem como implantar as aplicações na rede e verificar seu funcionamento;
- Coletar dados e armazená-los em plataforma central na *Cloud Computing*.

Este trabalho justificou-se também devido à necessidade do autor, que é professor da Fatec há quase 15 anos e atua como Coordenador de Curso/TI e acompanha a crescente dificuldade de monitoramento de laboratórios na instituição. Quanto aos benefícios à área educacional, a IoT pode possibilitar a redução de gastos e/ou otimizar o uso de recursos humanos para o monitoramento *in loco* dos ambientes de laboratório, podendo, inclusive, alertar antecipadamente sobre um possível problema. Além disso, a IoT na área educacional também pode beneficiar a segurança da Instituição, automatizando sistemas de alarmes e garantindo a segurança de discentes, docentes, auxiliares de docente, funcionários e todos que operam o laboratório.

Dessa forma, muito mais do que sistematizar e facilitar a comunicação entre objetos e pessoas, a IoT impacta positivamente nas questões ambientais, agregando valores de responsabilidade social, por monitorar bem público com baixo custo e agilizar processos.

A aplicação deste trabalho nos laboratórios da instituição limitou-se na aplicabilidade dessa tecnologia no referido ambiente educacional, por meio de uma PoC – Prova de Conceito, do inglês *Proof of Concept*, tendo seu foco principal na arquitetura do sistema e não no software de seu monitoramento, que é baseado em nuvem.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 IoT – Internet das Coisas

Inicialmente é importante destacar que o termo IoT - *Internet of Things* (Internet das Coisas), segundo Taivalsaari e Mikkonen (2017), não é um termo recente, mas sim algo com mais de duas décadas de existência. Inicialmente o conceito surgiu baseado em tecnologia RFID e redes wireless. Com o uso da IoT e da *Cloud Computing*, torna-se possível o envio de informações em tempo real de parâmetros ambientais e/ou referência geográfica de

equipamentos para um sistema de armazenamento na nuvem, baseado em serviços, permitindo que o gestor consiga acessar esses dados em qualquer lugar, auxiliando, se for o caso, o correto encaminhamento para determinado especialista na área. Por sua vez, esse novo especialista poderá recuperar todo o histórico de dados coletados, bem como decisões tomadas anteriormente, de modo extremamente rápido e assertivo. Conforme Pinto (2018), do ponto de vista de infraestrutura e gestão, a tecnologia IoT pode tornar os objetos mais eficientes e permitir que eles recebam atributos complementares, como aplicativos que associam as funções para as quais são designados. Para a adequação da infraestrutura existente ao conceito de IoT, é preciso entender os requisitos necessários para o seu desenvolvimento, conforme afirmação de Pinto (2018):

- a) Sensores: São os equipamentos responsáveis por fazer o trabalho crítico dos processos de monitoramento, medições e coletas de dados, enviando-os a um dispositivo central, que armazenará os registros. Um sensor converte parâmetros físicos em sinais que podem ser medidos eletronicamente;
- b) Conectividade: É realizada pelo próprio dispositivo por meio de uma rede *wireless* ou estação central, efetuando troca de mensagens e arquivos. Segundo Moraes (2017), a *Internet das Coisas* passa por três pontos: quantidade de endereços IP, espectro de rádio e padronização de protocolo;
- c) Processamento: Toda a coleta de dados deve ser enviada a um sistema de controle para que esses registros sejam transformados em informações e transmitidos ao usuário. Com a crescente demanda do processamento em tempo real, vem a utilização cada vez mais frequente dos serviços de *Cloud Computing*, disponibilizando as informações independentemente de sua geolocalização;
- d) Aplicação: Os dados gerados pela tecnologia IoT permitem que atividades decorrentes do uso de um dispositivo aconteçam de maneira mais rápida, por meio do próprio equipamento. Pode ser um alerta de segurança, uma solicitação de compra de insumos ou um aviso a um professor sobre seu aluno.

2.2 Redes LPWAN

LPWAN é a sigla de *Low Power Wide Area Network*, que traduzido para o português significa Rede de Área Ampla e Baixa Potência.

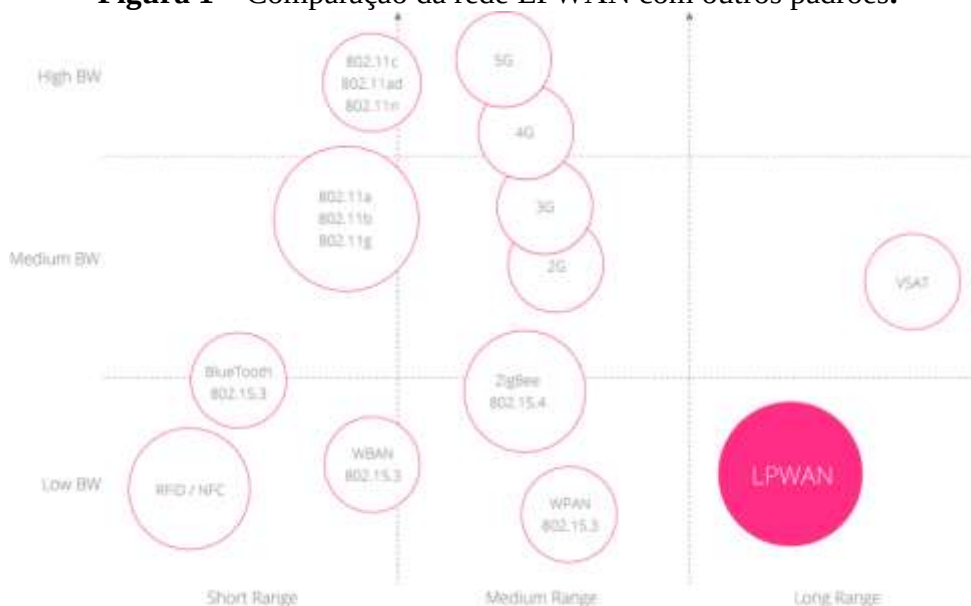
A empresa LinkLabs (2016) afirma que, apesar da LPWAN parecer uma tecnologia nova, ela já é bastante utilizada em outros dispositivos como Bluetooth, BLE e em menor grau nas redes WiFi e ZibBee. Trata-se de uma tecnologia adequada para quando há a necessidade de transmitir pequenas quantidades de dados em longo alcance, utilizando baterias com grande autonomia devido ao baixo consumo de energia.

Em determinadas aplicações, os dispositivos que utilizam tecnologias desse tipo têm baterias que podem durar por até 10 anos. Isto é possível tendo em vista que os dispositivos são raramente acionados, e quando são, transmitem pequenas quantidades de dados e logo em seguida são desligados. Os dados são enviados de modo intermitente e esporádico, haja vista que, dependendo da aplicação, as variáveis não mudam com tanta frequência. Principais Recursos:

- a) Longo Alcance: podem transmitir dados a mais de 10 km de distância, a depender da tecnologia que será utilizada;
- b) Baixa Taxa de Dados: podem ser transmitidos menos de 5.000 bits por segundo. Geralmente são enviados somente de 20 a 256 bytes de dados várias vezes ao dia;
- c) Baixo Consumo de Energia: os dispositivos que operam sob essa tecnologia podem ter baterias que duram entre 5 e 10 anos.

