

Monitoramento de sistemas de drenagem

Faculdade de Engenharia - Campus Várzea Grande

Disciplina: Projeto de Engenharia de Computação 1 - Grupo 1

Discentes: Bruno Lucas da Silva Fernandes RGA 201521901020;
Emerson da Silva Rodrigues RGA 201521901027; Kevin Botelho dos Santos Machado RGA 201621901001; Jadson Matheus Bezerra de Lima RGA 201811901012; Sergio Lucio Nunes da Silva RGA 201811901024; Suellen Barros Ramos RGA 201621901012; Otávio Dantas RGA e Pedro Paulo Santana Costa 201521901014

Docentes: Fabricio Barbosa de carvalho e Raoni Florentino da Silva Teixeira

Sumário

Sumário

- 1. Introdução
- 2. Contextualização do problema
- 3. Desenvolvimento
- 4. Trabalhos Futuros
- 5. Conclusão
- 6. Referências

1. Introdução

As buscas de soluções tecnológicas são viáveis para obter um monitoramento e um bom funcionamento dos serviços prestados por empresas. Desta forma, a empresa Via Brasil em conjunto com a UFMT, deu à oportunidade para os alunos da disciplina de Projeto de Engenharia de Computação I.

Tal objetivo consiste no emprego de um projeto para monitorar o sistema de drenagem, no projeto será apresentado um planejamento obtendo um sistema de monitoramento nos canais que possuem passagem de água, sendo os córregos, tubulações, assim como outras atividades compostas nesses sentidos de monitoramento das drenagens. Para evitar que trechos possam ser danificados ou geração de transtornos nas rodovias por fatores relativos a uma erosão, transbordamento de córregos, ou seja, impedimento do fluxo de água devido aos resíduos acumulados, fatores que geram essas problemáticas.

Planejamos a construção de um Projeto de Indicadores de Desempenho de Sistemas de Drenagem, nele apresentamos meios tecnológicos para tal desenvolvimento através de Hardware e Software adequados para atender a solução.

2. Contextualização do problema

Conforme apresentado pela concessionária Via Brasil, os indicadores de desempenho são um conjunto de métricas relacionadas ao bom funcionamento de uma rodovia que possuem valores ideais documentados em contrato. Um orgão regulador é responsável por monitorar se as métricas estão de fato dentro do padrão estabelecido, cada métrica, ou indicador de desempenho, possui um intervalo diferente de fiscalização. No momento da fiscalização, caso a análise por parte do orgão regulador constate

alguma irregularidade, a concessionária pode sofrer danos financeiros por não atender os requisitos dos indicadores. Dessa forma, o monitoramento de indicadores de forma preventiva pode reduzir perdas causadas por não atender esses requisitos, auxiliando a concessionária a verificar problemas que podem estar acontecendo a fim de corrigi-los antecipadamente.

Dentre os mais diversos indicadores de desempenho, o sistema de drenagem surgiu como uma boa opção para ser usado como objeto de monitoramento, isso se deu por alguns motivos:

1. As métricas envolvidas no processo de drenagem e escoamento são claras e existem sensores que podem ser utilizados para monitorá-las;
2. Falhas no sistema de drenagem podem causar danos que vão além dos financeiros, como aquaplanagem, danos a faixa de rolamento, acidentes, etc.

O sistema de drenagem geralmente é composto por um túnel com manilhas que atravessam a pista por baixo da faixa de rolamento, e de ambos os lados desse túnel, há uma área com solo bem permeável para reduzir o tempo da drenagem. Sendo assim, podemos analisar duas variáveis principais, a umidade desse solo e o nível da água que está escoando pelas manilhas, isso pode ser feito utilizando dois sensores, descritos no capítulo seguinte.

3. Desenvolvimento

Para solucionar o problema propomos a implementação de um sistema adequado para coletar informações da umidade do solo e nível de água, que irá enviar esses dados para a nuvem, disponibilizando-os para visualização, notificação, análise e alertas.

