

HABILITAÇÃO DE CIDADES DA SERRA GAÚCHA PARA SENSORIAMENTO IOT

Daniel Luis Notari, Samuel Francisco Ferrigo, Mayron Dalla Santa de Carvalho, Pedro Anhaia dos Santos, Ana Cristina Fachinelli

RESUMO

O avanço da Internet das Coisas (IoT) tem sido fundamental para o desenvolvimento de cidades inteligentes, embora sua adoção ainda enfrente desafios significativos. As principais barreiras incluem a imaturidade tecnológica, com questões de interoperabilidade e falta de padronização, e preocupações com segurança cibernética. Essas limitações afetam a implementação de redes de comunicação IoT, como LoRaWAN, que são essenciais para conectar dispositivos sensoriais em ambientes urbanos. O projeto desenvolvido pelo City Living Lab do PPGA da Universidade de Caxias do Sul instalou uma rede de sensoriamento IoT em seis cidades da Serra Gaúcha. O uso da tecnologia LoRaWAN, por sua eficiência energética e longo alcance, foi importante para a cobertura dessas áreas urbanas. A implementação envolveu a validação de dispositivos em laboratório e em ambientes reais, além da criação de uma infraestrutura em nuvem para o armazenamento e visualização dos dados. Problemas como a baixa conectividade em determinadas áreas, falhas nos dispositivos e dificuldades logísticas foram identificados, mas os resultados iniciais demonstram o potencial da IoT para otimizar a gestão pública e promover o desenvolvimento sustentável em cidades inteligentes. Este estudo destaca a importância da integração de tecnologias emergentes com a infraestrutura urbana existente, reforçando o papel da IoT na criação de cidades mais eficientes e resilientes.

Palavras-chave: Cidades Inteligentes; Sensoriamento IOT; Conectividade LoRaWan; Habilitar cidades; Parceria Universidade e governos municipais.

1 INTRODUÇÃO

A IoT é considerada uma peça fundamental de uma cidade inteligente, todavia sua utilização ainda é muito baixa. Entre os motivos que levam a essa baixa adesão, a segurança e a imaturidade tecnológica são consideradas as principais barreiras na literatura atual. A imaturidade tecnológica é citada por diversos autores como uma barreira (Chauhan e Singh, 2020; Kalsoom et al., 2021; Ahmed et al., 2021; Rejeb et al., 2021; Tran-Dang et al., 2022; Dixit e Verma, 2022; Gupta et al., 2022; Kumar et al., 2022) que permeia diversas situações como questões de compatibilidade e interoperabilidade entre tecnologias, escalabilidade das soluções tecnológicas e falta de padronização, esta última muitas vezes agravada pela barreira da falta de regulação. Apesar de iniciativas de compatibilização de diversas tecnologias de rede existentes, como o Matter (Akestoridis et al., 2022), estas ainda são muito recentes e ainda não estão disponíveis em escala comercial.

A barreira da falta de segurança é historicamente relacionada às redes de comunicação em geral (Wetherall e Tanenbaum, 2013) e, por isso mesmo, possui muitos trabalhos que a citam (Treiblmaier et al., 2020; Ahmed et al., 2021; Kalsoom et al., 2021; Katoch, 2022; Dixit

e Verma, 2022; Gupta et al., 2022; Rathore et al., 2022).

Além disso, no contexto da IoT em geral essa barreira ainda se torna mais relevante, pois a imaturidade tecnológica e o pouco poder de processamento tornam as soluções IoT mais vulneráveis a ataques virtuais.

Todavia, muitos autores veem a IoT como fundamental no projeto de uma cidade inteligente. O projeto de pesquisa e inovação “Sistema de coleta de dados por dispositivos IoT (sensoriamento) para cidades inteligentes” desenvolvido pelo City Living Lab do PPGA da Universidade de Caxias do Sul instalou antenas e dispositivos IOT em seis cidades da Serra Gaúcha entre 2023 e 2024. Nesse sentido, o presente trabalho visa apresentar o resultado da implantação de uma estrutura IoT para seis cidades da serra gaúcha. Os objetivos específicos envolveram escolher as cidades participantes, validar os equipamentos em bancada, definir os locais de instalação dos equipamentos, criar a infraestrutura em nuvem para coletar e armazenar os dados dos sensores, testar os equipamentos em ambiente real, criar a visualização dos dados e validar os resultados.

O artigo está organizado com o Referencial Teórico sendo apresentado na seção 2. Os procedimentos metodológicos são descritos na seção 3. Os resultados e discussão são apresentados na seção 4. E, por fim, as considerações finais são descritas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CIDADES INTELIGENTES

Uma cidade inteligente pode auxiliar no desenvolvimento das cidades tornando-as mais limpas, seguras e funcionais (Bria e Morozov, 2020). Uma cidade inteligente utiliza de tecnologia com o objetivo de otimizar o uso de recursos, produzir novos recursos, modificar o comportamento dos usuários e promover a sustentabilidade (Bria e Morozov, 2020).

É comum pensar em uma cidade inteligente associando sensores, dispositivos responsivos ou microcomputadores, porém um dos recursos que estas dispõem é o Desenvolvimento Baseado em Conhecimento (DBC), como uma nova forma de fazer a gestão pública para enfrentar estes desafios (Carrillo, 2002). O DBC pode auxiliar no enfrentamento de problemas contribuindo para que as cidades funcionem como fonte de inovação e de novos paradigmas de vida em sociedade (Pratt, 2008). Fachinelli et al. (2022) explicam que as cidades enfrentam desafios tão complexos que surge a necessidade indiscutível de buscar novas soluções. Esses desafios demandam uma mudança transformadora na forma como a sociedade trabalha, vive e constrói um novo futuro.

Um dos recursos encontrados para estas transformações é o potencial das aplicações avançadas das Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs). Conforme Baum et al. (2007), desde a virada do século, quando os impactos das mudanças climáticas globais se tornaram mais catastróficos, os avanços das TICs passaram a ser vistos como uma possível panaceia para, de alguma forma, reverter ou amenizar os impactos desta urbanização insustentável. Desta forma, as ofertas tecnológicas fizeram com que muitos governos em todo o mundo pulassem na onda de soluções tecnológicas – isso deu reconhecimento ao conceito de “cidade inteligente”. Hoje em dia, o potencial dos recursos e funcionalidades das cidades inteligentes são amplamente reconhecidos (Fachinelli et al. 2022).