Na **Figura 1** pode ser observada a comparação de redes LPWAN frente a outras redes disponíveis no mercado. Nota-se a baixa capacidade para transferência de dados e grande capacidade para transmissão de dados em longas distâncias.

Figura 1 – Comparação da rede LPWAN com outros padrões.



Fonte: Waviot (2020)

2.3 Tecnologia LoRa

Segundo Bertoleti (2019), tendo em vista o crescimento da necessidade de equipamentos se conectarem entre si, bem como conexão direta com a internet, surge a necessidade de melhorar a conexão dos equipamentos com pontos centrais, os chamados Gateways, estabelecendo comunicações sem interferências, com longo alcance e consumindo menos energia. Portanto, a tecnologia LoRa surge para responder por essa demanda do mercado, sendo aliada da Internet das Coisas.

Afirmam Chaudhari e Zennaro (2020), que LoRa é o nome dado à camada física da tecnologia, enquanto LoRaWAN trata da camada lógica. LoRa é de propriedade da Semtech tecnologia, e não é totalmente aberto. LoRa, portanto, está ligado à tecnologia de rádio e enlace de rádio, já a LoRaWAN faz referência ao protocolo que o software utiliza para a comunicação, sendo esse último um padrão aberto, permitindo desenvolver uma rede completa com gateway, endereçamento de dispositivos, controle de colisão, entre outros.

O termo LoRa significa long range, que em português quer dizer longo alcance. Essa é uma das importantes características da tecnologia, que, além disso, opera com baixo consumo de energia elétrica. Trata-se de tecnologia com certa imunidade a interferências, por operar com frequências sub-gigahertz. Nos Estados Unidos e América, opera de 902MHz até 928MHz, na Europa, de 863MHz até 870MHz e na China, de 779MHz até 787MHz.

De acordo com Bertoleti (2019), o rádio LoRa pode compor uma rede de dispositivos, formando uma LPWAN. Sob o ponto de vista de topologias de rede, a tecnologia opera na topologia estrela, haja vista que envia seus dados a um gateway, que opera como o concentrador de comunicação, e possui um ou mais nós, que são os dispositivos finais, compostos por rádios e sensores/atuadores. Ainda de acordo com Bertoleti (2019), com relação aos tipos de fluxo de dados permitidos, LoRa pode operar de três formas:

- a) Simplex: nessa configuração, um rádio somente transmite dados e outros somente recebem. É um tipo de comunicação que ocorre em via única entre o concentrador e os nós;
- b) Half-duplex: aqui todos os rádios podem transmitir e receber dados, mas nunca simultaneamente no mesmo instante de tempo. Em determinado instante, ele envia dados e no outro, recebe, mas jamais ao mesmo tempo;
- c) Full Duplex: por fim, nessa comunicação, os rádios podem transmitir ou receber dados simultaneamente.

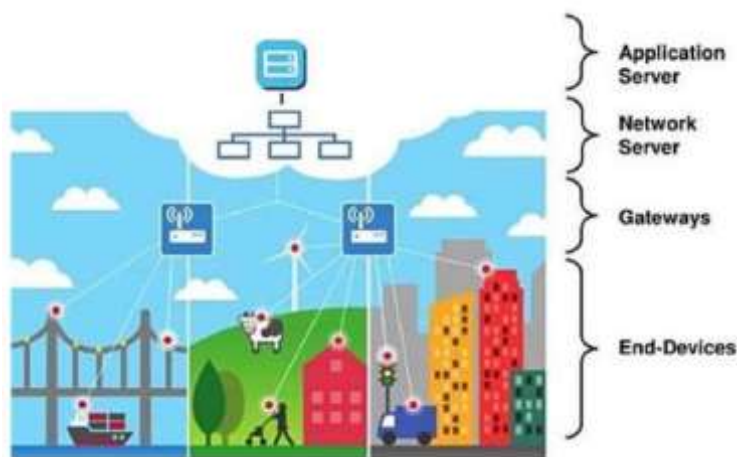
2.4 Protocolo LoRaWAN

Conforme abordado no tópico anterior, cumpre destacar novamente que LoRa é uma tecnologia de rádio e enlace de rádio para comunicação a longas distâncias com baixo consumo de energia elétrica. Já LoRaWAN, é um protocolo rede na camada de software que utiliza a tecnologia LoRa como camada física para transmissão dos dados.

Segundo Bertoleti (2019), LoRaWAN é um padrão não proprietário, que permite projetar uma rede completa, desde o endereçamento dos dispositivos, configuração do gateway, mecanismos de anti-colisão de pacotes, criar rotas, bem como todos os requisitos necessários para criação de uma rede completa. Assim como outros protocolos, o LoRaWAN implementa na conexão os detalhes de funcionamento relativos à segurança, QoS - qualidade do serviço, ajustes de potência dos nós com vistas a otimizar o consumo de energia. Esse protocolo utiliza LoRa como canal de transmissão, estruturando a rede de modo que a comunicação seja estabelecida.

Por fim, o protocolo LoRaWAN abrange também a camada de aplicações, haja vista que os dados são recebidos no *gateway*, quando então são encaminhados para uma rede de servidores, que por sua vez, mediante tomadas de decisão automáticas, armazenam os dados nos servidores de aplicação, conforme pode ser observado na **Figura 2**.

Figura 2 – Arquitetura de uma rede LoRaWAN.



Fonte: Bertoleti (2019)

Para o projeto em questão, foi escolhida a tecnologia LoRa, tendo em vista os seguintes aspectos:

- a) Bom alcance do sinal e baixo consumo de energia elétrica;

- b) Imunidade a interferências, tendo em vista que coletará dados próximos a equipamentos industriais;
- c) Liberdade de configuração do *gateway* sem o uso de operadoras; e
- d) Baixo Custo de todos os componentes.

2.5 Cloud Computing como ferramenta para coleta de dados em IoT

Conforme Taivalsaari e Mikkonen (2017), apesar da grande gama de plataformas de IoT disponíveis na atualidade, os conceitos por trás da sua "arquitetura" são, de certo modo, comuns. A arquitetura *end-to-end* possui, em geral, elementos padrões que podem ser considerados como as ferramentas para aplicação da internet das coisas. A computação em nuvem (ou *cloud computing*) é uma metáfora, tendo em vista que normalmente a *internet*, em diagramas de rede, é representada por uma nuvem. A função da computação em nuvem, segundo Elsenpeter (2013), é fazer com que tudo se concentre nos projetos estratégicos, inclusive na redução de custos, mas não em preocupar-se em manter um *data center* em operação.

A *Cloud Computing* é hoje componente essencial para a utilização de Software como Serviço, Plataforma como Serviço e Infraestrutura como Serviço. É com base nessas classificações que as empresas utilizam o sistema de nuvem para reduzir custos, como alternativa à implantação de servidores e centro de processamento de dados, cenário esse último que possui gastos elevados com equipamentos, sistema de refrigeração, combate a incêndio e outros.

Por fim, outro aspecto que vai ao encontro do presente artigo versa sobre a alta disponibilidade por meio de ambientes virtualizados redundantes. Dois ou mais servidores podem ser alocados para que garantam a disponibilidade na ocorrência de um problema em um dos recursos. A virtualização de redundância em sistemas de computação em nuvem pode garantir que a informação seja clonada em um mesmo servidor ou em outros servidores físicos espalhados pela Internet, afirma Elsenpeter (2013).