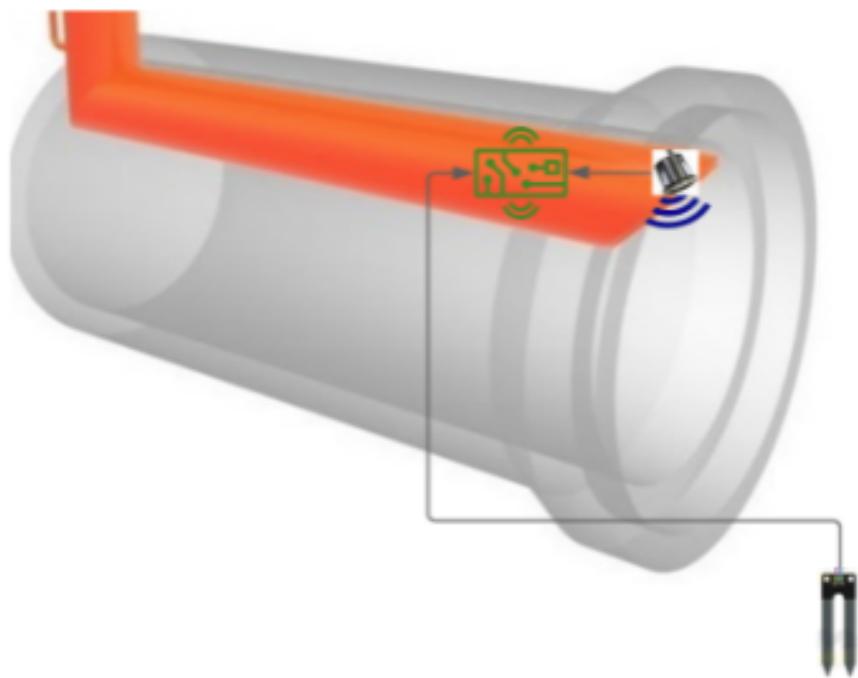


Figura 1 - Simulação de implantação.

Fonte: Imagem do autor

O sistema tem como base a arquitetura de uma aplicação IoT, utilizando dois tipos de comunicação diferentes pra disponibilizar os dados. Essa arquitetura é composta por microcontrolador, sensores, gateway e web services.

Uma rede de transmissão deverá ser usada no campo, optamos pela rede LPWAN da tecnologia LoRA (Long Range, Alcance amplo), destacada por ter baixo consumo de energia e maior alcance de rede.