Desde o surgimento do termo “cidade inteligente”, nos anos 90, até os dias de hoje, os conceitos foram se transformando. Inicialmente, a preocupação era com tecnologias e infraestruturas consideradas aspectos técnicos e estruturais das cidades (Odendaal, 2003). Já alguns anos depois, o foco foi a priorização do capital humano e social (Giffinger et al., 2007)

e, a partir de 2010, foi incorporado o papel do usuário final: o cidadão tornou-se, portanto, o elemento chave para o desenvolvimento das cidades inteligentes (Papa et al., 2015).

2.2 TECNOLOGIAS DE COMUNICAÇÃO VOLTADAS À IOT

Para atender a necessidade de mobilidade surgida pela evolução dos computadores em geral, diversas tecnologias de comunicação sem fio foram criadas a partir do final dos anos 90. Algumas dessas tecnologias, como o Wi-Fi, evoluíram com o passar do tempo de forma a manter o desempenho, sem maiores preocupações com o consumo energético exigido pela maior parte dos dispositivos IoT. Outras, como o Bluetooth, passaram por modificações durante o passar dos anos para oferecerem uma otimização energética que pudesse ser usada pela IoT em geral. Além disso, surgiram tecnologias voltadas exclusivamente à comunicação IoT - caso do Zigbee e LoRa de (Virtanen, 2010; Al-Sarawi et al., 2017; Quy et al., 2022; Ogbodo et al., 2022; Alsharif et al., 2023).

Um resumo das principais características das tecnologias de comunicação IoT pode ser visualizado na Tabela 1. Percebe-se que essas tecnologias de comunicação IoT podem ser divididas em dois grandes grupos: as tecnologias de comunicação de curto alcance, chamadas de redes pessoais sem fio (Wireless Personal Area Network - WPAN), onde estão incluídas tecnologias como Wi-Fi, Bluetooth e RFID, que se limitam a algumas dezenas de metros; e as tecnologias de longo alcance, chamadas de LP-WAN, cujo alcance é medido na escala de dezenas de quilômetros de (Virtanen, 2010; Al-Sarawi et al., 2017; Quy et al., 2022; Ogbodo et al., 2022; Alsharif et al., 2023).

Tabela 1: Quadro comparativo das principais tecnologias de comunicação IoT.

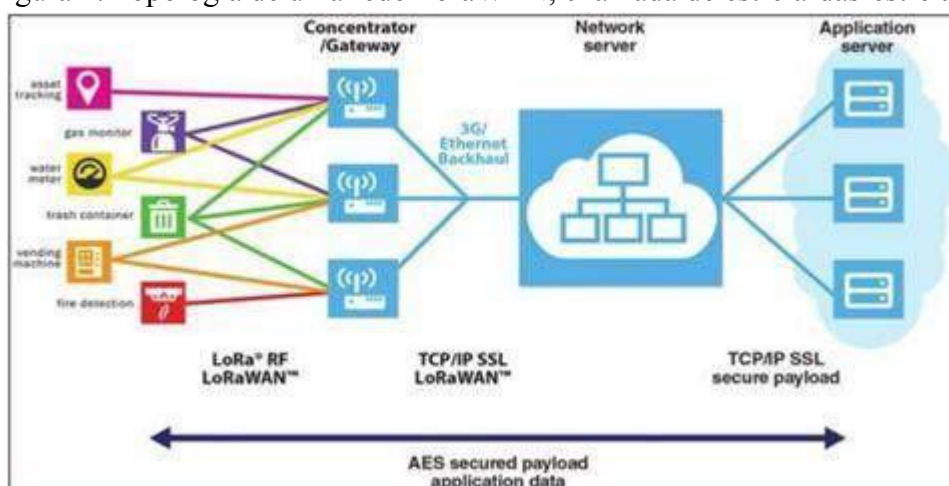
Tecnologia	Espectro	Distância	Taxa de transferência	Consumo Energético
Wi-Fi	Não-licenciado	100 m	300-7000 Mbps	Alto
Bluetooth	Não-licenciado	10 m	2-26 Mbps	Muito Baixo
Zigbee	Não-licenciado	20 m	0,25 Mbps	Baixo
RFID	Não-licenciado	100 m	4 Mbps	Ultra baixo
NFC	Não-licenciado	0,2 m	0,42 Mbps	Muito baixo
LoraWAN	Não-licenciado	20000 m	0,05 Mbps	Muito baixo
Sigfox	Licenciado	50000 m	0,0006 Mbps	Ultra baixo
NB-IoT	Licenciado	35000 m	0,25 Mbps	Muito baixo
5G	Licenciado	10000 m	0,78 Mbps	Muito baixo

Adaptado de (Virtanen, 2010; Al-Sarawi et al., 2017; Quy et al., 2022; Ogbodo et al., 2022; Alsharif et al., 2023)

De imediato, percebe-se que o projeto de sensoriamento IoT das cidades da serra gaúcha requeria o uso de redes LP-WAN. Entre as atualmente existentes, uma das mais utilizadas atualmente é a LoraWAN, que se trata de uma especificação - ou seja, uma descrição de tecnologias - voltadas a esse tipo de rede projetado para conectar coisas sem fio operadas por bateria à Internet em redes regionais, nacionais ou globais. Visa atender os principais requisitos da IoT, como comunicação bi-direcional, segurança ponta-a-ponta, mobilidade e serviços de localização (TTN, 2024). A Figura 1 mostra essa topologia chamada de estrela-das-estrelas pois cada *gateway* forma uma rede estrela com os dispositivos, enquanto a *network server* forma outra estrela principal com os *gateways* e as aplicações (TTN, 2024) e é composta por:

- Uma “nuvem” que envia e recebe dados de dispositivos através da Internet;
- Dispositivos IoT – como sensores e atuadores – que enviam e recebem dados da “nuvem” através da tecnologia LoRa;
- *Gateways* que fazem a integração entre os dispositivos IoT/LoRa e a “nuvem”, via conexão de Internet.

Figura 1: Topologia de uma rede LoraWAN, chamada de estrela-das-estrelas.



Adaptado de (TTN, 2022).

Os dispositivos IoT comunicam-se via tecnologia LoRa com um ou mais *gateways*, utilizando-se da pilha de protocolos LoraWAN. Estes convertem os dados para o padrão TCP/IP, que é a linguagem utilizada para comunicação pela Internet, e enviam os dados recebidos para a “nuvem” LoraWAN, chegando ao servidor de rede (*network server*). Esse servidor, entre outras tarefas mais, envia os dados para os servidores de aplicação (*application server*) cadastrados nele.