Segundo Miller (2017), a informação coletada pelos sensores que envolvem a IoT, pode ser transmitida para um serviço de computação em nuvem, que tem como responsabilidade coletar e analisar os dados para posterior tomada de decisão, por meio da análise dos dados coletados.

Nesse modo, diante da preocupação em manter os dispositivos IoT funcionando em

100% do tempo, por meio de uma rede compartilhada e cooperativa com sensores que demandam consumo de energia, buscou-se a utilização de redes que mantenham esses equipamentos em funcionamento com baterias e/ou fontes de energias compactas, ao mesmo tempo garantindo baixo consumo e com grande autonomia.

Nota-se, portanto, ainda conforme Taivalsaari e Mikkonen (2017), que apesar da grande gama de plataformas de IoT disponíveis na atualidade, os conceitos por trás da sua "arquitetura" são, de certo modo, comuns. A arquitetura *end-to-end* possui, em geral, elementos padrões, como os Dispositivos, que podem ser classificados como os sensores que coletam os dados. Os *Gateways*, que são os dispositivos responsáveis pela coleta, processamento e transferência dos dados. A *Cloud*, que armazena o grande volume de dados coletado pelos sensores e, por fim, os Apps, que provém o acesso e a interação com a informação.

3 MÉTODO DE PESQUISA

Este item apresenta a metodologia adotada na pesquisa, pontuando como foi realizada, quais os passos e escolhas adotadas, que conduziram aos objetivos apresentados na introdução do trabalho. Com relação à abordagem, a pesquisa é qualitativa, tendo em vista que foram levantados dados de intensidade de sinal com o uso de *software* aplicativo para medir se o dispositivo transmitiu ou não o sinal, independentemente da escala de decibéis medidos nos experimentos realizados em todos os ambientes que se desejou monitorar.

Já quanto à epistemologia, ou seja, a forma como o fenômeno foi compreendido, trata-se de conceito positivista, haja vista que os resultados obtidos podem ser interpretados do mesmo modo por todos os "atores" envolvidos no projeto, por meio da aplicação da prova de conceito da arquitetura proposta. Quanto à natureza, vislumbra-se aqui pesquisa aplicada, por ter sido desenvolvida na prática para a solução de problemas reais.

No que diz respeito à análise dos dados, caracterizou-se como pesquisa explicativa, haja vista que foram identificados os fatores, ligados à tecnologia escolhida, que determinaram ou contribuíram para a ocorrência dos fenômenos identificados, quais sejam, a comunicação dos sensores com os *gateways*, a não interferência no sinal e o baixo consumo de energia.

Por fim, quanto ao procedimento utilizado para levantamento de dados, fez-se uso de estudo de caso, por meio de uma *PoC – Proof of Concept*, que em português significa Prova de Conceito. Esse tipo de procedimento se propôs a estudar fenômeno ainda pouco explorado em seu contexto natural.

3.1 Estudo de Caso: PoC – Prova de Conceito

Como forma de demonstrar, na prática, a metodologia e validar a arquitetura projetada, com os respectivos conceitos e tecnologias selecionados, optou-se por desenvolver uma PoC, que será descrita com detalhes nos próximos tópicos. De acordo com Silva (2014), Prova de Conceito, do inglês *Proof of Concept* (PoC), faz referência a um termo que se relaciona a modelo prático que pode provar o conceito estabelecido por pesquisas e a respectiva seleção de tecnologia.

A PoC proposta neste trabalho, partirá da premissa da abordagem *Top Down*, que começa por uma abordagem geral da arquitetura e desce até níveis específicos, envolvendo conceitos de protótipo, definições dos testes, construção dos aplicativos embarcados nos nós e *gateway* e respectiva análise dos resultados obtidos.

3.2 Local de Execução da PoC

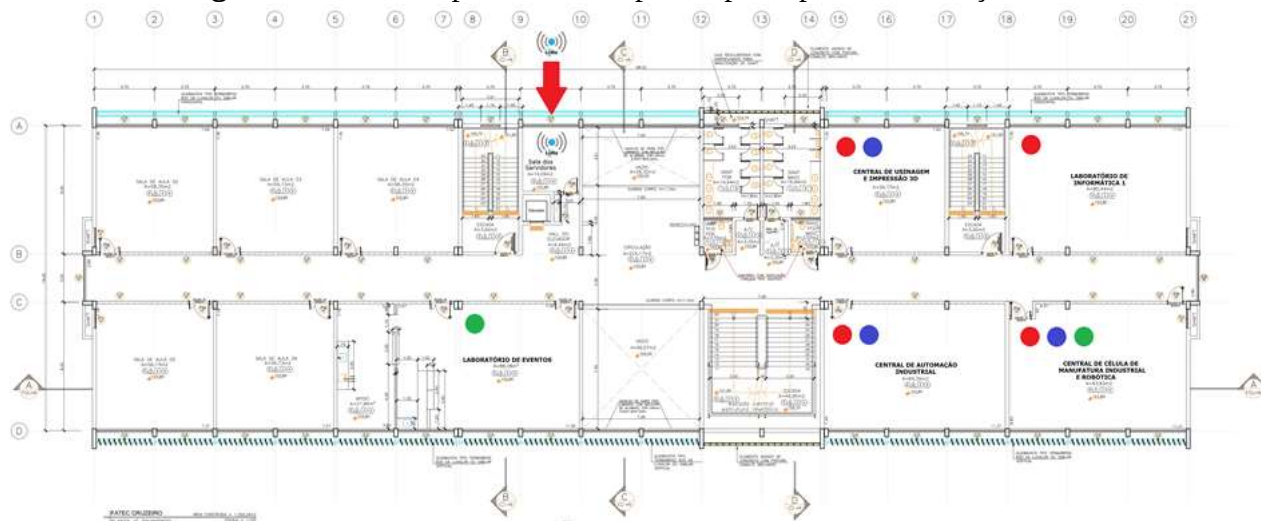
O projeto foi executado em uma IES – Instituição de Ensino Superior, que dispõe de laboratórios de informática, industriais e eventos para uso de toda a comunidade acadêmica. A IES Fatec Cruzeiro – Prof. Waldomiro May, localizada na cidade de Cruzeiro/SP, iniciou suas atividades letivas em fevereiro de 2006 e atualmente operam na faculdade quatro cursos de Graduação, quais sejam Análise e Desenvolvimento de Sistemas, Eventos, Gestão da Produção Industrial e Gestão Empresarial.

Pretende-se levar a proposta aqui apresentada para o Centro Paula Souza, a fim de que seja feita a análise da possibilidade de implantação da arquitetura nas outras unidades do estado.

3.3 Ambientes de aplicação da PoC

A PoC foi aplicada em laboratórios industriais, informática e eventos, que são utilizados por docentes e discentes da unidade educacional, junto aos cursos de graduação e extensão. Nos laboratórios estão alocados equipamentos que simulam indústria 4.0, de informática, infraestrutura de redes e laboratório de eventos, local onde são simulados e organizados eventos na unidade. Nas **Figuras 3 e 4** pode ser verificada a alocação exata de cada dispositivo e na **Figura 5**, o rack onde foi instalado o gateway de comunicação LoRa e locais de alocação de sensores e atuadores.

Figura 3 – Primeiro pavimento do prédio principal da instituição.



