

# CONTROLE DE CONSUMO DE ÁGUA E DETECÇÃO DE VAZAMENTOS COM REDE LORA

Eduardo Jose Cerreia Guedes

Rafael Hungaro Cabral

## RESUMO

A Internet das Coisas desenvolve-se muito bem nos grandes centros, porém ainda não está integrada à vida cotidiana da população de áreas urbanas no interior do país. Portanto, gera lacunas em grande parte das concessionárias de água que oferecem serviços nessas regiões, não atualizando seu parque de hidrômetros com novas tecnologias embarcadas. Essas lacunas devem ser preenchidas com o desenvolvimento de soluções confiáveis e de baixo custo para a medição do consumo de água e verificação de vazamento na tubulação interna de uma propriedade, exatamente uma fenda a ser preenchida pela presente pesquisa. O estudo visa validar o desenvolvimento de soluções de baixo custo, código aberto e rápida implementação, de forma que ocorra a criação cooperativa de soluções para monitorar o uso de água de uma propriedade, seja por produtos com valor acessível ou através do desenvolvimento de soluções caseiras. Caso as hipóteses da pesquisa sejam validadas, será possível identificar desvios de consumo e por consequência vazamentos, com soluções acessíveis à população.

**Palavras-chave: LoRa. IoT. Arduino. Raspberry pi. waziup. cidades inteligentes. medição automatizada.**

## 1 INTRODUÇÃO

Cidades distantes dos grandes centros, de forma geral, sofrem atraso na atualização de tecnologias modernas. No caso específico do fornecimento de água, mesmo as concessionárias atualizando seus hidrômetros, muitas das vezes, eles não são digitais, inviabilizando a integração com tecnologias emergentes.

Com todos esses obstáculos, os clientes continuam sofrendo com vazamentos não avistados, para os quais as concessionárias no estado de Minas Gerais permitem descontos em somente uma ocorrência no intervalo de 12 meses (ARSAE, 2019).

Visando contribuir para o melhor monitoramento do consumo de água por parte do consumidor, a presente pesquisa buscou criar um protótipo para suprir essa lacuna, baseado em uma plataforma de código aberto e confiável, integrando sensores de baixo custo em uma plataforma de prototipagem.

Projetos de IoT (*Internet Of Things*) exigem conhecimentos de diversas áreas, como computação, eletrônica e do negócio a ser desenvolvido, portanto, são considerados de alta complexidade. Dessa forma, a utilização de plataformas de código aberto em projetos de IoT, reduz o tempo de implementação de protótipos.

Quando baseado em conectividade LoRa, um projeto de IoT conta com a comunicação de sensores com um *gateway*, através de um protocolo de comunicação sobre radiofrequência, tornando a comunicação de baixo consumo energético e com uma grande área de cobertura, sendo assim extremamente vantajoso em comparação a outros protocolos, como BLE, Wi-Fi e ZigBee .

O sistema proposto foi projetado para ser inteligente o suficiente e aprender sobre o comportamento de consumo de água da propriedade, nessa fase inicial o projeto visa a construção de um protótipo para gerar dados históricos que possam ser utilizados por algoritmos de inteligência artificial, identificando os desvios no comportamento de utilização de recursos hídricos.

## **2 CONCEITOS GERAIS E TECNOLOGIAS UTILIZADAS**

O capítulo atual detalha os fundamentos teóricos utilizados no desenvolvimento do presente projeto, incluindo o desafio e a importância da verificação do consumo de recursos hídricos e as principais tecnologias para a automatização das medidas.

### **2.1 A importância da medição automatizada do consumo de água**

O desafio de medições automatizadas para consumo de água é um projeto que desperta muita atenção, muito pela razão de que o aumento constante no consumo de água potável indica que a consciência na sua utilização é fundamental para a sobrevivência dos seres humanos (MMA, 2015).

Segundo a visão de Minucci (2013, p. 58):

Do ponto de vista funcional, o sistema atual de leitura de hidrômetros necessita de uma remodelação que permita a confiabilidade na coleta de dados. Isto pode ser observado no sistema de abastecimento de água da cidade de Ponta Grossa, o qual apresenta índice de perda de 200 litros de água por ligações por dia, totalizando aproximadamente 6 mil litros por mês em cada economia cadastrada.

Uma das formas de fazer a previsão de vazamentos e desperdícios de água é através da medição de consumo. Furst de Souza et al (2016) validaram a pertinência da corrente proposta de verificação, instalando sensores de entrada de água e saída de água, analisando o fluxo de água em pontos estratégicos, obtendo relativo sucesso na experiência.

## **2.2 Medidores e redes LPWAN**

Baseado em dados da Global Water Metering Market Dataset (WMMD, 2019), a tecnologia LPWAN (*Low-Power Wide-Area*) LoRa vem crescendo em países emergentes como o Brasil, visto que ainda não implantaram medidores inteligentes.

Provedores de serviços vêm adotando a tecnologia LPWAN, como LoRaWAN, durante o período de transição para o 5G (Cisco, 2019, p. 9). Dessa forma, a escolha da tecnologia LoRa é justificável, devido à aceitação pelo mercado.

## **2.3 Placa microcontroladora**

A alta demanda por sistemas embarcados faz com que a importância dos microcontroladores, um circuito integrado com processador, cresça proporcionalmente. Em especial para sistemas computacionais compactos, de custo acessível, atendendo a um propósito específico (CARDOSO,2020).

O Arduino é uma placa microcontroladora de código aberto, que proporciona um desenvolvimento ágil e de baixo custo, podendo ser usada não somente no ensino de conceitos de eletrônica e programação, mas também no desenvolvimento de protótipos.

A plataforma, além de ser de baixo custo, fornece um ambiente de desenvolvimento (IDE) multiplataforma, tornando possível dar continuidade em um projeto nos diversos sistemas operacionais líderes de mercado, como Linux, Windows e MacOS (ARDUINO, 2020).

O Arduino Uno é baseado no microcontrolador ATmega328P, com uma velocidade de *clock* de 16 MHz e tensão operacional 5V, já a tensão da entrada de energia sugerida é de 7-12V. A placa controladora possui uma memória *flash* de 32 KB, sendo que 0,5 KB é reservada para *bootloader*; dispendo ainda de 2KB para SDRAM e 1KB para EEPROM (ARDUINO, 2020).

Para a entrada e saída de dados, existem 14 portas de I/O (Input/Output) digital, 6 portas de modulação (PWM) e 6 portas de I/O analógico. Já a codificação é feita através de uma linguagem similar ao C++, com algumas modificações e adições de funções nativas (ARDUINO, 2020).

Um programa criado com Arduino IDE é chamado de *sketch*, sendo salvo com a extensão .ino. o código possui duas estruturas principais: a declaração e o *loop* de execução, no qual será executado de forma ininterrupta quando o código é gravado na placa (ARDUINO, 2020).

A plataforma Arduino possui todas as características necessárias de *hardware* e *software* para a prototipagem de atuadores. Também apresenta diversos exemplos de código disponíveis pelos fornecedores de componentes, fazendo com que seja a opção mais atrativa para o desenvolvimento rápido de um protótipo.

## **2.4 Computador de baixo custo para sistemas embarcados**

A computação evoluiu rapidamente na última década, reduzindo o tamanho e custo dos computadores, porém aumentando o poder de processamento. Um exemplo são os smartphones, que na atualidade possuem capacidades que muitas vezes superam PCs (CANALTECH, 2020).

Um dos grandes fatores para essa revolução foi a evolução dos chips ARM (*Advanced RISC Machines*). Segundo Oliveira (2014), a arquitetura ARM vem sendo fortemente utilizada em sistemas embarcados, devido ao baixo consumo de energia e custo.