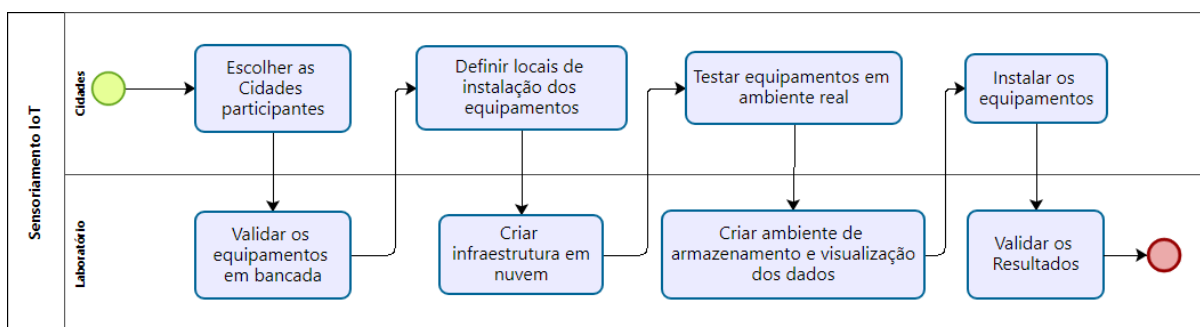
O uso de IoT nas cidades apresenta uma característica combinando aplicações voltadas para a indústria, transporte, saúde, agricultura e outros serviços visando tornar as cidades inteligentes (Bekkai et al., 2022). Nesse sentido, a IoT fornece soluções para problemas de deslocamento urbano, manufatura, gestão de resíduos, distribuição de água, gestão de espaços públicos, construções, segurança pública, poluição, fornecimento de serviços públicos, respostas a emergências, entre outros aspectos que envolvem espaços urbanos (Malik et al., 2021; Hassebo e Tealab, 2023). Nesse sentido, as redes LoraWAN apresentam vantagens em relação às demais redes LP-WAN, pois sua especificação aberta favorece sua disseminação. Há diversos exemplos na literatura de sua aplicação (Růžička et al., 2023), e a comunidade

The Things Network, que disponibiliza *gateways* LoraWAN públicos e gratuitos para uso, possui atualmente mais de 21 mil *gateways* espalhados por 153 países (TTN, 2024).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O presente artigo usa uma abordagem empírica qualitativa para o desenvolvimento do estudo de caso de habilitação de seis cidades da Serra Gaúcha para o sensoriamento IoT. A Figura 2 demonstra o ciclo de vida do projeto de implantação de uma estrutura de sensoriamento IoT para a serra gaúcha, parte integrante do programa InovaRS da SICT-RS. Para cada cidade estavam previstos a instalação de dois *gateways* LoraWAN e três dispositivos de sensoriamento. Ou seja, a área de cobertura de um dos *gateways* deveria atender a dois dispositivos de sensoriamento. Ele está dividido nas seguintes etapas: definição dos locais a serem instalados, validação dos equipamentos em ambiente de bancada, validação dos equipamentos em ambiente real controlado, criação da infraestrutura LoraWAN para transmissão dos dados dos dispositivos de sensoriamento, criação da infraestrutura LoraWAN de transmissão dos dados pelos sensores, criação da infraestrutura de armazenamento e visualização dos dados, instalação dos equipamentos e avaliação dos resultados.

Figura 2: Ciclo de execução do projeto IoT.



Fonte: própria

Foi feito um convite para todas as cidades da região da Serra Gaúcha participarem do projeto. Após a inscrição das mesmas, foram selecionadas as cidades de Bento Gonçalves, Canela, Caxias do Sul, Flores da Cunha, Gramado e São Francisco de Paula.

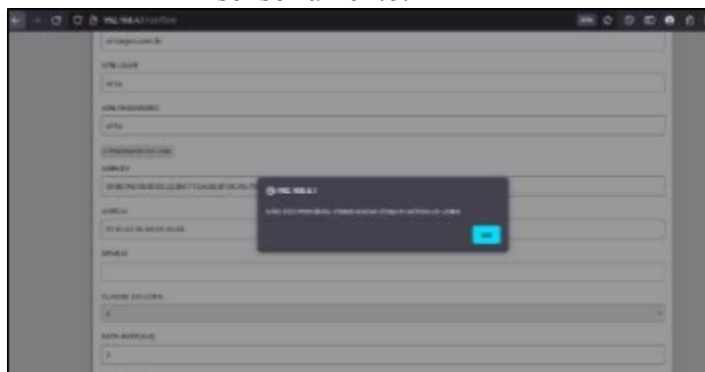
3.1 VALIDAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS EM AMBIENTE DE BANCADA

A primeira etapa do projeto teve por objetivo validar o funcionamento dos equipamentos necessários para a execução do projeto. Foi criada uma infraestrutura LoraWAN provisória para configuração dos equipamentos - *gateways* LoraWAN e dispositivos de sensoriamento - de forma a validar que estes estavam operacionais e que havia um certo nível de precisão nos dados coletados pelos sensores integrantes de cada dispositivo e corretamente recepcionados pelos *gateways* LoraWAN. Os dispositivos de sensoriamento contavam com sensores de temperatura, umidade, luminosidade, ruído, partículas suspensas e gás carbônico presente na atmosfera.

O objetivo desta etapa era identificar possíveis problemas nos equipamentos, providenciando sua correção nos fabricantes, e verificar se estes estavam aptos a realizar a transmissão via LoraWAN, de forma a iniciar a etapa de definição dos locais de instalação,

descrita na seção 3.2. Nesta etapa foram identificados problemas tanto nos gateways quanto nos dispositivos de sensoriamento. Os problemas do gateway eram restritos à configuração das frequências de operação. Já os dispositivos de sensoriamento tiveram vários problemas identificados, que vão desde o funcionamento da tecnologia LoraWAN, conforme mostrado na Figura 3, perpassam por questões de programação e terminam em problemas de travamento das leituras de sensores.

Figura 3: Identificação de problema no módulo LoraWAN do dispositivo de sensoriamento.