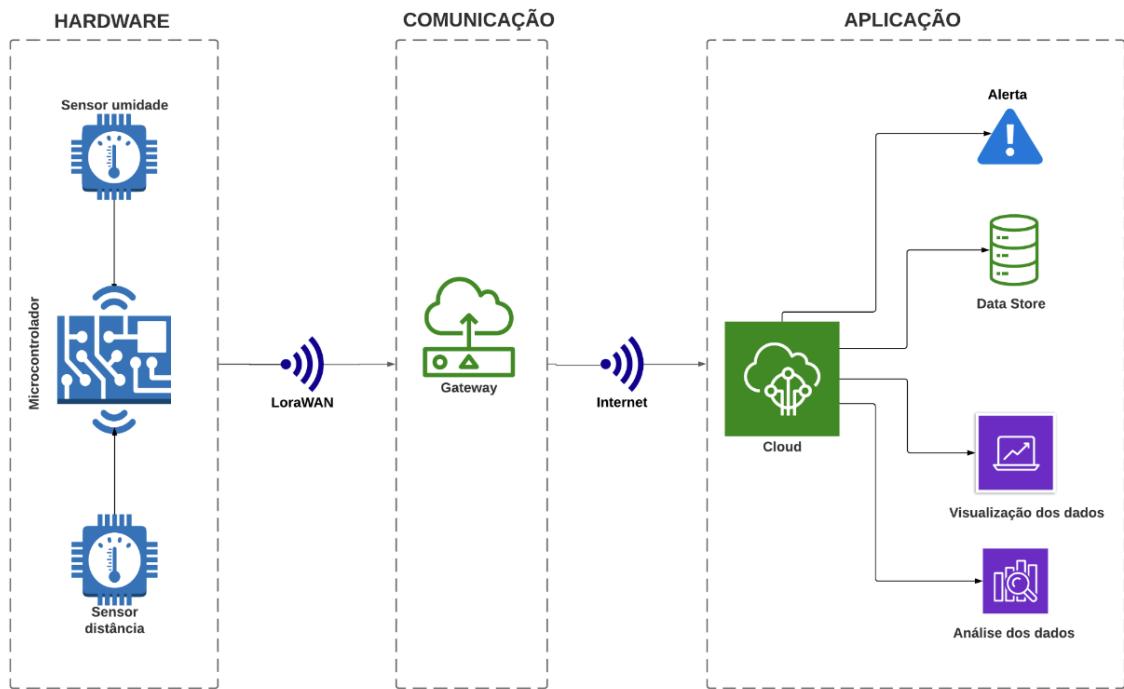


Figura 2 - Camadas do protótipo IoT.

Fonte: Imagem do autor

3.1 Sensores

O sensoreamento a ser adotado irá monitorar duas grandezas importantes, uma será a umidade do solo, para verificar o encharcamento em momentos de chuva, por exemplo, e outra grandeza será a distância do sensor para a água, se houver, para verificar se a drenagem de fato está sendo efetiva. Para isso serão utilizados dois sensores, como descrito abaixo.

3.2 Sensor de distância ultrassônico

Sensores ultrassônicos funcionam com base em um emissor que emite som em alta frequência, a onda emitida se choca com objetos do ambiente e é refletida, o receptor percebe o

retorno dessa onda, e sabendo a velocidade do som e o intervalo de tempo entre emissão e recepção, é possível saber a distância do obstáculo no ambiente.

Para prototipação eletrônica, existem dois sensores ultrassônicos bem comuns, um deles é o HC-SR04, que tem essa estrutura de emissor e receptor (echo e trigger) e alcance entre 2cm até 4m.



Figura 3 - Sensor HC-SR04.

Fonte: <https://www.usinainfo.com.br/sensor-ultrassonico/sensor-ultrassonico-jsn-sr04t-a-prova-d-agua-modulo-para-arduino-4704.html>

O segundo sensor viável é o JSN-SR04T, que possui a característica de ser a prova de água, e ter um sensor que alterna entre emissor e receptor. Seu alcance, segundo o datasheet é de 20cm até 6m.



Figura 4 - Sensor JSN-SR04T

Fonte:<https://www.usinainfo.com.br/sensor-ultrassonico/sensor-ultrassonico-jsn-sr04t-a-prova-d-agua-modulo-para-arduino-4704.html>

A diferença de custo entre os dois é grande, o HC-SR04 custa aproximadamente R\$ 13,00 e o JSN-SR04T R\$ 75,00. Apesar de ser 6x mais caro, o JSN-SR04T se torna interessante por conta do ambiente de instalação do protótipo, dado o encapsulamento do sensor, ele é muito mais resistente e de fácil acoplamento, facilitando a instalação e reduzindo possíveis problemas e danos ao mesmo. O fato de o sensor ser desacoplado a placa controladora, e com um cabo longo para conexão, também o torna ainda mais robusto, diferente do HC-SR04. Por tais motivos ele se torna o mais adequado para o projeto.

3.3 Sensor de umidade de solo

Para opções de sensor de umidade de solo, os módulos controladores são iguais, o módulo que irá receber os dados lidos pelo sensor e transferi-los para o controlador principal é o HL-01, que possui interface digital e analógica:

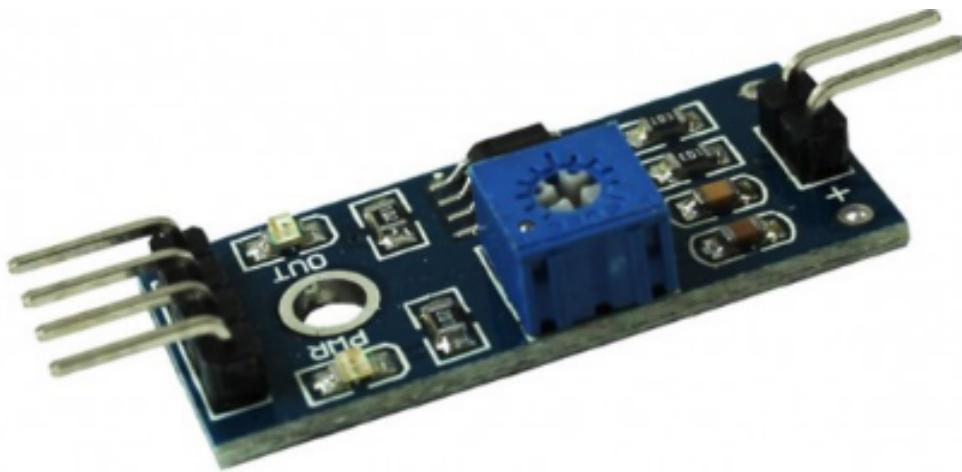


Figura 5 - Módulo HL-01.

Fonte: <https://www.usinainfo.com.br/sensor-de-umidade-arduino/sensor-de-umidade-de-solo-para-arduino-2311.html>

Mas as opções de sensores, são duas, o HL-69 e o HD-38. A estrutura de ambos é parecida, são duas hastes metálicas e conforme a água entra em contato com ambas, a resistência muda. A diferença, novamente, estará no encapsulamento. O HL-69 é mais simples, as hastes são mais curtas, com 6cm, a estrutura é feita de material semelhante ao fenolite, com as trilhas de metal no centro, e os pinos para conexão expostos.

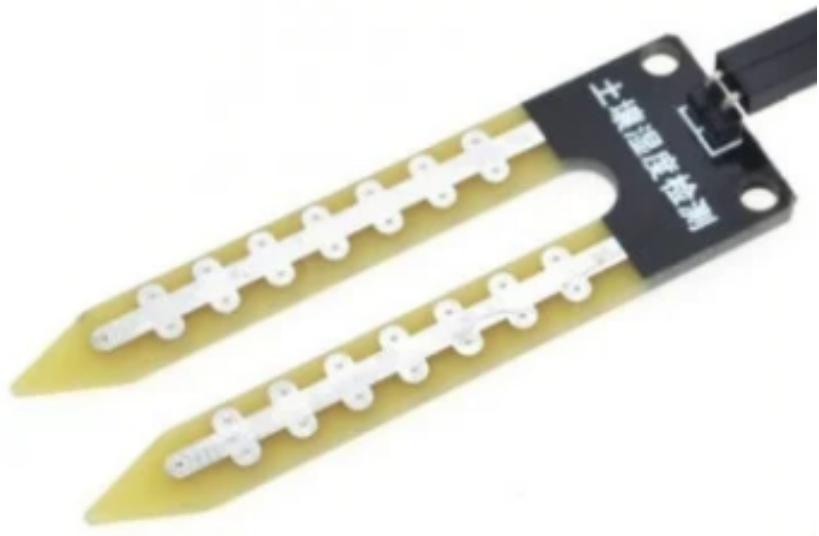


Figura 6 - Sensor HL-69

Fonte: <https://www.usinainfo.com.br/sensor-de-umidade-arduino/sensor-de-umidade-de-solo-para-arduino-2311.html>

Já o HD-68 tem um formato um pouco diferente, as hastas são mais resistentes, construídas em aço inoxidável, com 10cm de altura e cabo ligado diretamente. Por isso a opção é mais viável, visando também a redução de danos e problemas na instalação a campo.



Figura 7 - Sensor HD-68 com módulo HL-01.