O Raspberry Pi é um exemplo de arquitetura ARM de baixo custo, surgindo como uma ideia na universidade de Cambridge (UK) focada no ensino de tecnologia para crianças. Entretanto, com o aumento da capacidade de processamento e redução de custo dos processadores, o equipamento passou a ser utilizado também no desenvolvimento de soluções relacionadas à Internet das Coisas e automação (DE ALMEIDA, 2015).

Atualmente diversos modelos de configurações estão disponíveis, porém a escolha de um modelo intermediário de uma geração anterior, como o *Raspberry Pi 3 Model B+*, garante a capacidade de processamento, memória e componentes, que atendem aos requisitos do protótipo com custos menores.

O modelo *Raspberry Pi 3 Model B+* possui um processador *Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53 (ARMv8) 64-bit SoC @ 1.4GHz*, com 1GB de memória LPDDR2 SDRAM, conectividade de 2.4GHz/5GHz, Bluetooth 4.2 BLE e Gigabit Ethernet over USB 2.0 (RASPBERRY PI ORG, 2020), permitindo conexões com diversos componentes auxiliares, desde áudio/vídeo até transceptores

Em relação à alimentação, existe uma porta para 5V e 2,5A, permitindo uma tensão de até 3,3V nas suas portas de GPIO. A corrente necessária será dependente dos componentes conectados ao raspberry pi, tipicamente 350mA atendem ao sistema, sem elementos adicionais (RASPBERRY PI ORG, 2020).

O sistema operacional oficial da plataforma é o raspbian, uma versão baseada no debian, entretanto, existem diversas opções de sistema operacionais, como LibreElec, Ubuntu, retro-pi, Oracle Linux, MS Windows IoT, etc (RASPBERRY PI ORG, 2020).

A instalação do sistema operacional é feita através da aplicação da imagem em um cartão micro SD, inserindo posteriormente o cartão no raspberry pi, ligando o equipamento e executando o *boot* com parâmetros para configuração desejada. Caso exista a necessidade de criar configurações específicas em larga escala, é possível gerar imagens após a conclusão de toda a configuração desejada, de forma que possa ser replicada, como no caso do projeto WAZIUP, que fornece uma imagem de seu LoRa *gateway* (WAZIUP, 2020).

Por ser um hardware de baixo custo e com poder computacional para suprir os requerimentos de um gateway LoRaWAN, além de flexibilizar a conexão de componentes adicionais de *hardware* e fornecer um ambiente propício ao desenvolvimento de aplicações na linguagem python, o raspberry pi é a melhor escolha para o protótipo proposto.

## **2.5 Sensor de controle de vazão**

A vazão é a quantidade de fluido que passa por uma seção transversal de um tubo em uma unidade de tempo, podendo ser aferida pela massa ou pelo volume. Diversos tipos de

sensores podem ser utilizados para essa medição, como o ultrassônico, o de pressão diferencial e o de turbina (MOURA, 2019).

O sensor YF-S201 (Fig. 1) faz a medição de fluxo de água para projetos eletrônicos, possuindo uma turbina, com um ímã acoplado, funcionando junto a um sensor do tipo hall. Dessa forma, cada ciclo da válvula envia pulsos para a medição da vazão de água (FILIFELOP, 2020), sendo necessária uma calibração para a operação.

Figura 1 - Sensor YF-S201.



Fonte: Usinainfo, 2020

Esse sensor suporta uma vazão de 1-30 Litros por minuto e uma pressão de até 1.75MPa, com uma tensão de trabalho de 4,5V e uma corrente máxima de trabalho de 15mA (USINAINFO, 2020).

Devido ao fato de ser um sensor de baixo custo, é possível que o modelo não suporte as variações de vazão e pressão geradas pelas concessionárias, mesmo que sua especificação informe que possa atender até 15 bar de pressão (Por volta de 1,5 MPa). Com isso, caso o sensor esteja localizado logo após ao cavalete de entrada do hidrômetro, é sugerida a instalação de um redutor de pressão no sensor de entrada de água.

## 2.6 Protocolos LoRA e LoRaWAN

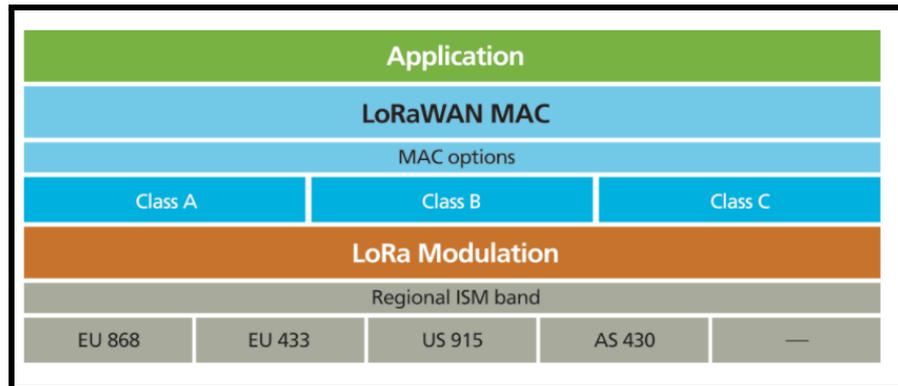
No cenário tecnológico atual, diversos dispositivos estão conectados e trocando informações, tornando necessário um protocolo robusto, aberto e padronizado, que permita essa troca de dados com segurança e um baixo consumo energético.

O protocolo LoRa (*Long Range*) veio suprir essa lacuna, baseado em radiofrequência, desenvolvido e patentado pela Semtech, permitindo comunicações de longa distância com baixo consumo energético, operando nas bandas 433MHz, 868MHz e 915MHz (AGUSTIN, 2016).

Implementando uma técnica de modulação por espalhamento espectral CSS (*Chirp Spreading Spectrum*) na camada física, o protocolo varia a frequência mantendo um sinal resistente a interferências por ruídos e/ou sinais com frequências próximas (ORTIZ, 2019).

LoRaWAN é uma especificação aberta de LPWAN (*Low Power Wide Area Network*), que usa a tecnologia LoRa na modulação em sua camada física (SEMTECH,2020), porém define o padrão para as camadas superiores (Fig. 2).

Figura 2 - LoRaWAN Stack.

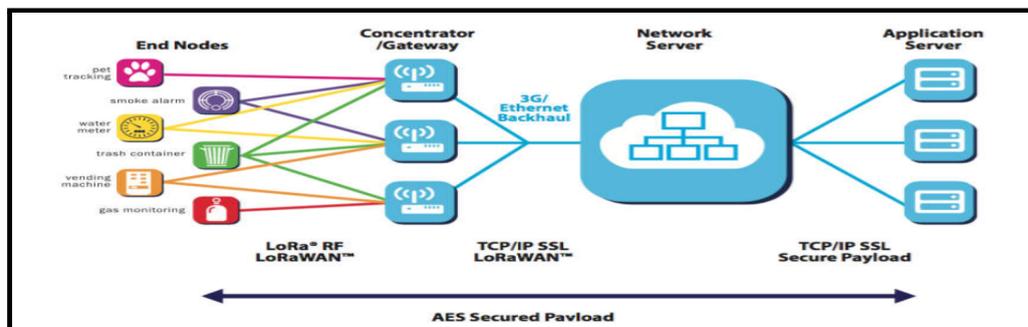


Fonte: Semtech, 2020

A associação LoRa Alliance, criada em 2015, padroniza e promove a tecnologia LoRaWAN, além de certificar produtos para esse mercado (LORA ALLIANCE, 2020). Apesar de ser uma entidade que cresce ano a ano, projetos com necessidades diferentes podem seguir outros modelos de padronização, já que LoRaWAN é de código aberto.