Fonte: própria

3.2 DEFINIÇÃO DOS LOCAIS DE INSTALAÇÃO DOS DISPOSITIVOS

Concluída a etapa de validação dos equipamentos, passou-se a analisar os possíveis locais de instalação dos dispositivos de sensoriamento e dos gateways LoraWAN. Após a definição deles, foi feito um termo de convênio com as cidades participantes do projeto. Em cada local serão instalados os equipamentos necessários para o funcionamento da rede LoraWAN, os gateways e os dispositivos de sensoriamento IoT. A Figura 4 descreve as imagens de locais testados na cidade de Caxias do Sul, da esquerda para a direita: Escola Catulo da Paixão Cearense, Biblioteca Pública Municipal, Centro Administrativo Municipal e Aeroporto de Caxias do Sul.

Figura 4: Locais na cidade de Caxias do Sul.



Fonte: própria

Em cada uma das cidades, a partir de sugestões de integrantes das prefeituras parceiras, foram avaliados locais para instalação dos *gateways* LoraWAN e dos dispositivos de sensoriamento. Os dispositivos de sensoriamento deveriam estar em locais que apresentassem diferentes contextos ambientais dentro da mesma cidade, e os *gateways* deveriam estar localizados em locais capazes de receber os dados dos dispositivos. Para isso, então, foi necessária a realização de um *site survey*, que consiste em avaliar a qualidade do sinal sem fio que cobre uma determinada área para validação dos locais de instalação dos

gateways e dos dispositivos de sensoriamento.

Em Caxias do Sul, por exemplo, foram avaliados os seguintes locais para instalação dos gateways LoraWAN: Aeroporto Hugo Cantergiani, Pavilhões da Festa da Uva, Centro Administrativo Municipal e Secretaria Municipal de Saúde. Já para os sensores, os seguintes locais foram sugeridos: Largo da Estação Férrea, Parque Mato Sartori, UBS São José, Biblioteca Pública Municipal, Praça Dante Alighieri, EMEF Basílio Tcacenco, EMEF Catulo da Paixão Cearense e EMEF João de Zorzi. Em todos os locais sugeridos foram realizados testes de *site survey*.

Após a realização do *site survey* e, a partir de informações obtidas via *email* junto a Secretaria Municipal da Saúde, optou-se por instalar os dispositivos de sensoriamento na Praça Dante Alighieri, Parque Mato Sartori e UBS São José. A praça é o coração da cidade, onde há grande circulação de pessoas e carros durante o dia. O Parque Mato Sartori é um pulmão verde localizado na área central da cidade, e a UBS São José está localizado num local com baixo índice de arborização urbana e com características de mista ocupação, residencial e industrial de Caxias do Sul. Já os gateways foram instalados na UBS São José e no Prédio-sede do SAMAE. Este último ponto não estava entre os possíveis locais sugeridos para instalação dos gateways, mas foi sugerido durante a realização do *site survey*. A mesma sistemática foi repetida para as demais cidades participantes do projeto.

3.3 CRIAÇÃO DA INFRAESTRUTURA EM NUVEM

Após a conclusão da etapa do *site survey*, foi criada a estrutura responsável por armazenar e apresentar os dados emitidos pelos dispositivos de sensoriamento. Nele estão cadastrados os dispositivos de sensoriamento e os gateways LoraWAN, conforme pode ser visualizado na Figura 5.

Figura 5: Tela de cadastro e configuração dos Gateways LoraWAN.

Nome gateway	Gateway IP	Status	Criado em
GW-09 - Canela CPT	FE-03-32-02-F0-04-00-00	Connected	Jan 17, 2024
GW-08 - Canela DE	FE-03-32-02-F0-03-00-00	Connected	Jan 17, 2024
GW-07 - Gramado Centro	FE-03-32-02-F7-03-00-00	Connected	Dec 10, 2023
GW-06 - Gramado Escola	FE-03-32-02-F7-03-00-00	Connected	Dec 10, 2023
GW-05 - Bento Igreja	FE-03-32-02-F9-18-00-00	Connected	Nov 22, 2023
GW-04 - São Chico Escola	FE-03-32-02-F0-03-00-00	Connected	Jun 22, 2023
GW-03 - Caxias UBSJ	FE-03-32-02-F0-00-00-00	Connected	Jun 1, 2023
GW-02 - Caxias SAMAE	FE-03-32-02-F7-03-00-00	Connected	Jun 1, 2023
GW-01 - Bento CAdm	FE-03-32-02-F0-07-00-00	Connected	Mar 8, 2023

Fonte: própria

3.4 TESTES DOS EQUIPAMENTOS EM AMBIENTE REAL

Após à etapa de definição dos locais de instalação, iniciou-se a etapa de teste em ambiente real dos equipamentos efetuado no campus-sede da Universidade de Caxias do Sul localizado na cidade de mesmo nome (Figura 6), de forma a identificar problemas que não poderiam ser identificados nos testes de bancada, como seu funcionamento em diferentes

condições climáticas e o funcionamento do painel solar, parte integrante do equipamento.

Apesar do equipamento ter sido projetado para ambientes expostos diretamente à luz solar (o seu invólucro era branco e havia locais de circulação de ar), nesta etapa percebeu-se que o dispositivo de sensoriamento apresentava problemas de medição dos valores de temperatura e umidade quando expostos diretamente ao sol, gerando valores de temperatura irrealistas (em torno de 50 graus celsius). Nesse sentido, esta etapa também contribuiu na definição dos locais de instalação, onde buscou-se locais que não estavam diretamente expostos ao sol.

Figura 6: Testes dos equipamentos realizados na Universidade de Caxias do Sul.



Fonte: própria

3.5 CRIAÇÃO DO AMBIENTE DE ARMAZENAMENTO E VISUALIZAÇÃO DOS DADOS

A próxima etapa envolveu criar a estrutura para armazenamento e visualização dos dados. Para isso utilizou-se a ferramenta Tago.io, que é um serviço *web* que possui integração com a rede LoraWAN. O Tago.io permite que os dados sejam armazenados, processados e visualizados num ambiente *web* sem necessidade de programação massiva. Todavia, o serviço contratado permitia que apenas cerca de um mês de dados fossem armazenados na ferramenta. Para aumentar a periodicidade, foi criado um segundo ambiente de armazenamento, hospedado na nuvem da Oracle, que contém o histórico de todos os dados transmitidos pelos dispositivos, conforme mostra a Figura 7 (identificador, data de aquisição do dado, nome do dispositivo, contagem, valor dos sensores, latitude, longitude, dados compactados). Atualmente essa base possui mais de 4 milhões de registros.

Figura 7: Ambiente de armazenamento dos dados na nuvem da Oracle.