Localização - nós, sensores e gateway - 1º Pavimento - Laboratórios:

- Central de Usinagem e Impressão 3D ●●
- Informática 1 ●
- Central de Automação Industrial ●●
- Célula de Manufatura Industrial e Robótica ●●●
- Eventos ●

- Gateway LoRa: ((●))

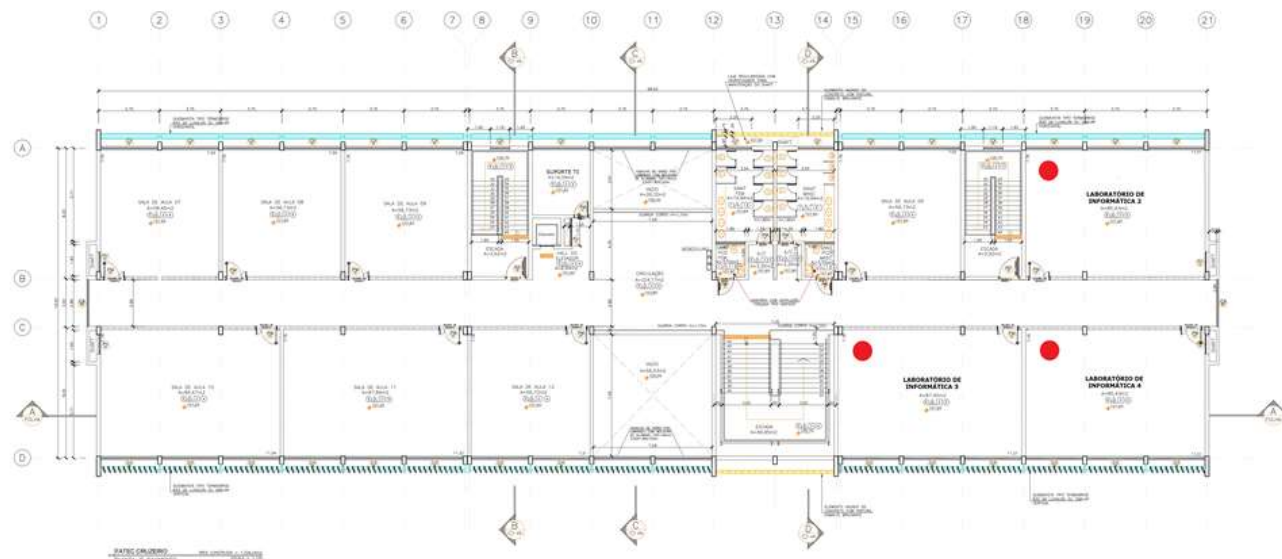


Legenda:

- Sensor de Temperatura e Umidade ●
- Sensor de Gases ●
- Sensor de Nível de Ruído ●

Fonte: O Autor.

Figura 4 – Segundo pavimento do prédio principal da instituição.



Localização - nós e sensores - 2º Pavimento - Laboratórios:

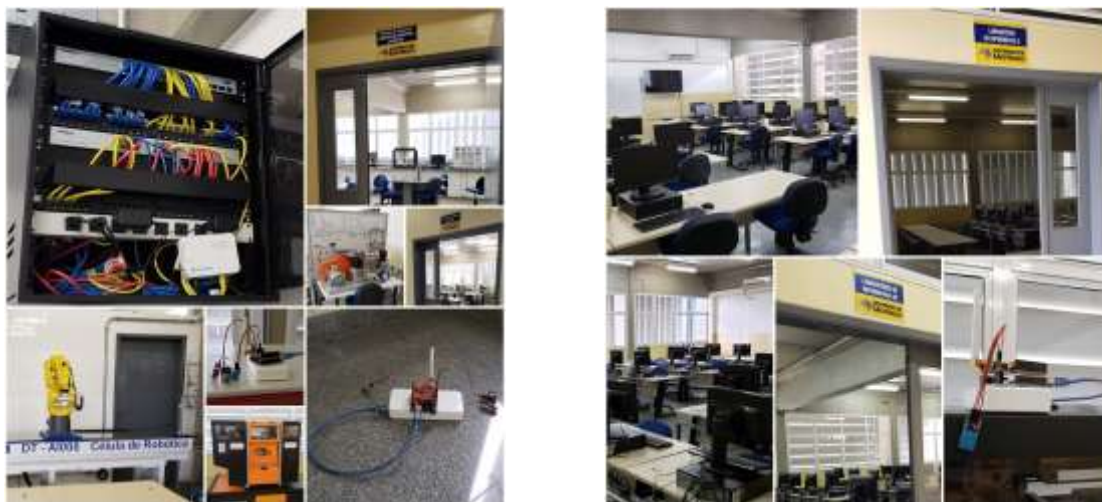
- Informática 2 ●
- Informática 3 ●
- Informática 4 ●

Legenda:

- Sensor de Temperatura e Umidade ●

Fonte: O autor.

Figura 5 – Rack onde foi instalado o *gateway* de comunicação LoRa e locais de alocação de sensores e atuadores.



Fonte: O autor.

3.4 Arquitetura Genérica Proposta

Nesta seção é apresentada a arquitetura genérica de implantação do projeto, conforme **Figura 6**. Na figura podem ser verificados os componentes de IoT que utilizam a tecnologia LoRa. São nós de transmissão, sensores/atuadores e por último o *gateway*, que tem a responsabilidade de receber o sinal oriundo dos nós. A arquitetura foi conectada à rede preexistente da unidade, por meio de um *switch*, que encaminha os dados para um roteador que por sua vez entrega os dados para a nuvem de *internet*.

Figura 6 – Arquitetura genérica de baixo custo para a PoC.



Fonte: O autor.

3.5 Dispositivos utilizados na arquitetura proposta

São elencados e descritos aqui todos os dispositivos, de baixo custo, utilizados na montagem da arquitetura genérica do projeto. Foi adquirido o kit “LoRa IoT Development”, da empresa Dragino (2020), o qual foi utilizado para a realização dos testes dessa automatização.

3.5.1 Nó - Dragino LoRa Node Shield V1.4

É um nó transceptor de longo alcance, baseado em biblioteca de código aberto, compatível com Arduino. Permite enviar dados e alcançar faixas extremamente longas com baixas taxas de dados. Baseia-se no chip Semtech SX1276/1278. Vide **Figura 7**.

Figura 7 – Transceptor LoRa.



Fonte: Dragino (2020)

3.5.2 Nó - Dragino LoRa Node Shield GPS V1.4

Idem ao nó convencional, descrito no tópico anterior, mas com a função de GPS adicionada por meio de um chip L80 GPS, baseado no MTK MT3339. Podem ser armazenados dados de até 3 dias na memória interna. Vide **Figura 8**.

Figura 8 – Transceptor LoRa com função GPS.



Fonte: Dragino (2020).

3.5.3 Gateway - Dragino LG01-P

Trata-se de um *gateway* de código aberto e utiliza Linux (Open Wrt System – openwrt.org). Permite conexão direta a uma rede Wi-Fi, Ethernet ou 3G/4G, o que, desse modo, torna possível levar para a *internet* qualquer sensor conectado a um nó LoRa. Vide **Figura 9**.

Figura 9 – Gateway concentrador, receptor e transmissor de sinais LoRa.



Fonte: Dragino (2020).