A arquitetura de redes LoRaWAN (Fig. 3) consiste em em uma topologia estrela, de forma que os atuadores enviam dados para um servidor de rede através de um *gateway*, a comunicação entre atuadores e o *gateway* ocorre via modulação LoRa na camada física, já o gateway envia os dados, via TCP/IP, para o servidor de rede (SEMTECH, 2020).

Figura 3 - LoRaWAN topology.



Fonte: Semtech, 2020

O servidor de aplicação tem a função de tratar informações e aplicar técnicas de inteligência artificial e *machine learning*, buscando a solução de problemas do mundo real, usando como fonte de dados a informação bruta coletada pelos sensores (SEMTECH, 2020).

## 2.7 Transceptor LoRA e placa de circuito de código livre

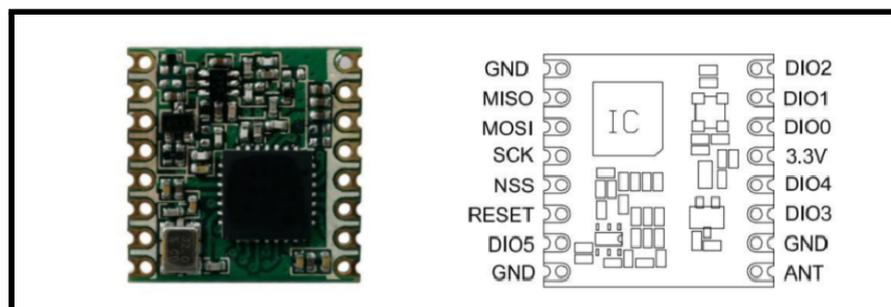
Um transceptor, também chamado de *transceiver*, é um dispositivo que emite e recebe sinais para a comunicação de uma rede, utilizando determinado meio físico e protocolo de comunicação (TOMASINI, 2011).

Desenvolvido pela Hoperf, o transceptor LoRa rfm95w (Fig. 4) utiliza uma técnica de modulação que pode atingir uma sensibilidade de mais de -140dBm (decibel miliwatt), através de cristais baixo custo (HOPERF, 2020), reduzindo assim seu preço de mercado.

Com uma tensão de 3,3V para execução, este transceptor atende as bandas de 433 MHz, 868 MHz e 915 MHz (HOPERF, 2020), sendo necessária especial atenção na sua aquisição, pois as configurações de banda são inseridas na fabricação.

O transceptor utiliza o protocolo SPI para a comunicação de dados, através de um circuito de processamento que tem a função de interface entre o modulador/demodulador e as unidades de controle DIO e SPI .

Figura 4 - Transceptor LoRa RFM95W e pinout .

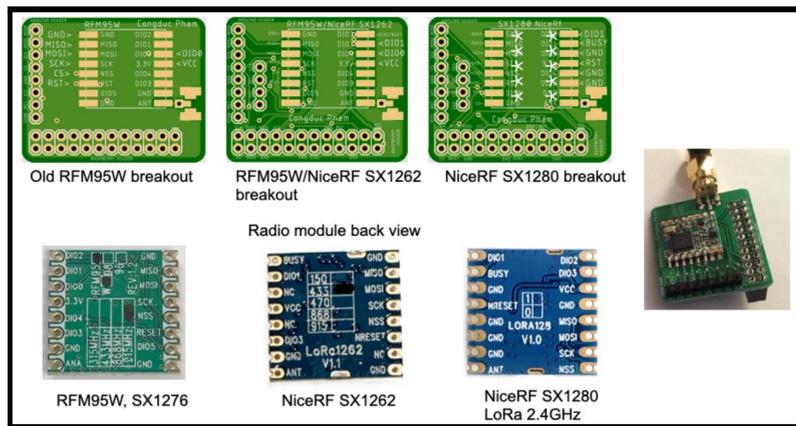


Fonte: Hoperf, 2020

O circuito pode ser executado em dois modos possíveis, contínuo ou pacote. O modo contínuo, transmite todo bit em tempo real, diferente do modo pacote, que faz o envio e recebimento dos bytes de *payload* automaticamente montados.

Para o presente projeto, o transceptor será acomodado em uma placa de código aberto da WAZIUP, de forma que possa ser facilmente conectado tanto nos atuadores e *gateway* (Fig. 5).

Figura 5 - PCB Genérica de código livre para RFM95W .



Fonte: Waziup, 2018

O projeto WAZIUP também oferece desenhos de PCBs que se enquadram aos modelos específicos de menor custo, como Nano ou Mini, de forma que as PCBs tenham um mapeamento permitindo encaixes diretos (*hats*), evitando o uso de cabos *jumpers*.

## 2.8 Gateway LoRaWAN de código livre

A arquitetura de uma topologia LoRaWAN tem como seu principal componente o *gateway* LoRa, responsável pela comunicação via LoRa com os atuadores e via TCP/IP com o network server.

Apesar de a camada física ser propriedade da Semtech e de as camadas superiores serem padronizadas pela LoRa Alliance, a arquitetura de rede LoRaWAN é de código aberto, podendo assim ser customizadas.

Um *gateway* LoRaWAN *multichannel* é recomendado por alguns projetos, como o *The Things Network* (TTN, 2017), não suportando o registro de *gateways single channel* em sua rede LoRaWAN. Entretanto, outros projetos entendem que a disponibilidade de *gateways single channel* viabilizam arquiteturas de baixo custo, suportando essa configuração, contribuindo com códigos e documentos de apoio aos usuários de sua solução, como a iniciativa WAZIUP (PHAM, 2017).

Com filosofia de código aberto, pensando em democratizar a IoT e ciente de que projetos em países de terceiro mundo só seriam viabilizados com custos baixos (PHAM, 2017), o WAZIUP disponibiliza imagens para *gateways*, desenhos de circuitos e todo o *software* necessário para uma rápida implementação de projetos de IoT, mesmo não sendo executado por um especialista da área (PHAM, 2016).

Chamado de WaziGate, o *gateway* LoRa da WAZIUP fornece grande parte do *software* necessário, permitindo envio de dados para o servidor de redes via MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) e HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*), *access point* de rede Wi-Fi, atualização em interface gráfica, dentre outras características (PHAM, 2020), acelerando o tempo de implementação e automatizando a configuração.

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

A proposta de pesquisa foi realizada inicialmente com um estudo bibliográfico de materiais com temas relativos ao controle de consumo de água e hidrômetros digitais, visto que poderiam ser aproveitadas as técnicas e padrões utilizados em medições de consumo de água.

Na presente pesquisa, foi desenvolvido um protótipo com a aplicação do método experimental, em uma abordagem quantitativa, coletando dados sobre os resultados dos experimentos para a conclusão das hipóteses levantadas.