Fonte: <https://www.casadarobotica.com/sensores-modulos/sensores/umidade/sensor-de-umidade-do-solo-resistente-a-corrosao>

3.4 Controlador

O MCU tem dois papéis primários no projeto, receber os valores medidos pelos sensores e se conectar a interface de comunicação para enviar os dados coletados. Sendo assim, a escolha do MCU envolve um fator fundamental que é a escolha da interface de comunicação. Algumas opções para protocolos de comunicação possuem algumas placas que facilitam a conectividade e já integram o MCU com a placa da própria interface. Nessa seção analisaremos essas opções.

Arduino Pro Mini

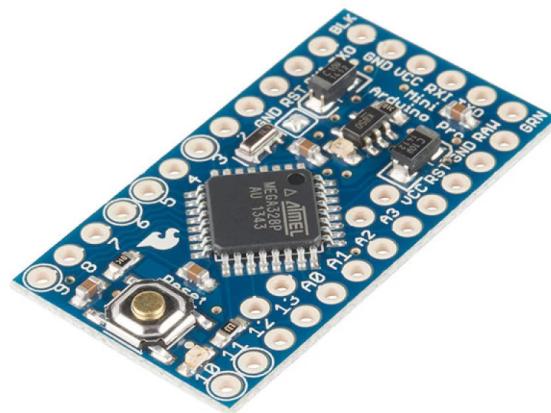


Figura 5 - Arduino Pro Mini

Fonte: <https://www.baudaelectronica.com.br/arduino-pro-mini-328-5v-16mhz.html>

O Arduino Pro Mini é extremamente compacto, tem a facilidade de fazer parte da plataforma Arduino, suportando bibliotecas de sensores. O contra é que não possui conexão USB, sendo necessário um módulo off-board.

ESPECIFICAÇÕES:

- Microcontrolador: ATmega328P;
- Tensão de operação: 5V;
- Tensão de entrada: 5-12V;
- Corrente Máxima de saída: 150mA;
- Digital I/O Pins: 14 (dos quais 6 oferecem saída PWM);
- Pinos de entrada analógica: 8 (dos quais 4 são divididos nos pinos);
- Memória Flash: 32 KB (dos quais 2 KB são usados pelo carregador de inicialização);
- SRAM: 2 KB;
- EEPROM: 1 KB;
- Clock Speed: 16 MHz;
- Dimensões (CxLxA): 33x18x3mm; (sem os pinos)
- Peso: 3g;
- Peso com embalagem: 4g.

Figura 8 - Especificações Arduino Pro Mini.

Fonte: <https://www.usinainfo.com.br/placas-arduino/placa-pro-mini-atmega328-arduino-compativel-3107.html>

O Nodemcu ESP8266 é uma placa de desenvolvimento muito usada no mundo IoT, compatível com plataforma Arduino e ainda suporta LUA e Python.

Especificações:

- Chip: ESP8266;
- Modelo: NodeMcu ESP-12E;
- Possui adaptador USB para UART;
- Modos de funcionamento: STA/AP/STA+AP;
- Tensão de alimentação: 4,5 a 9V;
- Tensão de operação: 3,3V (regulador LM1117 3,3V/500mA);
- Duas entradas de energia protegido por diodo (um para um cabo USB, outra para uma bateria);
- Suporte à redes: 802.11 b/g/n (que é o padrão para as redes WiFi);
- Taxa de transferência: 110-460800bps;
- Conversor analógico digital no pino A0 (10bit - ADC);
- Potência de saída: no modo 802.11b +19.5dBm;
- Corrente de trabalho: ≈70mA (máx. 200mA);
- Corrente em modo de espera <200uA;
- Potência em modo de espera: < 1.0mW;
- Alcance: cerca de 90m (montado com antena impressa na PCI);
- Comunicação: Serial (TX/RX);
- Suporta comunicação: TCP e UDP;
- Temperatura de trabalho: -40 °C ~ +125 °C;
- Conectores: GPIO, I2C, SPI, UART, Entrada ADC, Saída PWM (Corrente máx. 12mA);
- Modo de segurança: WEP, WPA, TKIP, AES;
- Dimensões: 49 x 25,5 x 7 mm;
- Linguagem de programação: Lua, IDE do Arduino, Python, JavaScript;
- Peso: 8g.