3.5.4 Arduino UNO Rev3

É um microcontrolador baseado no chip ATmega328P. Possui 14 entradas e saídas digitais e 6 entradas analógicas. Flash: 32 KB, SRAM: 2 KB, EEPROM: 1 KB, Clock 16 MHz. Tem a função de conexão do transceptor rádio LoRa, disponibilizando ao projeto as entradas e saídas analógicas e digitais para conexão aos sensores e atuadores. Vide **Figura 10**.

Figura 10 – Microcontrolador para integração com o rádio LoRa.



Fonte: Dragino (2020).

3.5.5 Sensores/Atuadores

Para o desenvolvimento do projeto, foram utilizados sensores e/ou atuadores de controle de temperatura, umidade do ar, gases, nível de ruído, distância, relé, obstáculo e emissor de som. Vide **Figura 11**.

Figura 11 – Sensores e atuadores utilizados no projeto.



Fonte: Dragino (2020).

3.6 Custo dos Equipamentos

Visando contemplar um dos objetivos propostos no trabalho, buscou-se por equipamentos de baixo custo. Os equipamentos foram importados por meio de Loja Nacional - Radek Information Systems, em Curitiba/PR e o kit teve um custo total de R\$ 1.220,55. O kit é composto por 1 nó LoRa, 1 nó LoRa GPS, 1 Gateway, 10 Sensores, 30 Conectores, 2 Arduino UNO.

3.7 Coleta de Dados

Os dados obtidos no teste realizado por meio da PoC têm como objetivo identificar se a arquitetura genérica projetada consegue entregar corretamente todos os parâmetros obtidos pelos sensores, que, uma vez armazenados na aplicação em nuvem, serão posteriormente transformados em informação. Essa informação é observada e validada pelo pesquisador ou por qualquer recurso humano ligado ao gerenciamento dos ambientes monitorados.

Tendo em vista que o objeto geral da pesquisa gira em torno da validação da arquitetura, não há que se preocupar com dados que projetem estatísticas ou sejam quantificados, entretanto deverão ser observados e compreendidos para que validem ou não a coleta destes por meio da arquitetura, e que estes sejam possíveis de serem armazenados em ambiente central em nuvem, gerando então o conhecimento e respondendo ao problema de pesquisa, já destacado na introdução deste trabalho.

O sistema foi observado em seu pleno funcionamento como um todo, de modo a comprovar qualitativamente se a proposta inicial foi alcançada com êxito. Os sensores foram

acionados simultaneamente e os parâmetros foram enviados pelo nó LoRa para o *gateway* central, que por sua vez encaminhou os parâmetros para a aplicação em nuvem, armazenando os mesmos de modo centralizado e em determinadas aplicações, gerando até mesmo gráficos interpretativos, que poderão ser melhor ajustados em possibilidades de trabalho futuro.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta parte, demonstram-se os testes realizados e resultados, benefícios e abrangência da aplicabilidade dessa tecnologia. Os testes foram executados em laboratórios localizados no primeiro e segundo pavimentos, conforme já documentado e evidenciado no tópico anterior do trabalho. Além disso, com a finalidade de comprovar a abrangência capilar da tecnologia, foi realizado, por fim, teste no ponto mais distante do *gateway* ao nó, com 160 metros de distância.

4.1 Comunicação do nó com o *gateway*

Conforme já descrito, o terreno da instituição tem 12.803,00 m² e área construída total de 5.155,18 m², composto por térreo e mais dois pavimentos no prédio central, local onde foi aplicada a PoC e outro prédio anexo, onde ficam localizados a cantina, cozinha, auditório e camarim.

Na Tabela 3 é possível verificar os resultados dos testes realizados. Os sensores e atuadores foram acionados simultaneamente, de modo que os dados coletados foram enviados para o *gateway*. Os parâmetros enviados para o *gateway* foram de temperatura, umidade do ar, gases, nível de ruído, distância e obstáculo. Já no caminho inverso, com a função de atuadores, foi acionado à distância relé e emissor de som.

Tratando-se de uma pesquisa com metodologia qualitativa, não foi criada escala para medir o status do sinal coletado e tampouco foram utilizados dados estatísticos da comunicação dos nós com o *gateway*.

Para medir o sinal e identificar se o dispositivo conseguiu enviar com sucesso os dados coletados pelos sensores, foi desenvolvido script em linguagem de programação C. O script enviou para o *gateway* o nome do nó, intensidade do sinal em decibel miliwatt e resposta de envio/recepção do sinal se positivo ou negativo.

O nó mais próximo estava há 25,5 metros e o mais distante há 160 metros de distância até o *gateway* responsável por coletar os dados. Os detalhes para cada ambiente monitorado podem ser observados na **Tabela 1**.

Tabela 1 – Resultados dos testes realizados com arquitetura genérica na PoC.

a) Pavimento 1: Laboratório Célula de Manufatura Industrial e Robótica

- Sensor Cel Manuf Ind Rob - Pav 1
- RSSI -90 dBm (decibel miliwatt)
- Distância do nó: 60,25 Metros
- Status do sinal: 100%

b) Pavimento1: Laboratório Central de Usinagem e Impressão 3D

- Sensor Cent Usin Imp 3D - Pav 1
- RSSI -69 dBm (decibel miliwatt)
- Distância do nó: 34,25 Metros
- Status do sinal: 100%

c) Pavimento 1: Laboratório de Informática 1

- Sensor Lab Info 1 - Pav 1
- RSSI -91 dBm (decibel miliwatt)
- Distância do nó: 49,25 Metros
- Status do sinal: 100%

d) Pavimento 1: Laboratório Central de Automação Industrial

- Sensor Cent Aut Ind - Pav 1
- RSSI -77 dBm (decibel miliwatt)
- Distância do nó: 49 Metros
- Status do sinal: 100%

e) Pavimento 1: Laboratório de Eventos

- Sensor Lab Eventos - Pav 1
- RSSI -71 dBm (decibel miliwatt)
- Distância do nó: 26,5 Metros
- Status do sinal: 100%

f) Pavimento 2: Laboratório de Informática 2

- Sensor Lab Info 2 - Pav 2
- RSSI -88 dBm (decibel miliwatt)
- Distância do nó: 54,25 Metros
- Status do sinal: 100%

g) Pavimento 2: Laboratório de Informática 3

- Sensor Lab Info 3 - Pav 2
- RSSI -92 dBm (decibel miliwatt)
- Distância do nó: 54 Metros
- Status do sinal: 100%

h) Pavimento 2: Laboratório de Informática 4

- Sensor Lab Info 4 - Pav 2
- RSSI -81 dBm (decibel miliwatt)
- Distância do nó: 65,25 Metros
- Status do sinal: 100%

i) Pavimento Térreo: Medição do sinal no ponto mais distante do Gateway

- Sensor Extremo
- RSSI -95 dBm (decibel miliwatt)
- Distância do nó: 160 Metros
- Status do sinal: 100%

Fonte: O autor.

4.2 Aplicações de Cloud Computing

Após a aquisição dos dados pelo *gateway*, esses são enviados para um servidor em nuvem, que é responsável por armazená-los. As aplicações em nuvem recebem, via requisição ou então de forma automática, os pacotes de dados enviados pelo gateway. Conforme descrito na fundamentação, o protocolo LoRaWAN contempla a camada de aplicações e, portanto, vai ao encontro de um dos objetivos deste trabalho, que é armazenar os dados em ambiente central.