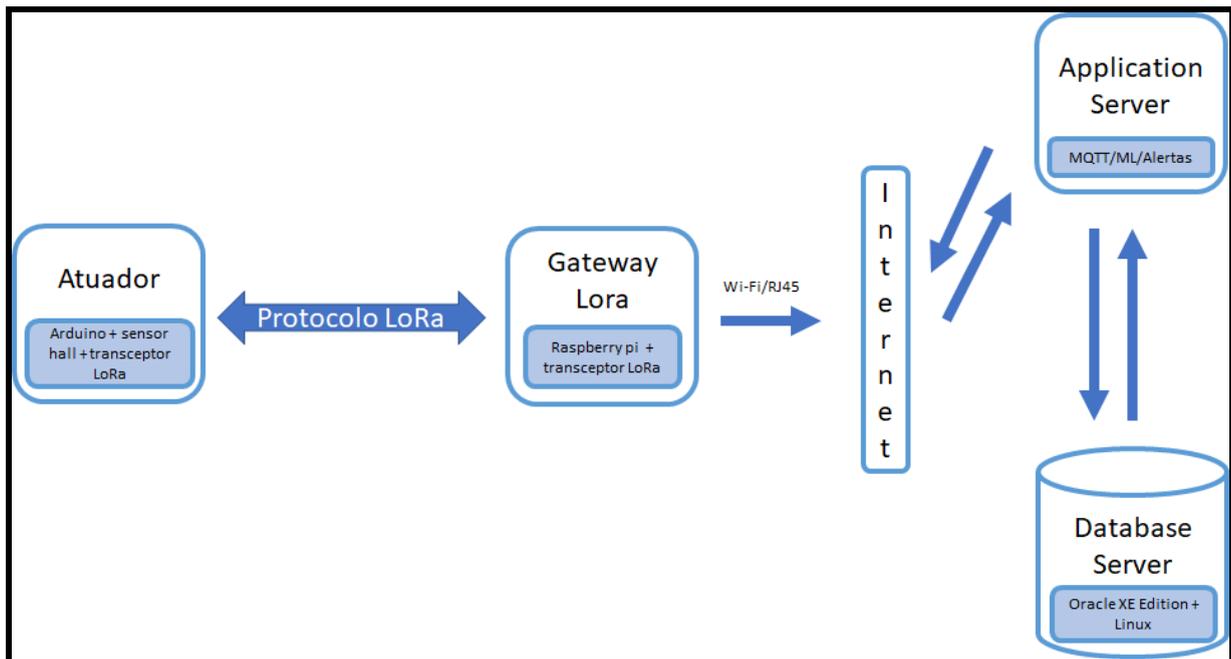
#### **3.1 Visão macro de arquitetura e funcionalidade**

A arquitetura do protótipo consiste em um *gateway* LoRa de código aberto, recebendo dados de dois sensores de fluxo de vazão do tipo *hall*, um logo após o hidrômetro e outro na tubulação de saída da caixa d'água. Os sensores são controlados através de placas de prototipagem de código aberto, acopladas a um módulo de comunicação LoRa de um canal, similar ao utilizado no *gateway*.

O *gateway* está conectado à internet, recebendo dados dos sensores e realizando tratamentos, para posterior envio ao servidor de aplicação na nuvem. O diagrama (Fig. 6) explica visualmente a arquitetura do protótipo proposto.

Dos servidores em execução na nuvem, um tem a função de servidor de aplicação e o outro de servidor de bancos de dados. Dessa forma, o trabalho de processamento maciço não é executado no *gateway*, mas na nuvem, possibilitando assim escalabilidade e disponibilidade, requisitos para uma solução robusta e confiável.

Figura 6 - Arquitetura.



Fonte: Autor, 2020

O servidor de aplicação é capaz de consultar os dados históricos diariamente, avaliando se houve alguma anomalia de consumo, que, quando confirmada, emitirá alertas via e-mail, entretanto, para a redução da granularidade do intervalo da análise, é preciso um maior período de coleta de dados.

### 3.2 Atuadores LoRa

Os sensores são baseados em placas de prototipagem de código aberto, inicialmente em Arduino UNO, com o medidor de vazão YF-S201 de 1/2", além de um módulo de transceptor LoRa rfm95, previamente soldado em uma PCB de código aberto da WAZIUP.

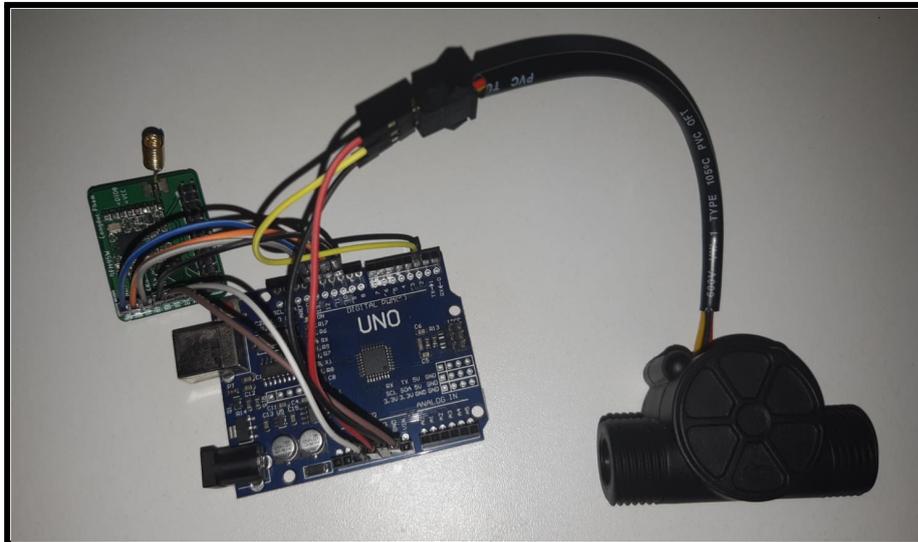
As portas utilizadas no arduino para o transceptor foram 10, 11, 12 e 13, além da energia de 3,3V e terra. Para o sensor de vazão, foi utilizada a porta 2, além da energia de 5V e terra.

O atuador foi programado para enviar pacotes LoRa para o gateway, a cada 10 minutos, através da frequência brasileira de 915MHz, no canal de 913.88MHz.

O sensor de vazão coleta os pulsos via interrupção, obtendo assim uma maior precisão. Visando a redução do consumo de energia, o módulo do transceptor é ligado somente durante o envio da mensagem.

O cálculo do volume é feito através da medição de pulsos, usando uma base de um 0,45 unidades de pulso por ml de volume de água, visto que durante a calibração, pode-se confirmar que o sensor utiliza aproximadamente 450 pulsos por litro de água.

Figura 7 - Setup transceptor.