ID	Data	Dispositivo	Contagem	Temperatura	Umidade	Luminosidade	Ruido	Eco2	Esvoc	latitude	Longitude	Unixtime	Dados
4530333	2024-09-07 18:46:56.179250	siroteste_UCS_AMV-20	36746	19.3	71.6	2.8	69.2	0.0	400.0	-29.446993	-50.581276	1725734873	siroteste_UCS_AMV-20 36746 19.3 71.6 2.8 69.2 400 0 29.446993 -50.581276 1725734873 12.7
4530332	2024-09-07 18:47:53.126101	siroteste_UCS_AMV-11	27800	12.4	66.1	0.0	72.6	20.0	403.0	-29.160469	-51.174187	1725734852	siroteste_UCS_AMV-11 27800 12.4 66.1 0.0 72.6 403 20 -29.160469 -51.174187 1725734852 12.4
4530331	2024-09-07 18:47:53.184260	siroteste_UCS_AMV-16	2919	19.3	78.5	0.1	80.5	20.0	403.0	-29.449081	-50.582771	1725734863	siroteste_UCS_AMV-16 2919 19.3 78.5 0.1 80.5 403 20 -29.449081 -50.582771 1725734863 12.2
4530330	2024-09-07 18:47:46.536196	siroteste_UCS_AMV-08	43991	21.3	74.8	0.0	81.0	0.0	408.0	-29.180304	-51.514084	1725734846	siroteste_UCS_AMV-08 43991 21.3 74.8 0.0 81.0 408 0 -29.180304 -51.514084 1725734846 12.7
4530329	2024-09-07 18:47:32.043608	siroteste_UCS_AMV-22	31872	15.3	91.3	-1.0	84.1	15.0	502.0	-29.379198	-50.870724	1725734843	siroteste_UCS_AMV-22 31872 15.3 91.3 -1.0 84.1 502 15 -29.379198 -50.870724 1725734843 12.7

Fonte: própria

3.6 INSTALAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS NAS CIDADES

Validados os equipamentos e criada a estrutura de recepção, armazenamento e visualização dos dados coletados e transmitidos pelos dispositivos de sensoriamento, passou-se então à instalação dos equipamentos nas cidades que integravam o projeto. Esta etapa foi realizada em duas fases. Na primeira instalaram-se os *gateways* LoraWAN, que contribuíram na realização do *site survey*, e num segundo momento foram instalados os dispositivos de sensoriamento. A instalação dos *gateways* iniciou-se em maio de 2023 em Caxias do Sul e, foi finalizada nas demais cidades em julho de 2024.

Já a instalação dos dispositivos de sensoriamento foi iniciada em março de 2024, por Caxias do Sul, e concluída em julho de 2024.

A execução desta etapa ficou bastante prejudicada em função das enchentes ocorridas em setembro de 2023 e maio de 2024, o que dificultou o agendamento das instalações junto às prefeituras.

3.7 VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS

A última etapa do projeto consistiu na validação da estrutura montada, e será tratada em maiores detalhes na seção 4 deste trabalho.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados do projeto envolvem a validação da metodologia de coleta dos dados e alcance da rede. No entanto, problemas identificados durante a implantação deste projeto também são apresentados.

4.1 VALIDAÇÃO DA METODOLOGIA DE COLETA DOS DADOS

A validação da metodologia de coleta de dados foi realizada com o objetivo de garantir que a infraestrutura de sensoriamento IoT implantada nas cidades da Serra Gaúcha estivesse operando de forma eficiente e precisa. Para isso, foi necessário testar os dispositivos de sensoriamento, os *gateways* LoRaWAN, e toda a cadeia de transmissão e armazenamento dos dados. Os testes iniciais, realizados em ambiente controlado de bancada, permitiram ajustar os sensores, corrigir problemas de calibração e garantir que os dados coletados fossem transmitidos corretamente aos servidores.

No ambiente real, a validação dos dados envolveu a instalação dos dispositivos em locais estratégicos. Foi verificada a consistência dos dados coletados em relação aos parâmetros ambientais, como temperatura, umidade, luminosidade e poluição do ar. A metodologia de coleta foi considerada adequada, uma vez que os dados obtidos em campo se mostraram coerentes com as condições ambientais esperadas para as localidades monitoradas.

Além disso, a análise de cobertura dos *gateways* LoRaWAN demonstrou que a rede conseguia captar os sinais de sensores a distâncias superiores às estimadas inicialmente, com alguns dispositivos conseguindo transmitir dados a mais de 30 km de distância. Essa validação foi essencial para garantir que a rede LoRaWAN poderia atender aos requisitos do projeto, cobrindo áreas urbanas e semi-urbanas sem a necessidade de uma grande quantidade de pontos de acesso.

Contudo, alguns problemas foram identificados durante a validação em campo, como travamentos intermitentes nos sensores, especialmente em locais com alta exposição solar. Esses problemas foram atribuídos tanto à imaturidade tecnológica de alguns dispositivos

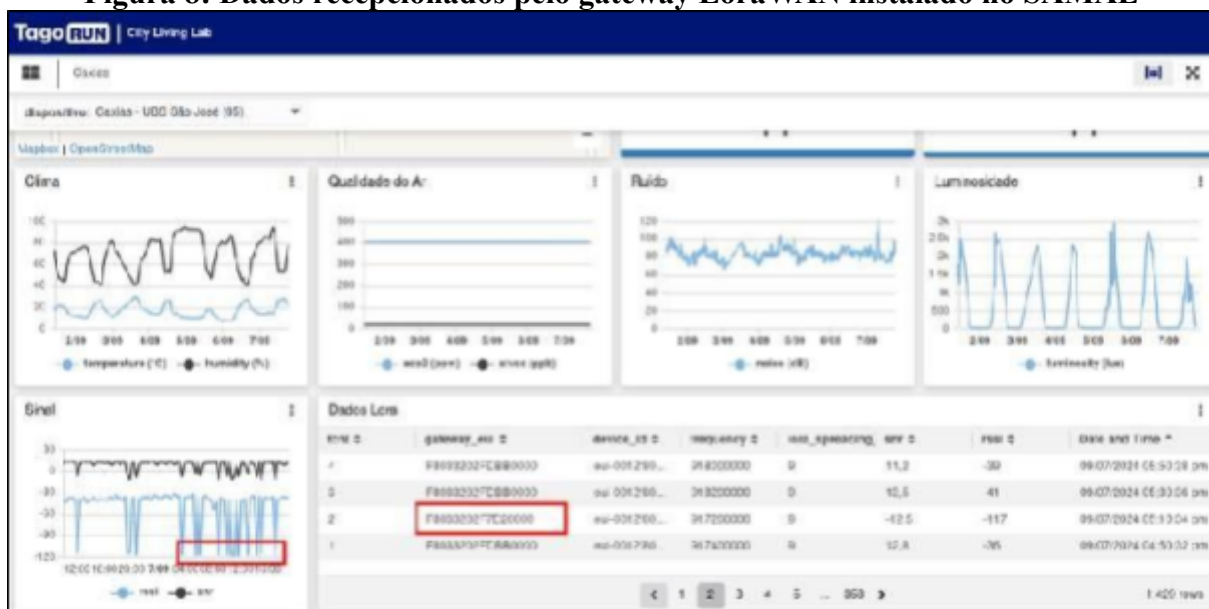
quanto à instalação inadequada em áreas com condições adversas. Medidas corretivas foram tomadas, como a realocação de alguns sensores e ajustes no firmware dos dispositivos, melhorando a performance da rede de sensoriamento.