Figura 9 - Especificações ESP8266.

Fonte: https://www.usinainfo.com.br/esp8266/esp8266-esp-12e-shield-wifi-para-arduino-4836.html?search_query=esp8266&results=68

Essa placa ainda tem o diferencial de ter conexão wifi, um processador de 32 bits, 4 MB de memória flash e ter baixo consumo.

O ESP32 têm sido a nova recomendação de plataforma para desenvolvimento IoT por diversos fatores, algumas de suas especificações são: figura 7 - Especificações ESP8266.

ESPECIFICAÇÕES:

- Modelo: ESP-32;
- Tensão de operação: 4,5 ~ 9V DC;
- Corrente de operação (típica): 80mA;
- Nível lógico: 3.3V;
- Controlador: ESP-WROOM-32;
- Microprocessador: Tensilica Xtensa 32-bit LX6;
- Clock: até 240MHz;
- SRAM: 520KB;
- Memória flash externa: 32Mb (4 megabytes);
- Portas GPIO: 25;
- Passo dos pinos: 2,54mm;
- GPIO com funções de PWM, I2C, SPI;
- GPIO: função PWM, I2C e SPI
- Suporte a redes WiFi: 802.11 b/g/n (2,4 a 2,5GHz);
- Segurança: WPA/WPA2/WPA2-Enterprise/WPS;
- Criptografia: AES/RSA/ECC/SHA;
- Modo de operação: Station / SoftAP / SoftAP + Station/ P2P;
- Bluetooth: v4.2 BR / EDR e BLE (Bluetooth Low Energy);
- Dimensões (CxLxE): 52x28x5mm; (ignorando-se os pinos);
- Peso: 9g.

Figura 10 - Especificações do ESP32.

Fonte: <https://www.usinainfo.com.br/esp32/esp32-wifi-e-bluetooth-esp-wroom-32-5188.html>

Este módulo tem alguns diferenciais importantes, o processador é um deles, com clock de até 240 MHz, SRAM de 520 KB, memória flash de 32MB, conectividade wifi e BLE e dois cores que proporcionam programação multithread.

3.5 Módulos de comunicação para os MCUs

- Lora: No caso da rede Lora, há opções interessantes como o ESP32 Lora, que já integra o MCU ESP32 com o controlador LORA, e com duas placas é possível iniciar uma rede de comunicação que pode chegar a 6,5KM segundo a documentação.
- Zigbee: Para o Xbee é necessário um módulo de conexão que torna possível que ele seja embarcado em um Arduino, por exemplo, e também são necessários ao menos 2 dispositivos para iniciar uma rede, que pode chegar a 6KM de alcance.
- Sigfox: Para o sigfox basta um módulo como o Hbee acoplado em um MCU para que ele envie dados para a rede sigfox. Mas para usá-lo é necessário haver disponibilidade da rede sigfox na região.

3.6 Alimentação de energia (Placa solar e bateria)

Em relação a alimentação de energia do equipamento a campo, a solução elaborada envolve painéis solares, módulos conversores e carregadores e bateria. Além é claro, de um software que utilize de maneira produtiva as funções sleep do ESP32 para otimizar o aproveitamento da energia da bateria.