Fonte: Autor, 2021

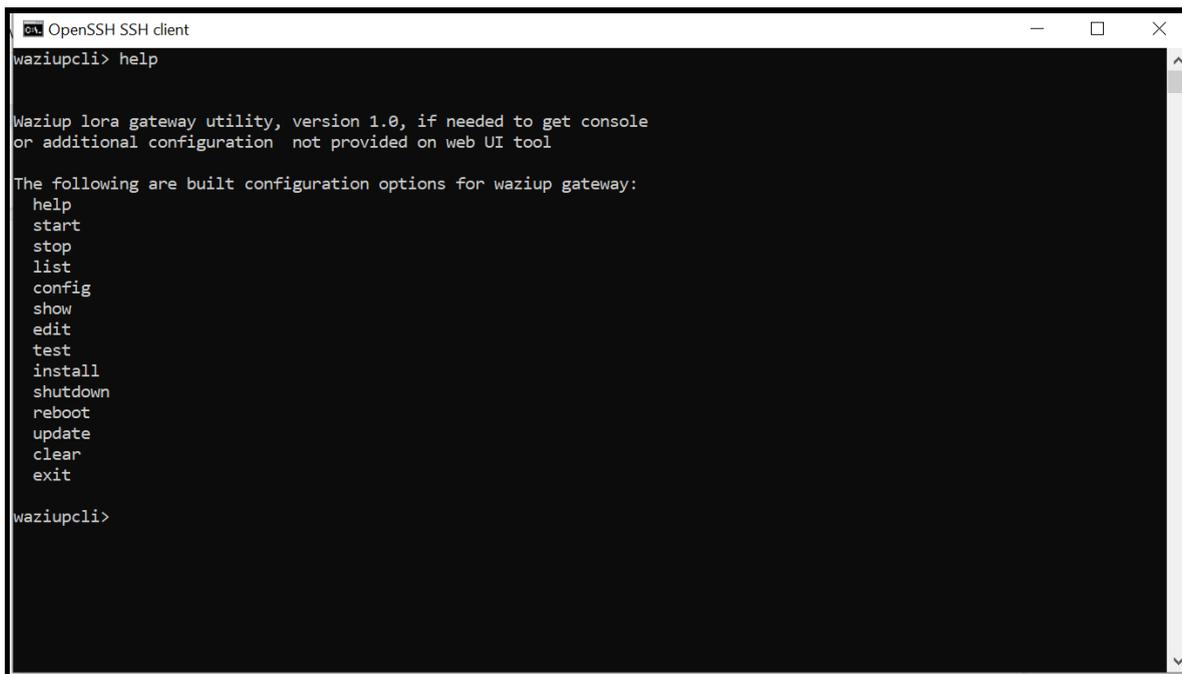
### 3.3 Gateway LoRaWAN WaziGate

O *gateway* LoRa, configurado na plataforma Raspberry pi 3, utilizou um transceptor LoRa rfm95 *single channel*, similar ao do atuador. Uma vez que é necessário o acesso do *gateway* à internet, permitindo assim o envio de dados dos atuadores para a nuvem, a interface RJ45 foi conectada em um roteador com acesso à rede, a interface Wi-Fi integrada foi utilizada para *access point*, já que a imagem aplicada funciona como um roteador de rede sem fio, sendo necessário ajustar o script *rc.local* para incluir uma regra para permitir o acesso a internet, quando conectado ao LoRa *gateway*.

A imagem do gateway LoRa WAZIUP aplica ao *Raspberry pi* foi customizada, sendo ajustado o canal para a frequência brasileira de 915MHz, usando o canal de 913.88MHz, além de envio para o MQTT broker configurado na nuvem da Oracle (OCI).

Outra importante customização foi o desenvolvimento de um programa similar a uma *bash shell*, chamado *waziupcli*, bloqueando o acesso ao sistema operacional via terminal do gateway com a execução do utilitário pelo script de inicialização *rc.local*. Dessa forma, todos os comandos necessários para a manutenção passaram a ser executados através de comandos do utilitário, reutilizando parte do código original como bibliotecas.

Figura 8 - Gateway com waziupcli.



```
OpenSSH SSH client
waziupcli> help

Waziup lora gateway utility, version 1.0, if needed to get console
or additional configuration not provided on web UI tool

The following are built configuration options for waziup gateway:
  help
  start
  stop
  list
  config
  show
  edit
  test
  install
  shutdown
  reboot
  update
  clear
  exit

waziupcli>
```

Fonte: Autor,2021

O *gateway* oferece diversas opções para envio de dados, uma delas é para um MQTT *broker*. Esta foi a opção configurada via interface web do próprio *gateway*, de forma que os pacotes LoRa recebidos fossem redirecionados para o MQTT *broker* configurado previamente.

Apesar de existir a opção de configuração de envio para um MQTT *broker*, permitindo assim um ajuste na configuração sem alteração de código, foi necessária uma modificação no script python que executa essa função, já que o mesmo testava a conexão procurando uma configuração específica do broker de teste WAZIUP, dessa forma, o trecho de código foi comentado para o protótipo.

### 3.4 Testes de alcance do transceptor LoRa

Para verificar o alcance do transceptor LoRa no ambiente urbano, foi executado um teste de alcance no bairro Bom Clima, em Juiz de Fora, MG, através de um código de teste para envio de 10 pacotes em um intervalo de 90 segundos, mantendo na placa de protótipo somente o transceptor. O *gateway* estava localizado na rua Av. Dr Otávio Dias Moreira, número 30, no segundo andar de uma casa, em um cômodo dentro do imóvel.



oferece sem custo um endereço ip público, permitindo assim que os pacotes LoRa fossem redirecionados para o *broker* na nuvem.

Outro fator relevante foi a facilidade de implementação de um serviço de banco de dados autônomo, evitando dessa forma a necessidade de criação de servidores, instalação e atualizações de software, criação e gerenciamento do banco de dados. Além de todas essas vantagens, o serviço de *autonomous database* permitiu o desenvolvimento de um *dashboard* para acompanhamento dos dados enviados para o banco de dados, através de uma ferramenta de desenvolvimento rápido de aplicações, denominada APEX.

#### **4 RESULTADO DOS TESTES DE INTEGRAÇÃO**

Os testes de disponibilidade, como falha de conexão de internet e desligamento de sensores não foram executados, já que exigiria um esforço adicional de adaptação do código do *gateway*, de forma que dados fossem salvos localmente para posterior envio. Também seria necessária a adição de um dispositivo de armazenamento nos atuadores, requerendo dessa forma componentes adicionais de *hardware*, como o módulo de leitor de cartão.

Para abreviar o tempo com os testes funcionais sugeridos no projeto de pesquisa, criou-se um modelo com tubulação de ½ polegada, similar ao cavalete do hidrômetro (Fig. 10). Entretanto, foi adicionado um registro no meio do cavalete, com o objetivo de simular cenários de vazamento.

A entrada de água no sistema foi uma mangueira conectada a rede interna da casa, conectando as saídas de vazamento e principal em dois baldes (Fig. 10), coletando os dados de consumo através de dois sensores, o primeiro instalado na após a entrada de água e o segundo instalado saída de água.

Para a execução dos testes, foi preciso alterar o código para reduzir o tempo do envio de pacotes LoRa, de 10 minutos para 1 minuto. Também houve alteração no código dos *dashboards*, agrupando os dados por minuto e não mais por hora.

Os atuadores estavam localizados na área térrea e externos a casa, enviando dados para o *gateway*, na área superior do imóvel. Ao receber as mensagens, o *gateway* redirecionou para o MQTT *broker* na nuvem da Oracle, que por sua vez gravou os dados no banco de dados autônomo.

Figura 10 - Protótipo de testes.



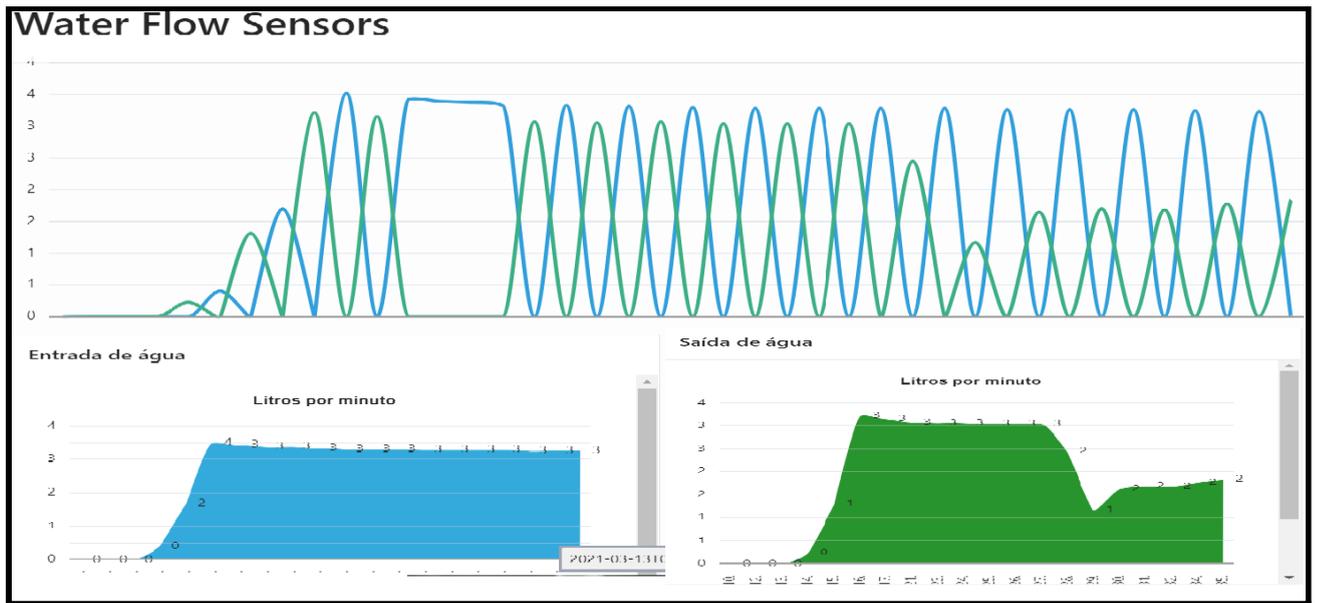
Fonte: Autor,2021

#### 4.1 Simulação de vazamento externo

O primeiro cenário de testes teve o objetivo de validar o vazamento externo da tubulação de água (antes de entrar na caixa d'água). Para isso, após a coleta do fluxo regular de água, abriu-se o registro central, dividindo o fluxo de água de água pela tubulação de saída (coletado pelo sensor) e pela tubulação central (sem coleta de dados). Dessa forma, o valor de entrada da água ficaria superior ao da saída de água (simulando a saída da caixa d'água para a rede interna).