Por fim, a metodologia de coleta foi avaliada como robusta, com capacidade de adaptação a diferentes cenários urbanos e condições ambientais. A validação dos dados e a melhoria contínua dos dispositivos permitiram que o projeto alcançasse resultados satisfatórios, garantindo a coleta eficiente e a transmissão segura de dados relevantes para a gestão inteligente das cidades envolvidas.

4.2 ALCANCE DA REDE LORAWAN

Um dos resultados que foram verificados após a execução do projeto foi o alcance da rede LoraWAN. Em alguns casos, o alcance da rede superou o raio 3km estimados inicialmente pela rede. Em algumas situações, inclusive, o dado transmitido por um dispositivo era recepcionado por mais de um *gateway*, como o caso apresentado na Figura 8, aonde os dados transmitidos pelo dispositivo de sensoriamento instalado na UBS São José eram recepcionados tanto pelo *gateway* lá instalado quanto pelo *gateway* instalado no prédio-sede do SAMAE, distante 3,2 km. Obviamente, quando a rede LoraWAN registrava os dados pelo *gateway* do SAMAE, os valores de potência do sinal eram muito mais baixos. O mesmo comportamento foi observado em São Francisco de Paula, onde o dispositivo de sensoriamento transmitia dados que eram recepcionados pelo *gateway* lá instalado e pelo *gateway* instalado no centro da cidade, distante 4,5 km.

Figura 8: Dados recepcionados pelo gateway LoraWAN instalado no SAMAE

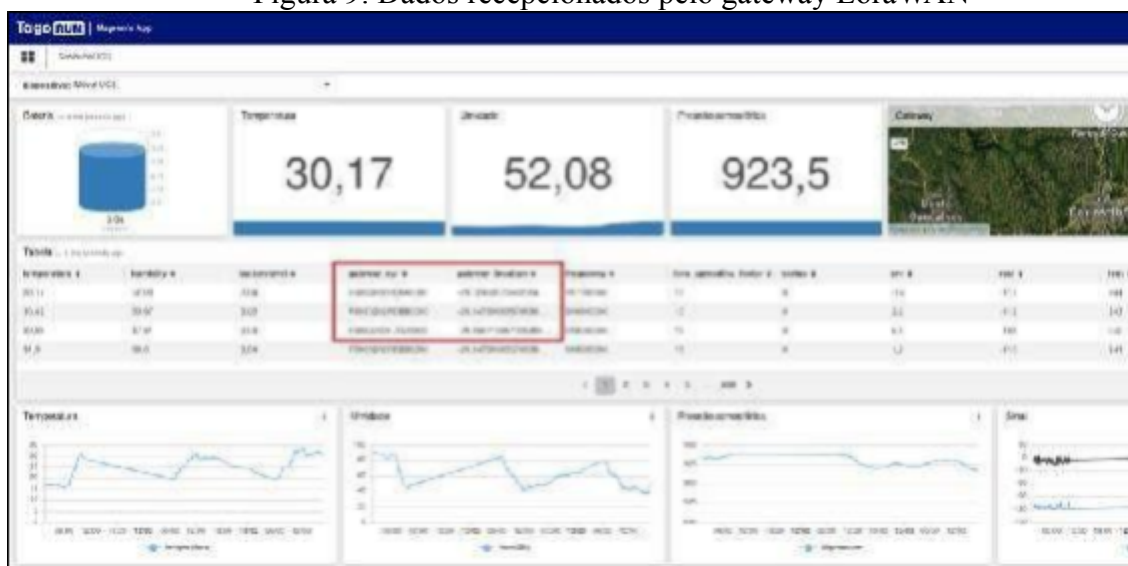


Fonte: própria

Além disso, em testes com equipamentos de sensoriamento de outro fabricante, foram obtidos resultados ainda mais significativos. Dados de temperatura, umidade e pressão atmosférica transmitidos por esse equipamento foram recepcionados pelos dois *gateways* LoraWAN instalados em Caxias do Sul, mas também pelo *gateway* instalado no parque da

Vindima, em Flores da Cunha, conforme Figura 9, o que resultou numa distância de 14km entre o dispositivo e o gateway, quase cinco vezes mais que o estimado pela rede. Mais especificamente, pode-se verificar os dados recepcionados pelos *gateways* LoraWAN instalados na UBS São José (identificador F8033202FDBB0000), no prédio-sede do SAMAE (identificador F8033202F7D20000) e no Parque da FenaVindima, em Flores da Cunha (identificador F8033202FDBA0000).

Figura 9: Dados recepcionados pelo gateway LoraWAN



Fonte: própria

4.3 PROBLEMAS IDENTIFICADOS

Diversas foram as dificuldades encontradas durante a implantação desse projeto. A maior parte deles estavam relacionados a problemas tecnológicos, mas também foram problemas junto às prefeituras, além das tragédias climáticas enfrentadas no período.

Esses problemas foram executados nas seguintes categorias: problemas de funcionamento das tecnologias, dificuldades das prefeituras e problemas meteorológicos.