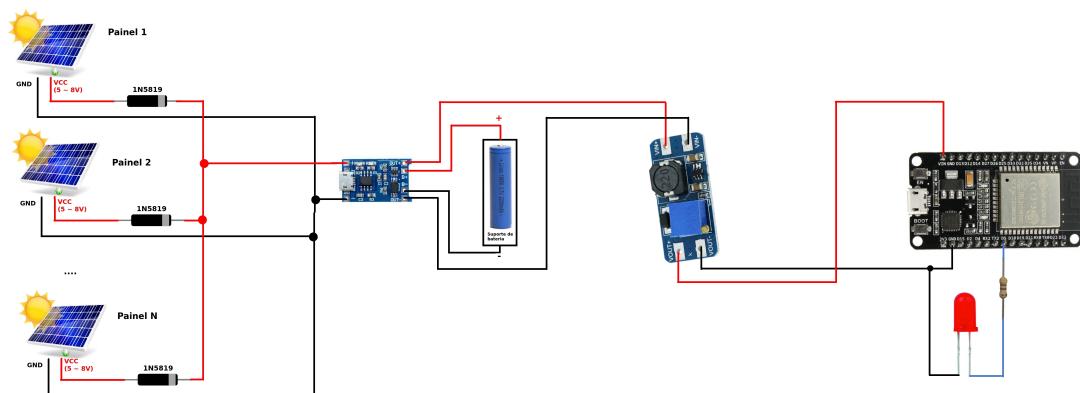


Figura 11 - Esquema de ligação com ESP32.

Fonte: <https://www.filipeflop.com/blog/alimentar-esp32-com-bateria/>

Uma das vantagens dos hardwares escolhidos para a arquitetura do projeto é o baixo consumo de energia. A soma do consumo dos componentes fica entorno de 300 mA mesmo em momentos de pico, e na operação comum, será de aproximadamente 150 mA. Considerando que o consumo de 150 mA está mais próximo da realidade, uma bateria de 2200 mAh seria suficiente pra alimentar o sistema por mais de 12h. Além disso, utilizando o modo deep sleep do ESP32, que desliga quase todos os periféricos para economizar energia elétrica, fazendo com que o consumo caia para aproximadamente 10 microA é possível prolongar a carga útil da bateria.

3.7 Visão geral dos protocolos de comunicação

Baseado na problemática do projeto, é evidente que o que tange o impasse da comunicação entre os sensores é a longa distância que o dado precisará percorrer para chegar a determinado ponto (Figura 1).

Por conta disso, é preciso abrir mão da largura de banda e focar em ferramentas que possibilitem a resolução do problema. Dentre opções disponível para o desenvolvimento de sistemas distribuídos em forma de sensores, há no mercado uma disseminação de duas redes específicas: Lora e Sigfox.

Neste breve artigo, cabe a comparação de melhor aplicabilidade de cada uma, para que, no final, possamos tomar a melhor decisão.

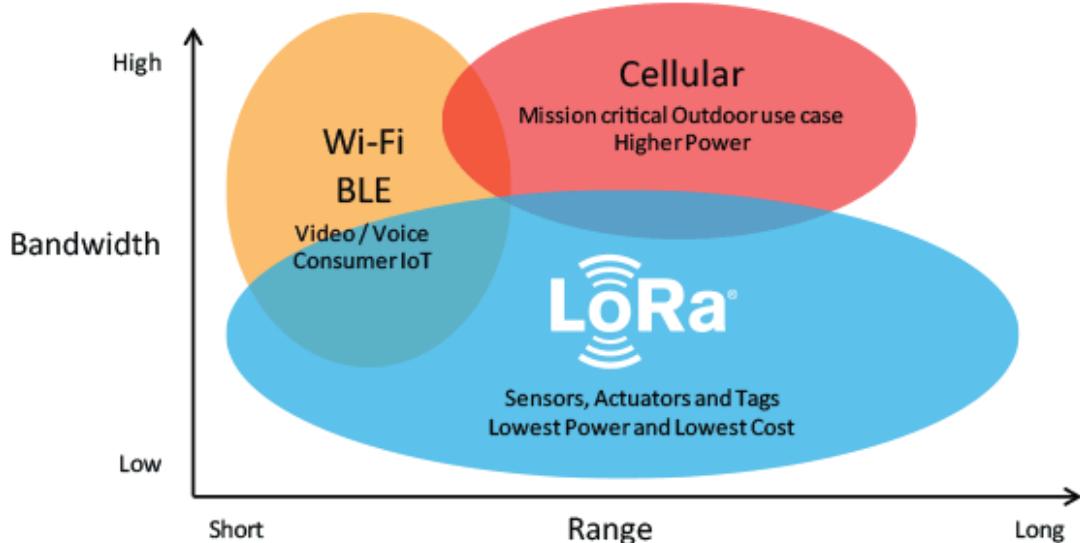


Figura 12 - *Trade off* entre alcance e largura de banda.