Como pode ser visto nos gráficos extraídos do *dashboard* (Fig. 11), após a estabilização da medição do fluxo, obteve-se aproximadamente 3 litros por minuto de consumo. Logo após a estabilização, houve a abertura do registro central, que emulou o cenário de vazamento, evidenciando a redução de aproximadamente 30% na medição de saída de água. Esses dados indicam que parte da água que entrou no sistema, não chegou até a caixa d'água.

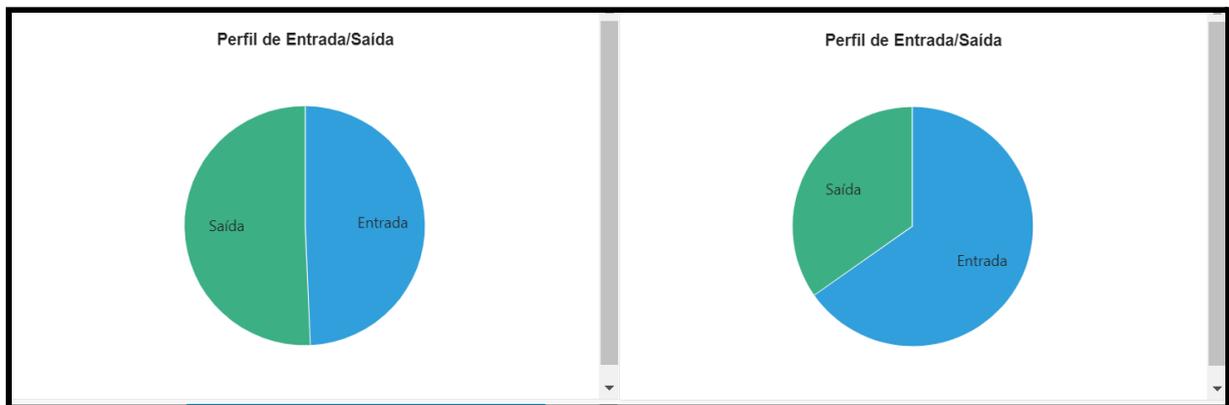
Figura 11 - Gráficos do dashboard - Teste vazamento externo



Fonte: Autor,2021

Esses dados ficam ainda mais claros, quando comparados os gráficos acumulados de entrada e saída de água, durante um consumo esperado com o consumo durante o vazamento (Fig 12).

Figura 12 - Gráficos do dashboard - Consumo acumulado



Fonte: Autor,2021

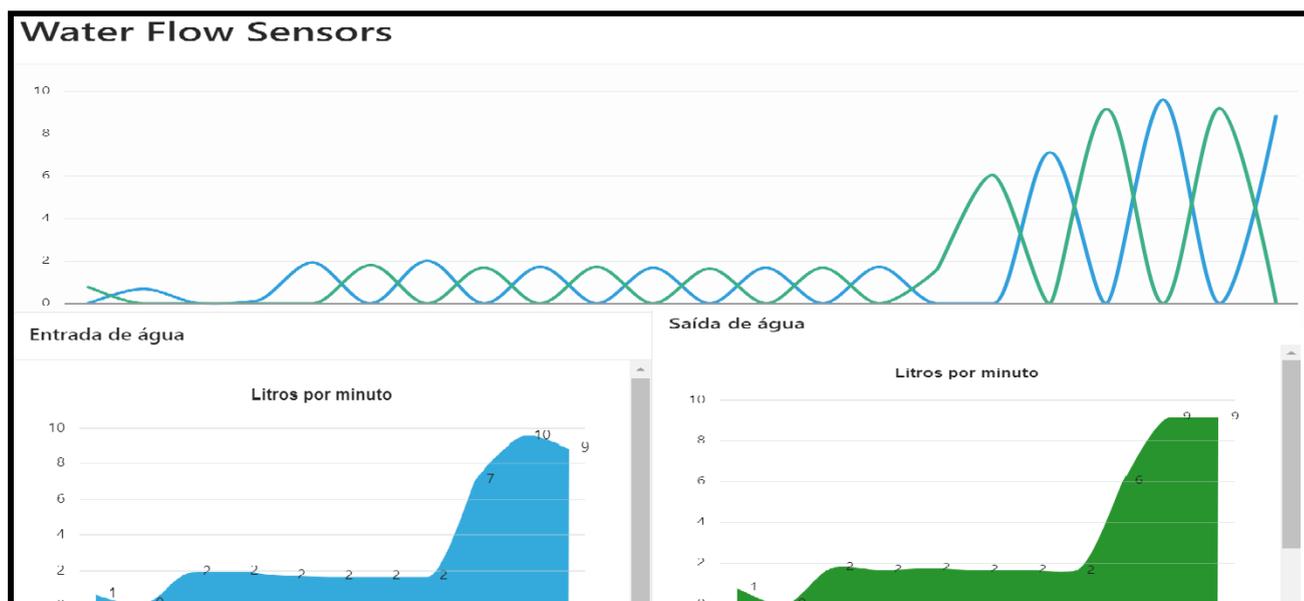
A proporção da entrada e saída evidenciam que parte da água que entrou no sistema foi desperdiçada.

## 4.2 Simulação de vazamento interno

O segundo cenário de testes teve o objetivo de validar o vazamento interno da tubulação de água (após sair da caixa d'água), para isso, após a coleta do fluxo regular de água, aumentou-se o volume de água, de forma que ficasse claro o aumento de consumo. Mesmo havendo entrada e saída de água similares no sistema, gerando registros iguais, os valores deveriam ser superiores ao consumo regular .

Como pode ser visto nos gráficos extraídos do *dashboard* (Fig. 13), após a estabilização da medição do fluxo, obtendo-se aproximadamente 2 litros por minuto, houve a abertura do registro de entrada de água, simulando assim um cenário de vazamento interno, mostrando houve um aumento no consumo de 450% na medição de entrada e saída de água. Dessa forma, indicando que a água estaria sendo desperdiçada após a caixa d'água.