4.3.1 PROBLEMAS TECNOLÓGICOS IDENTIFICADOS

A maior parte dos problemas tecnológicos identificados foi encontrado nos dispositivos de sensoriamento, produzido por uma empresa da região metropolitana de Porto Alegre. Nesse sentido, foram encontrados problemas relacionados ao funcionamento da tecnologia LoraWAN, como a dificuldade de conexão à rede LoraWAN, a perda de pacotes de transmissão de dados e a parada do chip de transmissão. Como qualquer tecnologia nova, havia desafios técnicos adicionais causados pela imaturidade tecnológica a serem superados, especialmente relacionados ao fato do desconhecimento da tecnologia por parte do fabricante, o que dificulta a adoção da IoT no contexto de cidades inteligentes, algo corroborado pela literatura atual (Chauhan e Singh, 2020; Kalsoom et al., 2021; Ahmed et al., 2021; Rejeb et al., 2021; Tran- Dang et al., 2022; Dixit e Verma, 2022; Gupta et al., 2022; Kumar et al., 2022).

Além disso, foram encontradas dificuldades em relação à leitura dos sensores. Por diversas vezes as leituras dos dados de temperatura, umidade, luminosidade, partículas

suspensas e gás carbônico apresentavam travamentos. Esse problema, inclusive, até o final do projeto havia sido minimizado, mas não totalmente resolvido, em função da falta de tempo para entrega do projeto. Mais uma vez, a imaturidade tecnológica é a causa para tal resultado identificado.

Por fim, os dispositivos de sensoriamento consumiam mais energia que o esperado. O painel solar e a bateria muitas vezes não suportam a carga demandada pelo dispositivo, ocasionado pelo uso de GPS e da rede de telefonia celular como backup de transmissão dos dados do equipamento.

Quanto aos gateways LoraWAN, os problemas limitaram-se à configuração de frequência de recepção dos dados, o que foi resolvido pelo fabricante a partir da disponibilização de um novo firmware.

Além dos problemas identificados nos dispositivos, foram verificados problemas tecnológicos relacionados aos *links* de Internet disponibilizados pelas prefeituras. Como explicado na seção 2.2, os *gateways* LoraWAN fazem a conversão dos dados da rede Lora para a Internet. Portanto, estes são conectados à Internet e, por diversas vezes, foram identificados problemas de conectividade à rede mundial de computadores. Diversas podem ser as causas do problema, como problemas na infraestrutura da operadora de telecomunicações ou da própria prefeitura.

4.3.2 PROBLEMAS JUNTOS ÀS PREFEITURAS

Outra dificuldade encontrada durante a execução do projeto, nas prefeituras de menor porte, esteve relacionada à capacidade técnica das equipes de Tecnologia da Informação (TI). Cidades grandes como Caxias do Sul possuem uma equipe técnica grande e preparada para execução de projetos de alta complexidade, como este. Todavia, em cidades menores, as equipes técnicas são muito reduzidas e lidam com atividades que se estendem além das relacionadas à TI.

Mas essa dificuldade, em alguns casos, não se limitou somente à TI. Em algumas situações, sequer havia pessoal apto à instalação dos equipamentos que formavam o projeto. Nesses casos extremos, houve dificuldades até para o agendamento das datas de instalação, visto que não havia pessoal disponível sequer para recebimento da equipe técnica que realizaria a ativação dos equipamentos, situação agravada pelas tragédias climáticas. Portanto, nessas situações, a barreira da imaturidade tecnológica para a execução de projeto IoT em cidades inteligentes ficou ainda mais clara.

4.3.3 TRAGÉDIAS CLIMÁTICAS ENFRENTADAS PELO RIO GRANDE DO SUL

A implantação desse projeto se deu durante as tragédias climáticas ocorridas em setembro de 2023 e maio de 2024. Isso ocasionou diversos problemas, como a dificuldade de locomoção da equipe de ativação do projeto, residida em Caxias do Sul, às demais cidades, e à alocação das equipes técnicas das prefeituras, visto que durante esse período elas foram priorizadas para execução de atividades de retomada da infraestrutura atingida por essas tragédias.

Os eventos climáticos extremos afetam a tecnologia IoT de forma que a aquisição dos dados podem ser interrompidos devido a falta de luz, por exemplo. Outro ponto importante é a velocidade do vento que pode afetar a transmissão dos dados através das antenas LoraWAN. Sem mencionar que as enchentes ou alagamentos dificultam a chegada das pessoas até os equipamentos para fazer a manutenção necessária para reestabelecer o funcionamento dos

mesmos. Esses exemplos de eventos climáticos isolados ou combinados podem impedir que uma cidade tome conhecimento do que está acontecendo em pontos de coletas e, dessa forma planejar e executar medidas para resolver ou minimizar os problemas causados a população das cidades visando garantir uma melhor resiliência.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A conclusão deste estudo sobre a habilitação de cidades da Serra Gaúcha para sensoriamento IoT revela a importância da Internet das Coisas (IoT) no desenvolvimento de cidades inteligentes, evidenciando o potencial dessa tecnologia para otimizar recursos e melhorar a qualidade de vida dos cidadãos. A implementação de uma rede de sensoriamento, utilizando a tecnologia LoRaWAN, demonstrou ser uma solução eficaz para conectar dispositivos em áreas urbanas de grande extensão, oferecendo benefícios em termos de eficiência energética e cobertura de rede. No entanto, o projeto também evidenciou alguns desafios técnicos e operacionais que precisam ser enfrentados para garantir o pleno sucesso da iniciativa.

Entre as principais barreiras encontradas, destacam-se a imaturidade tecnológica e a falta de padronização, que dificultam a interoperabilidade entre dispositivos e redes de comunicação. Além disso, problemas de segurança cibernética continuam a ser uma preocupação significativa, uma vez que as soluções IoT, especialmente em sua fase inicial, são mais vulneráveis a ataques. Esses desafios técnicos podem comprometer a confiança das cidades em adotar soluções baseadas em IoT de forma mais ampla e sustentável, exigindo melhorias contínuas nas tecnologias envolvidas.

O projeto também apontou para a necessidade de maior preparo técnico nas equipes das prefeituras, principalmente nas cidades de menor porte. A infraestrutura tecnológica local e a falta de conhecimento sobre a IoT limitam a capacidade de implementar e gerenciar redes de sensoriamento em larga escala. Investimentos em capacitação e treinamento são fundamentais para superar essas barreiras e permitir que os governos locais aproveitem plenamente o potencial da IoT em suas gestões.

Apesar dessas dificuldades, o uso de redes LoRaWAN mostrou-se promissor, com resultados que superaram as expectativas em termos de alcance e confiabilidade dos dados coletados. Em alguns casos, os dados foram transmitidos a distâncias consideravelmente maiores do que as inicialmente previstas, evidenciando a viabilidade dessa tecnologia para conectar grandes áreas urbanas e até mesmo rurais. Esse aspecto é especialmente relevante para cidades da Serra Gaúcha, que possuem uma topografia desafiadora e áreas de difícil acesso.