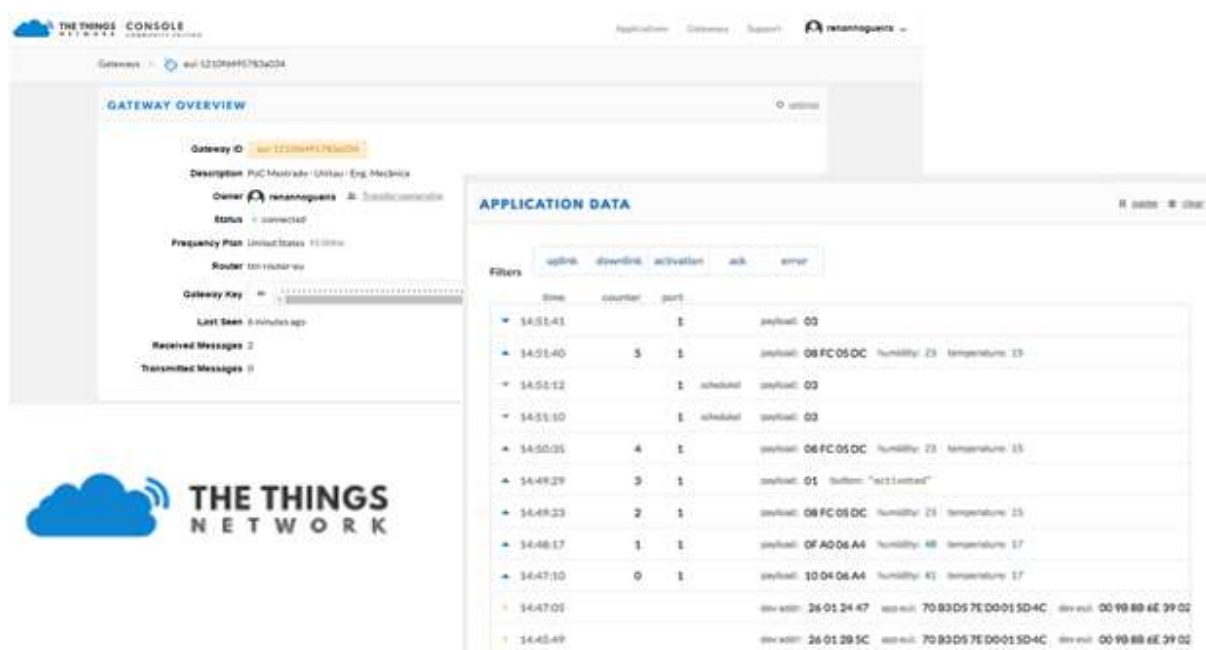
No projeto foram utilizadas três aplicações em nuvem, quais sejam TTN – *The Things Network*, *Thingspeak* e GPS Wox.

4.2.1 TTN – The Things Network

Segundo informações do próprio site TTN (2020), a aplicação em nuvem fornece diversas ferramentas abertas acessíveis de maneira global para criar aplicações de IoT, garantindo segurança e escalabilidade para implementar novas funcionalidades e atender a grandes volumes de dados. A ferramenta é gratuita.

Conforme pode ser verificado na **Figura 12**, a ferramenta foi utilizada para coletar os dados obtidos por meio dos sensores e armazená-los em ambiente central com controle de acesso, garantindo a confidencialidade, integridade e disponibilidade da informação.

Figura 12 – Captura e armazenamento de dados do projeto.



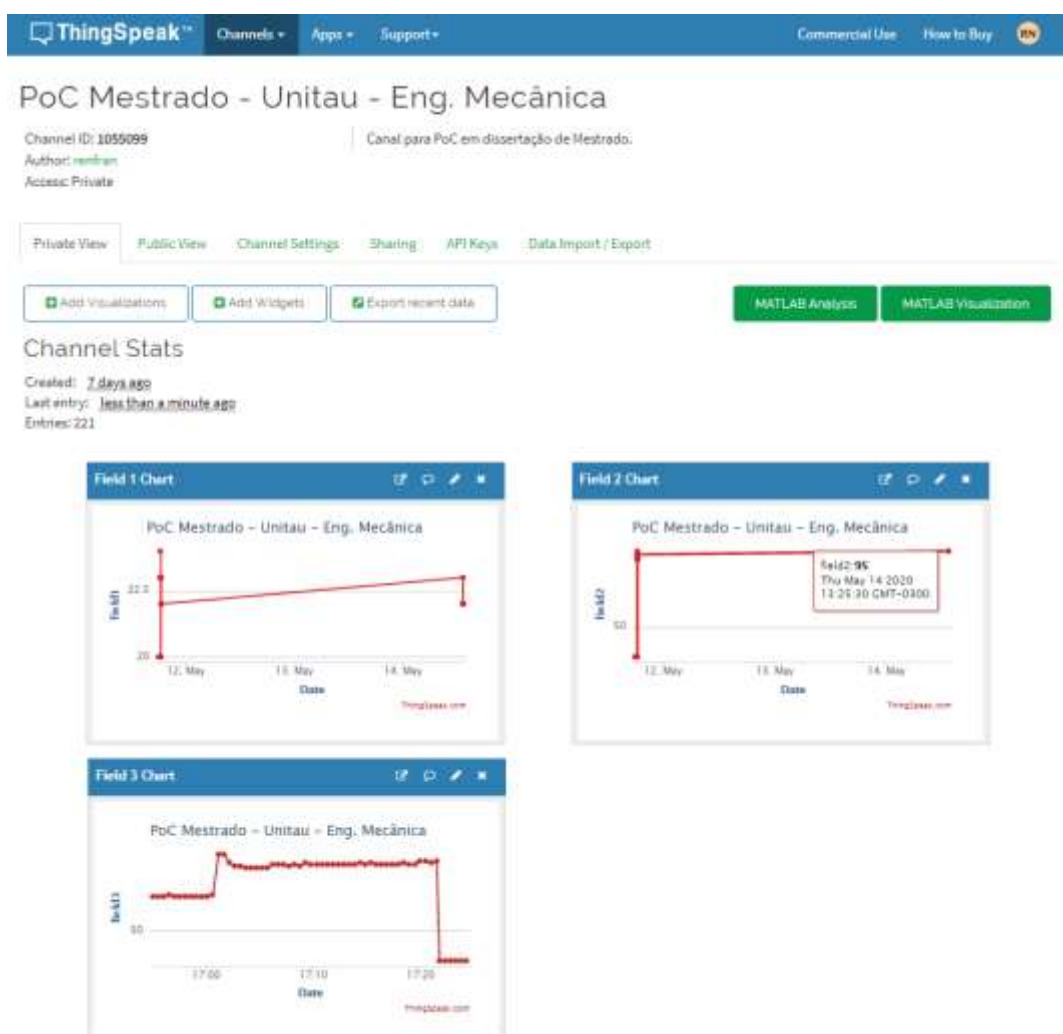
Fonte: TTN (2020)

4.2.2 Thinkspeak

Conforme o site THINGSPEAK (2020), além de armazenar dados de IoT, a plataforma permite gerar análises mais complexas em tempo real, totalmente em nuvem. Além disso, o ambiente permite criar alertas e enviar ações para os atuadores ligados aos nós de IoT. A ferramenta também é gratuita.