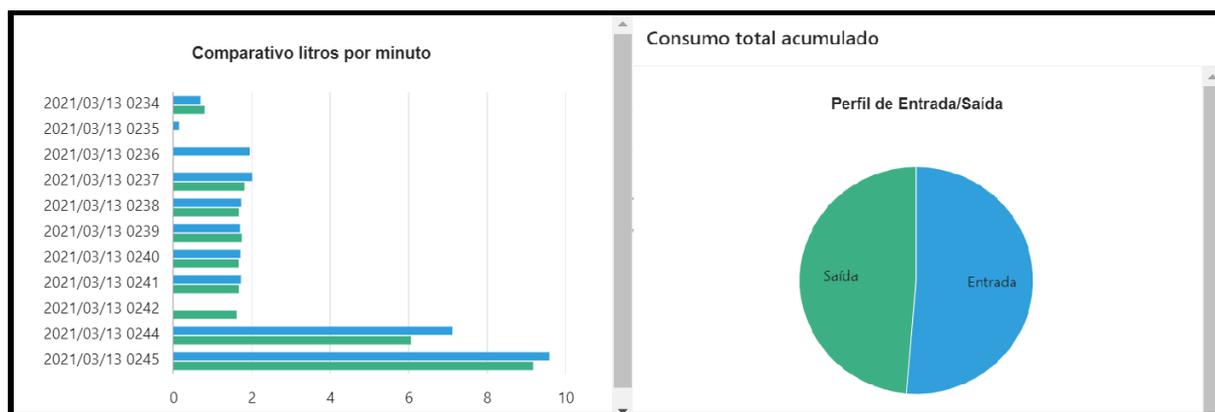
Figura 13 - Gráficos do dashboard - Teste vazamento interno



Fonte: Autor,2021

Esses dados ficam ainda mais claros, quando comparados os gráficos acumulados de entrada e saída de água (Fig. 14).

Figura 14 - Gráficos do dashboard - Consumo acumulado



Fonte: Autor,2021

O consumo de entrada e saída são similares, entretanto nota-se um aumento significativo do consumo.

## 5 CONCLUSÃO

Ao desenvolver o protótipo e analisar os dados obtidos, é possível concluir que o desenvolvimento de projetos LoRa de baixo custo, com confiabilidade e rápido desenvolvimento, pode ser atingido quando utilizada tecnologia de código aberto.

O valor gasto com o *hardware* utilizado no protótipo, sendo um raspberry pi 3, 2 arduinos uno, 3 transceptores rfm95w e dois sensores de vazão foi de aproximadamente R\$ 750, sendo que o melhor preço encontrado para um *gateway* LoRa nacional foi de aproximadamente R\$ 2000.

Mesmo visando o baixo custo como um dos objetivos, o protótipo conseguiu fazer a medição dos parâmetros desejados, além de ter uma cobertura de comunicação que atende aos requerimentos do projeto, podendo ser utilizado em pequenos bairros, condomínios ou prédios.

Em relação à verificação de vazamentos fazendo as medições de entrada e saída de água, os resultados do estudo indicam que é uma opção viável, desde que sejam armazenados os dados históricos de consumo, permitindo assim a aplicação de algoritmos e verificação de padrões.

O uso do APEX foi um diferencial do banco de dados na nuvem escolhido, permitindo a visualização dos dados para execução dos testes do protótipo, já que o desenvolvimento do aplicativo na plataforma Django consumiria um tempo adicional de pelo

menos 1 mês, inviabilizando o acompanhamento dos resultados durante os testes para a entrega do projeto

Os gráficos dos testes, gerados pelos *dashboards* no APEX, apontam que durante os cenários de vazamento, os valores obtidos pelos sensores demonstram que o perfil de utilização é alterado, portanto, poderiam ser utilizados como entradas para detecção automática por algoritmos de IA e ML.

Como trata-se de uma pesquisa complexa, envolvendo diversas disciplinas estudadas ao longo do curso, como redes de computadores, bancos de dados, programação e projetos para internet, ao mesmo tempo com tempo limitada, não foi possível a implementação de todos os tópicos desejados para a construção de um produto para o mercado de forma imediata.

A pesquisa está em fase inicial, tendo sido realizados estudos até a verificação de viabilidade técnica do protótipo. Dessa forma, as seguintes atividades precisam ser executadas, para a continuidade do projeto: colocação do código do projeto no *github*, desenvolvimento de aplicativo de *front-end* para o sistema, desenvolvimento de algoritmos de *machine learning* para identificação de padrões, desenvolvimento de placa de circuito para uso específico, análise de consumo de energia dos atuadores, análise detalhada de perdas de pacotes LoRa e mitigação do código para perdas de pacotes.

## **CONTROL OF WATER CONSUMPTION AND LEAK DETECTION WITH LORA NETWORK**

### **ABSTRACT**

The Internet of Things has developed very well in large cities, but it is not yet integrated into the daily life of the population of urban areas in the interior of the country. This creates gaps in most of the water utilities that provide services in these regions, not updating their water meter park with new IoT technologies, these gaps must be filled with the development of special and low-cost solutions for water metering and verification of leakage in the internal piping of a property, exactly a slit to be filled by this research. The study aims to validate the development of low-cost, open-source and rapid implementation solutions, in order to create cooperative solutions to monitor the use of water on a property, either for products with

affordable value or through the development of homemade solutions. If the research hypotheses are validated, it will be possible to identify consumption deviations and consequently leaks, with solutions derived from the population.

**Keywords: LoRa. IoT. Arduino. Raspberry pi. waziup. smart cities. automated metering.**

## REFERÊNCIAS

- ARDUINO. **Arduino Uno Rev3**. Disponível em <<https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>>. Acesso em: 16 de Novembro de 2020.
- ARSAE. **Resolução ARSAE-MG 131**. Disponível em <[http://arsae.mg.gov.br/images/documentos/legislacao/2019/Resoluo%20ARSAE\\_MG%20n131.2019\\_Cond\\_Gerais.pdf](http://arsae.mg.gov.br/images/documentos/legislacao/2019/Resoluo%20ARSAE_MG%20n131.2019_Cond_Gerais.pdf)>. Acesso em: 23 de Fevereiro de 2021
- ALVES, Renato Augusto de Paula. **Solução de monitoramento de consumo de água residencial**. Centro universitário Eurípedes de Marília. Marília, SP - Brasil, 2015. Disponível em: <<https://aberto.univem.edu.br/bitstream/handle/11077/1385/SOLU%C3%87%C3%83O%20DE%20MONITORAMENTO%20DE%20CONSUMO%20DE%20%C3%81GUA%20RESIDENCIAL%20-%20ALVES%20-%202015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 29 de Outubro de 2020.
- AUGUSTIN, Aloys . **A study of LoRa: Long range & low power networks for the Internet of things**. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/307965130\\_A\\_Study\\_of\\_LoRa\\_Long\\_Range\\_Low\\_Power\\_Networks\\_for\\_the\\_Internet\\_of\\_Things](https://www.researchgate.net/publication/307965130_A_Study_of_LoRa_Long_Range_Low_Power_Networks_for_the_Internet_of_Things)>. Acesso em: 18 de Novembro de 2020.
- BEGHINI, Lucas Bragazza. **Automação residencial de baixo custo por meio de dispositivos móveis com sistema operacional Android**. Universidade de São Paulo - Escola de engenharia de São Carlos – Departamento de engenharia elétrica. São Carlos, SP - Brasil, 2013. Disponível em: < [http://www.tcc.sc.usp.br/tce/disponiveis/18/180450/tce-04022014-152853/publico/Beghini\\_Lucas\\_Bragazza.pdf](http://www.tcc.sc.usp.br/tce/disponiveis/18/180450/tce-04022014-152853/publico/Beghini_Lucas_Bragazza.pdf) >. Acesso em: 29 de Outubro de 2020.
- CARDOSO, Matheus. **O Que É Um Microcontrolador?**. IEEE. Disponível em: <<https://edu.ieee.org/br-ufcgras/o-que-e-um-microcontrolador>> . Acesso em: 18 de Novembro de 2020.
- CANALTECH. **Smartphones se tornaram poderosos o suficiente para substituir os PCs?**. Disponível em: <<https://canaltech.com.br/smartphone/smartphones-se-tornaram-poderosos-o-suficiente-para-substituir-os-pcs-137241/>>. Acesso em: 18 de Novembro de 2020.