Em resumo, o estudo reforça a importância da IoT para a criação de cidades inteligentes, mas destaca a necessidade de avanços tecnológicos e organizacionais para que essas soluções sejam adotadas de forma mais ampla e eficaz. O projeto nas cidades da Serra Gaúcha é um exemplo concreto de como a IoT pode ser utilizada para melhorar a gestão urbana, mas também serve de alerta para os desafios que precisam ser superados. Com os investimentos corretos em tecnologia e capacitação, as cidades brasileiras têm um grande potencial para se tornarem mais eficientes, resilientes e sustentáveis.

O projeto teve suas limitações por causa do escopo e tempos propostos. Como perspectivas futuras, novos projetos em parceria com o poder público, a Universidade de Caxias do Sul e empresas locais podem ser desenvolvidos para minimizar e mitigar o impacto das deficiências tecnológicas discutidas, visando uma futura implantação da tecnologia de sensoriamento IoT em cidades de porte médio e pequeno.

REFERÊNCIAS

Ahmed, S., et al. (2021). Towards supply chain visibility using Internet of Things: A dyadic analysis review. *Sensors*, 21(12), 1–24. <https://doi.org/10.3390/s21123988>

Al-Sarawi, S., et al. (2017). Internet of Things (IoT) communication protocols: Review. In **International Conference on Information Technology (ICIT)**, 2017 (pp. 685–690). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICIT.2017.36>

Baum, S., Yigitcanlar, T., Horton, S., Velibeyoglu, K., & Gleeson, B. (2007). The role of community and lifestyle in the making of a knowledge city. Griffith University.

Bekkai, B., Bendjenna, H., & Kitouni, I. (2021). Internet of Things: A recent survey. In **International Conference on Recent Advances in Mathematics and Informatics (ICRAMI)**, 2021 (pp. 1–9). IEEE.

Bria, F., & Morozov, E. (2020). A cidade inteligente: Tecnologias urbanas e democracia. Ubu Editora.

Carrillo, F. J. (2002). Capital systems: Implications for a global knowledge agenda. **Journal of Knowledge Management**, 6(4), 379–399.

Chauhan, C., & Singh, A. (2020). A review of Industry 4.0 in supply chain management studies. **Journal of Manufacturing Technology Management**, 31(5), 863–886.

Dixit, V., & Verma, P. (2022). Identification, assessment, and quantification of new risks for Logistics 4.0. **International Journal of Logistics Research and Applications**, 0(0), 1–25.

Fachinelli, A. C., Yigitcanlar, T., Sabatini Marques, J., Cortese, T. T. P., Sotto, D., & Libardi, B. (2022). Smart cities of Brazil: Performance of Brazilian capital cities. **Journal of Urban Technology**.

Giffinger, R., Fertner, C., Kramar, H., Kalasek, R., Pichler-Milanovic, N., & Meijers, E. J. (2007). Smart cities: Ranking of European medium-sized cities. Final Report.

Gupta, H., et al. (2022). Strategies to overcome barriers to innovative digitalisation technologies for supply chain logistics resilience during pandemic. **Technology in Society**, 69, 101970.

Hassebo, A., & Tealab, M. (2023). Global models of smart cities and potential IoT applications: A review. *IoT*, 4(33), 366–411.

Kalsoom, T., et al. (2021). Impact of IoT on manufacturing industry 4.0: A new triangular systematic review. *Sustainability*, 13(22), 1–22.

Katoch, R. (2022). IoT research in supply chain management and logistics: A bibliometric analysis using VOSviewer software. *Materials Today: Proceedings*, 56, 2505–

2515.

Kumar, S., et al. (2022). Integrated blockchain and Internet of Things in the food supply chain: Adoption barriers. *Technovation*, 118, 102589.

Malik, P. K., et al. (2021). Industrial Internet of Things and its applications in Industry 4.0: State of the art. *Computer Communications*, 166, 125–139.

Odendaal, N. (2003). Information and communication technology and local governance: Understanding the difference between cities in developed and emerging economies. *Computers, Environment and Urban Systems*, 27(6), 585–607.

Ogbodo, E. U., Abu-Mahfouz, A. M., & Kurien, A. M. (2022). A survey on 5G and LPWAN-IoT for improved smart cities and remote area applications: From the aspect of architecture and security. *Sensors*, 22(1616), 6313.

Papa, R., Galderisi, A., Majello, M. C. V., & Saretta, E. (2015). Smart and resilient cities: A systemic approach for developing cross-sectoral strategies in the face of climate change. *TeMA - Journal of Land Use, Mobility and Environment*, 8(1), 19–49.

Pratt, A. C. (2008). Creative cities: The cultural industries and the creative class. *Geografiska Annaler: Series B, Human Geography*, 90(2), 107–117.

Quy, V. K., et al. (2022). IoT-enabled smart agriculture: Architecture, applications, and challenges. *Applied Sciences*, 12(77), 3396.

Rathore, B., et al. (2022). Identification and analysis of adoption barriers of disruptive technologies in the logistics industry. *International Journal of Logistics Management*, 33(5), 136–169.

Rejeb, A., et al. (2021). Integrating the Internet of Things in the halal food supply chain: A systematic literature review and research agenda. *Internet of Things (Netherlands)*, 13, 100361.

Růžička, J., Sliacky, M., Purkrábková, Z., & Hajčiarová, E. (2023). Opportunities of LoRaWAN technology for smart cities: A review. In *2023 Smart City Symposium Prague (SCSP)* (pp. 1–6). IEEE.

Tran-Dang, H., et al. (2022). The Internet of Things for logistics: Perspectives, application review, and challenges. *IETE Technical Review (Institution of Electronics and Telecommunication Engineers)*, 39(1), 93–121.

Treiblmaier, H., et al. (2020). The Physical Internet as a new supply chain paradigm: A systematic literature review and a comprehensive framework. *International Journal of Logistics Management*, 31(2), 239–287.

TTN, T. T. N. (2024). Especificação LoRaWAN. The Things Network. Disponível em: <<https://www.thethingsnetwork.org>>. Acesso em: 29 ago. 2024.

Virtanen, J., et al. (2010). Printed humidity sensor for UHF RFID systems. In IEEE Sensors Applications Symposium (SAS), 2010 (pp. 269–272). IEEE.

Wetherall, D. J., & Tanenbaum, A. S. (2013). Computer networks (5th ed.). Pearson Education.