A plataforma em questão tem características semelhantes à TTN, entretanto foi a que mais se adequou ao projeto, tendo em vista que, além de armazenar os dados em ambiente central e disponibilizá-los a qualquer usuário via ambiente em nuvem, a aplicação disponibiliza a visualização dos dados em gráficos, conforme pode ser observado na **Figura 13**, bem como possui a funcionalidade de emitir alertas e enviar comandos para os atuadores conectados ao sistema.

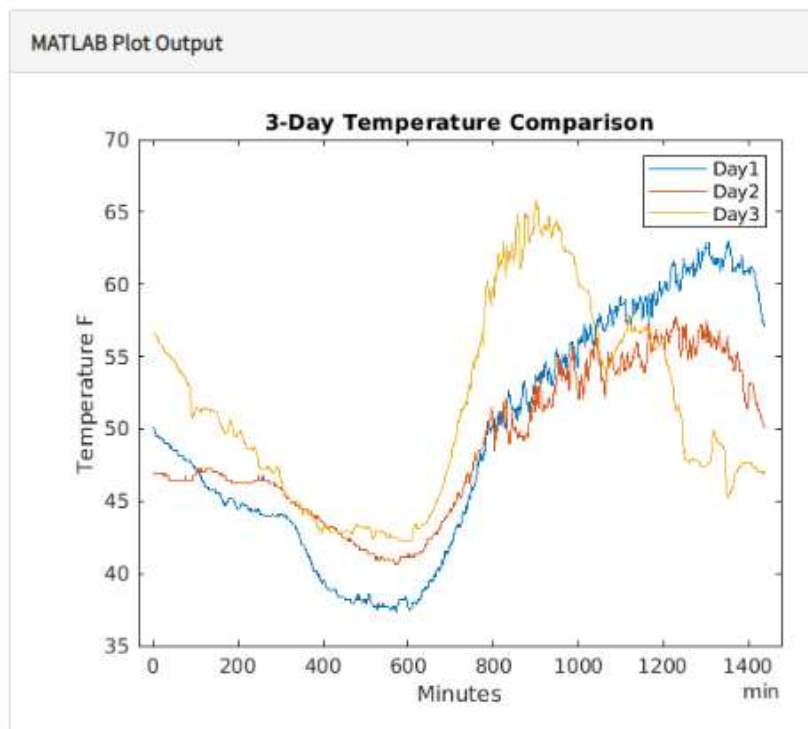
Figura 13 – Captura, armazenamento de dados e disponibilização em formato de gráficos.



Fonte: THINGSPEAK (2020)

Por fim, vide **Figura 14**, em que a aplicação permite que seja executada a função MATLAB nos dados coletados pelo *ThingSpeak*, de modo que seja possível executar a análise e processar os dados à medida que são coletados, comparando com o histórico de dados para auxiliar o usuário na tomada de decisão. Essa possibilidade será, inclusive, pontuada na conclusão do trabalho, no tópico sobre possibilidade de trabalhos futuros.

Figura 14 – Captura, armazenamento de dados e gráficos plotados utilizando a ferramenta MATLAB.



Fonte: THINGSPEAK (2020)

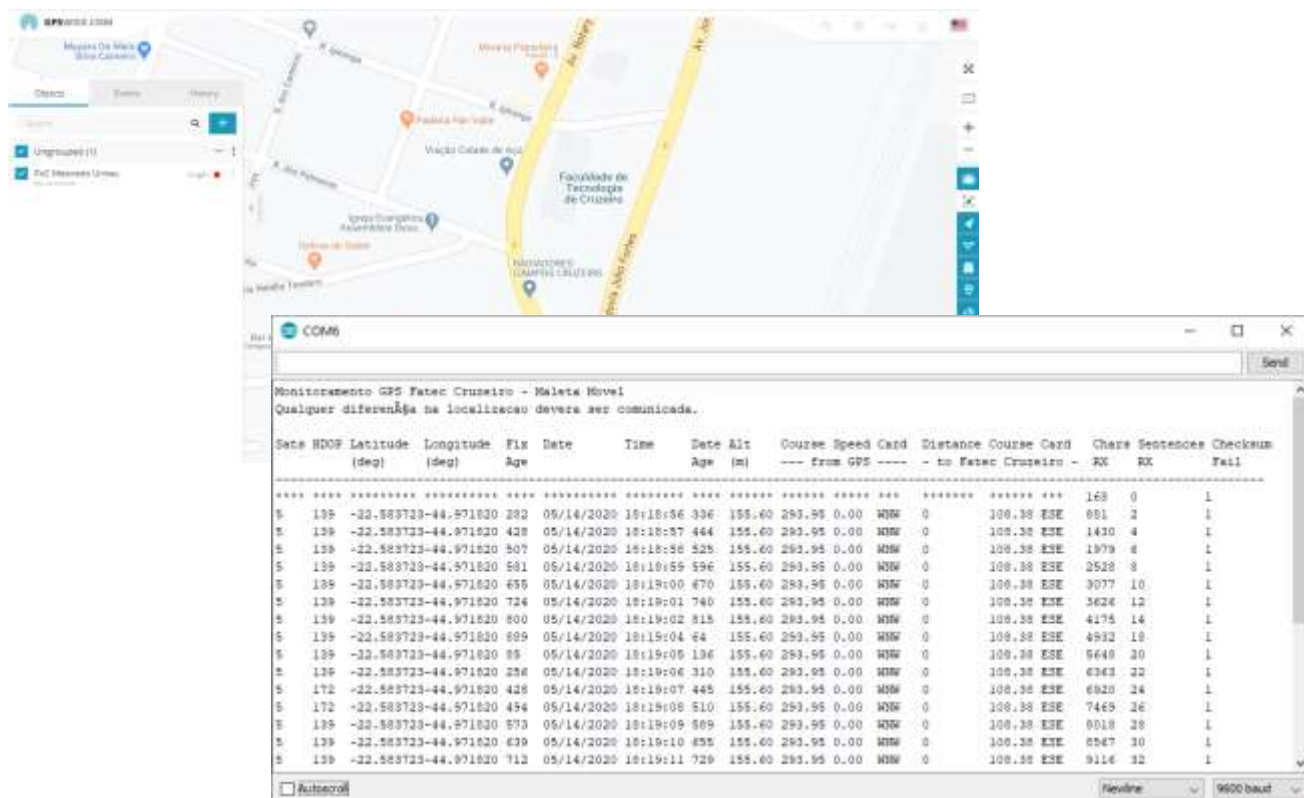
4.2.3 GPS Wox

Este ambiente trata da coleta, armazenamento e projeção utilizando mapas, em tempo real, das posições coletadas por meio do nó LoRa com suporte a GPS – Sistema de Posicionamento Globo de dispositivos. Segundo o desenvolvedor WOX (2020), o ambiente garante o rastreamento e gerenciamento de objetos em tempo real, de modo que seja possível coletar notificações configuradas, gerar relatório de localização e histórico de locais por onde o objeto passou nos últimos minutos, horas, dias, semanas e até meses. O sistema é compatível com a maioria dos dispositivos que dispõe de rastreamento por GPS e é gratuita para o que se necessita para o projeto.