CISCO. **Demystifying 5G in Industrial IOT**. Disponível em <[https://www.cisco.com/c/dam/en\\_us/solutions/iot/demystifying-5g-industrial-iot.pdf](https://www.cisco.com/c/dam/en_us/solutions/iot/demystifying-5g-industrial-iot.pdf)> . Acesso em: 17 de Novembro de 2020.

DA SILVA, Vanessa Cecília. **Estudo de Técnicas de Controle de Vazão Aplicadas ao Controle de Nível de Tanques Industriais**. universidade Federal de ouro Preto. João Monlevade, MG - Brasil, 2018. Disponível em: <[https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/992/1/MONOGRRAFIA\\_EstudoT%C3%A9cnicasControle.pdf](https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/992/1/MONOGRRAFIA_EstudoT%C3%A9cnicasControle.pdf)>. Acesso em: 18 de Novembro de 2020.

DE ALMEIDA, André Gustavo Duarte. **Conhecendo o Raspberry Pi: Possibilidades de uso em contextos educacionais e profissionais**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia. Parnamirim, RN - Brasil, 2013. Disponível em: <<https://docente.ifrn.edu.br/andrealmeida/palestras/ensol-conhecendo-o-raspberry-pi>>. Acesso em: 16 de Novembro de 2020.

DE SOUZA, Andrey Furst. **Sistema supervisorio para monitoramento de consumo de água**. Universidade Tecnologia Federal do Paraná. Ponta Grossa, PR - Brasil, 2016. Disponível em: <[https://nupet.daelt.ct.utfpr.edu.br/tcc/engenharia/doc-equipe/2015\\_2\\_07/2015\\_2\\_07\\_final.pdf](https://nupet.daelt.ct.utfpr.edu.br/tcc/engenharia/doc-equipe/2015_2_07/2015_2_07_final.pdf)>. Acesso em: 29 de Outubro de 2020.

FERREIRA, Emerson B. **Implementação de um Protótipo de Hidrômetro Digital com Suporte a Envio Remoto de Dados**. Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI). Itajaí, SC - Brasil, 2018. Disponível em: <<http://www.etic.ifc-camboriu.edu.br/2018/pdf/14.pdf>>. Acesso em: 29 de Outubro de 2020.

FILIPEFLOP. **Sensor de Fluxo de Água 1/2" YF-S201b**. Disponível em <<https://www.filipeflop.com/produto/sensor-de-fluxo-de-agua-12-yf-s201>> . Acesso em: 17 de Novembro de 2020.

HOPERF. **Low Power Long Range Transceiver Module**. Disponível em <<https://www.hoperf.com/data/upload/portal/20190801/RFM95W-V2.0.pdf>> . Acesso em: 17 de Novembro de 2020.

LEMOS, Alexandre Rosa. **Desenvolvimento de sistema eletrônico de monitoramento de consumo de água em habitações de interesse social**. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, PR - Brasil, 2018. Disponível em: <<http://www.eletrica.ufpr.br/tcc/2018/2s/Alexandre%20Rosa%20Lemos/Relat%C3%B3rio%20TCC%20Alexandre%20Rosa%20Lemos.pdf>>. Acesso em: 29 de Outubro de 2020.

LORA ALLIANCE. **What is the LoRaWAN® Specification?**. Disponível em: <<https://lora-alliance.org/about-lorawan>>. Acesso em: 18 de Novembro de 2020.

MINUCCI, Amanda da Silva. **Automatização no processo de leitura de hidrômetros**. Universidade Tecnologia Federal do Paraná. Ponta Grossa, PR - Brasil, 2013. Disponível em: <[http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/9713/1/PG\\_DAELE\\_2013\\_2\\_08.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/9713/1/PG_DAELE_2013_2_08.pdf)>. Acesso em: 29 de Outubro de 2020.

MMA, Ministério do Meio Ambiente. **Portal Eletrônico**. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/estruturas/secex\\_consumo/\\_arquivos/3%20-%20mcs\\_agua.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/secex_consumo/_arquivos/3%20-%20mcs_agua.pdf)>. Acesso em: 29 de Outubro de 2020.

MOURA, Camila. **IoT Aplicado ao Monitoramento Inteligente de Distribuição de Água**. Universidade de Campinas. Campinas, SP - Brasil, 2019. Disponível em: <[https://smartcampus.prefeitura.unicamp.br/pub/artigos\\_relatorios/Rafael-IoT\\_Aplicado\\_ao\\_Monitoramento\\_Inteligente\\_de\\_Distribuicao\\_de\\_Agua.pdf](https://smartcampus.prefeitura.unicamp.br/pub/artigos_relatorios/Rafael-IoT_Aplicado_ao_Monitoramento_Inteligente_de_Distribuicao_de_Agua.pdf)>. Acesso em: 29 de Outubro de 2020.

OLIVEIRA, W. R. Arquitetura ARM11 – (Advanced Risc Machines). 5º Congresso Científico da Semana Tecnológica – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, IFSP. 2014. Disponível em: <<http://bra.ifsp.edu.br/eventos/index.php/concistec/concistec14/paper/download/259/18>>. Acesso em: 18 de Novembro de 2020.

PHAM, Congduc. **Open Innovation Platform for IoT-Big data in Sub-Sahara Africa**. Disponível em: <[http://cpham.perso.univ-pau.fr/LORA/WAZIUP/WAZIUP\\_D21\\_Version-1.1-low-res.pdf](http://cpham.perso.univ-pau.fr/LORA/WAZIUP/WAZIUP_D21_Version-1.1-low-res.pdf)>. Acesso em: 18 de Novembro de 2020.

RASPBERRY PI ORG. **Raspberry Pi hardware**. Disponível em <<https://www.raspberrypi.org/documentation/hardware/raspberrypi/power/README.md>> . Acesso em: 17 de Novembro de 2020.

SEMTECH. **What is the LoRa?**. Disponível em: <<https://www.semtech.com/lora/what-is-lora>>. Acesso em: 18 de Novembro de 2020.

TOMASINI, Marcelo. **Projeto de placa eletrônica desenvolvida para o gerenciamento de plataforma robótica**. USP. São Carlos, SP - Brasil, 2011. Disponível em: <[http://www.tcc.sc.usp.br/tce/disponiveis/18/180450/tce-19102011-123518/publico/Tomasini\\_Marcelo.pdf](http://www.tcc.sc.usp.br/tce/disponiveis/18/180450/tce-19102011-123518/publico/Tomasini_Marcelo.pdf)>. Acesso em: 18 de Novembro de 2020.

TTN. The Things Network. **Single-channel gateways**. Disponível em: <<https://www.thethingsnetwork.org/docs/gateways/start/single-channel.html>>. Acesso em: 19 de Novembro de 2020.

USINAINFO. **Sensor de fluxo de água Arduino como sensor de vazão para projetos**. Disponível em <<https://www.usinainfo.com.br/blog/sensor-de-fluxo-de-agua-arduino-como-sensor-de-vazao-para-projetos>> . Acesso em: 17 de Novembro de 2020.

WAZIUP ORG. **Low-cost LoRa IoT framework developed in the EU H2020 WAZIUP/WAZIHUB projects**. Disponível em <<https://github.com/CongducPham/LowCostLoRaGw/blob/master/README.md>> . Acesso em: 17 de Novembro de 2020.

WMMD, Global Water Metering Market Dataset. **Portal Eletrônico**. Disponível em: <<http://www.northeast-group.com/reports/Brochure-LPWAN%20Smart%20Metering-Market%20Forecast%202019-2028%20-%20Northeast%20Group.pdf>>. Acesso em: 29 de Outubro de 2020(2018701510).