Conforme pode ser observado na **Figura 15**, foram coletados dados como latitude, longitude, data, horário, altitude, velocidade de deslocamento, rota e distância do ponto inicial

de origem que foi pré-estabelecido via script, desenvolvido em linguagem C. Os dados, por sua vez, são enviados para o sistema WOX e disponibilizados no mapa do ambiente de modo a facilitar a interpretação e visualização em tempo real.

Figura 15 – Captura, armazenamento de dados e visualização no mapa.



Fonte: WOX (2020)

Com a utilização das ferramentas apresentadas, foi possível concluir com êxito um dos objetivos previstos no trabalho que é de automatizar a coleta e armazenar os dados em ambiente central, garantindo a disponibilidade da informação.

CONCLUSÕES

O trabalho apresentado buscou propor arquitetura genérica de IoT de baixo custo, com alta disponibilidade, para automação do monitoramento de ambiente educacional, com grande capilaridade e armazenamento dos dados em plataforma central. Com base na análise de quatro tecnologias mais utilizadas, foi escolhida como resultado da pesquisa a tecnologia LoRa devido ao bom alcance e baixo consumo de energia elétrica, imunidade a interferências, liberdade de configuração do gateway sem o uso de operadoras e por fim, seu baixo custo de implantação.

Tecnologias como a LoRa tem auxiliado a transmissão de dados em tempo real, aliado

ao baixo consumo de energia. Tais benefícios têm feito com que os projetos nessa área se tornem cada vez mais viáveis.

No presente trabalho, diversas ferramentas de engenharia de requisitos foram utilizadas como apoio no desenvolvimento do projeto e na forma de estudo das principais tecnologias que envolvem recursos necessários para a garantia da coleta eficiente de parâmetros de laboratórios, com baixo custo e de modo centralizado. Nesse sentido, o uso das ferramentas foi essencial para levantar os requisitos do sistema e suas características, bem como para prever situações de possíveis problemas e suas funcionalidades.

Conclui-se, com base no que foi exposto, que a PoC pôde evidenciar, documentalmente, que o projeto pode ser bem sucedido e cumpriu todos os objetivos. Além disso, foi importante para identificar qualquer erro técnico que possa interferir no funcionamento do sistema como um todo.

A possibilidade da utilização de sistemas desse tipo, para monitoramento remoto, está cada vez mais presente no nosso cotidiano graças ao uso de tecnologias sem fio consagradas como Bluetooth, Wi-Fi, RFID, Redes 4G e futura 5G, ZigBee, entre outras. Aproveitando de partes dessas tecnologias, que, conforme dito, são consagradas, a IoT possibilitou a criação de muitas aplicações e soluções inteligentes, que não só possibilitarão a automação de processos em ambientes educacionais, como também de diversos setores da economia com abrangência global nos próximos anos.

Por último, como trabalhos futuros, pretende-se apresentar a proposta de solução para o Centro Paula Souza, a fim de propor a implantação do projeto nas outras 72 unidades de Fatec. Isso porque existe a consideração de que os ambientes em nuvem têm auxiliado na rápida tomada de decisão com base no eficiente armazenamento e recuperação desses, por armazenarem de modo centralizado os parâmetros obtidos por sensores em um sistema de IoT. Assim é que se sugere a criação de aplicações para análise em tempo real dos dados, utilizando técnicas de Inteligência Artificial para auxiliar usuários na interpretação dos parâmetros coletados e a respectiva tomada de decisão mais assertiva e proativa.

REFERÊNCIAS

- BARLOW, Mike. *Governing the IoT: Balancing Risk and Regulation*. Sebastopol: O'Reilly Media, 2016.
- BERTOLETI, Pedro. *Projetos com ESP32 e LoRa*. 1 ed. São Paulo: Editora NCB, 2019.
- CHAUDHARI, Bharat; ZENNARO, Marco. *LPWAN Technologies for IoT and M2M Applications*. 1 ed. USA: Academic Press, 2020.

DRAGINO Technology Co., About Dragino, 2020. <<http://www.dragino.com/>>. Acesso em 20/11/2019.

ELSENPETER, Robert; VELTE, Anthony; VELTE, Toby. Computação em Nuvem. 2 ed. Rio de Janeiro: Alta Books, 2013.

FATEC. Faculdade de Tecnologia "Profº Waldomiro May". Cruzeiro, 2020. Disponível em: <<https://www.fateccruzeiro.edu.br>> Acesso em 12/03/2020.

LANDO, Felipe. Como fazer o método (metodologia) da dissertação ou da tese? Disponível em: <<https://www.academicapesquisa.com.br/post/como-fazer-o-m%C3%A9todo-disserta%C3%A7%C3%A3o-tese>>. Acesso em 10/02/2020.

LINKLABS, "A COMPREHENSIVE LOOK AT Low Power, Wide Area Networks. For 'Internet of Things' Engineers and Decision Makers" 2016.

LORA ALLIANCE. LoRaWAN Specification v1.1. Disponível em: <https://loraalliance.org/sites/default/files/2018-04/lorawantm_specification_-v1.1.pdf>. Acesso em: 5 fev. 2019.

MILLER, Lawrence. Internet of Things Applications For Dummies. Qorvo Special Edition. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc, 2017.

Mobility Report. Internet of Things outlook. Ericsson. Estocolmo: Ericsson. Junho, 2020.

MORAES, Claudio. Internet das Coisas: A evolução da conectividade? Disponível em: <<https://revistasegurancaeletronica.com.br/internet-das-coisas-a-evolucao-da-conectividade/>>. Acesso em 23/03/2020.

PINTO, Diego de Oliveira. Saiba como a internet das coisas pode ser aplicada na educação. Disponível em <<https://blog.lyceum.com.br/internet-das-coisas-na-educacao/>>. Acesso em 23/06/2020.

SAMPIERI, Roberto Hernández; COLLADO, Carlos Fernández; LUCIO, María del Pilar Baptista. Metodologia de pesquisa. 5. ed. São Paulo: Penso, 2014.

SILVA, M. A. da. Prova de Conceito (PoC) em Projetos. Project Management Knowledge Base, 2014. Disponível em: <<http://pmkb.com.br/artigo/prova-de-conceitopoc-em-projetos/>>. Acesso em 24/06/2020.

SOUZA, Centro Paula. Localização das Fatecs. Disponível em: <<http://www.portal.cps.sp.gov.br/fatec/escolas/>>. Acesso em 21/03/2020.

TAIVALSAARI, Antero; MIKKONEN, Tommi. A Roadmap to the Programmable World: Software Challenges in the IoT Era. IEEE Software. Volume: 34, Issue: 1, Jan.-Feb. 2017.

THINGSPEAK, IoT Projects. Data collection in the cloud with advanced data analysis, 2020. Disponível em: <<https://thingspeak.com/>>. Acesso em 28/06/2020.

TTN, The Things Network. Building a global open LoRaWAN™ network, 2020. Disponível em: <<https://www.thethingsnetwork.org/>>. Acesso em 18/04/2020.

WAVIOT. What is LPWAN? Low-power wide-area network for internet for Things. Disponível em: <<https://waviot.com/technology/what-is-lpwan>>. Acesso em 24/02/2020.

WOX, GPS. GPS Tracking Software, 2020. Disponível em: <<https://www.gpswox.com/>>. Acesso em 28/06/2020.