Fonte: <https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/arduino-lora-sx1278-interfacing-tutorial>

Além destas duas opções, há também a Zigbee. Um tipo de rede muito utilizado em arquiteturas Mesh. Podemos mencionar ela ao final para que fique claro a sua demanda.

3.8 LoRa (Long Range)

Os pontos fortes que o LoRa se sobressai são:

- Alcance de 5 ~ 15 km.
- Tamanho de banda de 17kbs
- Usa banda ISM - Não precisa de licença para operação.

"As bandas de rádio ISM são partes do espectro de rádio reservadas internacionalmente para fins industriais, científicos e médicos" Fonte: Wikipedia

Mais especificamente no Brasil a frequência reservado ao LoRa está entre 915 ~ 928 Mhz (AU915-928)

- Necessário a homologação.

Os chips que são usados em módulos LoRa são:

- SX1278 - 433mhz
- SX1276 - 868mhz e 915mhz
- SX1301 e SX1308 - Usando em getways

Módulo programável que contém os chip SX1276.



Figura 13 - ESP32 LoRa

Fonte: <https://www.amazon.com/MakerFocus-Development-Bluetooth-0-96inch-Display/dp/B076MSLFC9>

3.9 LoRaWAN

É o nome dado ao protocolo que define a arquitetura do sistema bem como os parâmetros de comunicação usando a tecnologia LoRa.

LoRaWAN é uma camada de comunicação que está acima das redes LoRa. Ela faz a comunicação entre os dispositivos LoRa e a Internet, geralmente eles implementam os chips SX1301 e SX1308. Possuem comunicação com pacotes criptografados usando AES 128bits, com tamanhos limitados de 51 ou 222 bytes, nessa casos os dados são enviados em binário.

Estes são alguns dos gateways que podemos encontrar no mercado:



Figura 14 - Lg01-n Single Channel Lora IoT Gateway

Fonte: <https://www.elfa.se/en/lg01-single-channel-lora-iot-gateway-868mhz-seeed-studio-113990658/p/30163009>

Um só gateway pode receber os dados de milhares de dispositivos e encaminha-los para o servidor de rede. Dependendo das condições de topologia do local, um único gateway pode cobrir um raio desde 2Km até 15 Km.

3.10 Sigfox

Assim como os citados anteriormente, a Sigfox também opera em frequências não licenciadas, e possui um baixo consumo de energia. Além disso a Sigfox oferece uma comunicação baseada em software, isso quer dizer que toda a complexidade dos dados é gerenciada na nuvem, em vez de ser tratada nos próprios dispositivos.

A arquitetura da Sigfox é horizontal e possui 2 camadas, a primeira delas é a camada Network Equipment que consiste de estações bases que são responsáveis pelo recebimento das mensagens enviadas pelos dispositivos e envio das mesmas para a outra camada. Essa outra camada é chamada de Sigfox Support System e constitui a rede principal sendo ela a encarregada de processar as mensagens e enviar-las para o sistema do cliente.

A Sigfox faz uso da técnica de Ultra Narrow Band para a transmissão de dados, essa técnica possui como característica um uso ótimo da potência disponível, o que permite que os dispositivos Sigfox se comuniquem por longas distâncias de forma confiável, mesmo que exista interferência ou ruídos.

Além dessa técnica afim de garantir a eficiência e alta qualidade, quando o dispositivo vai enviar uma mensagem ele também envia duas réplicas em diferentes frequências e tempo. Com isso é obtido um ganho na resistência a interferências.

Uma característica da Sigfox ,é que afim de atender as restrições de autonomia da bateria e custo dos objetos conectados, o protocolo Sigfox é otimizado para mensagens pequenas variando de 0 a 12 bytes o que atende a maioria das aplicações de IoT para objetos simples.

Uma forma de ver como a Sigfox funciona é imaginarmos uma nova rede de comunicação celular criada exclusivamente para transmitir dados entre dispositivos que precisam estar continuamente conectados.

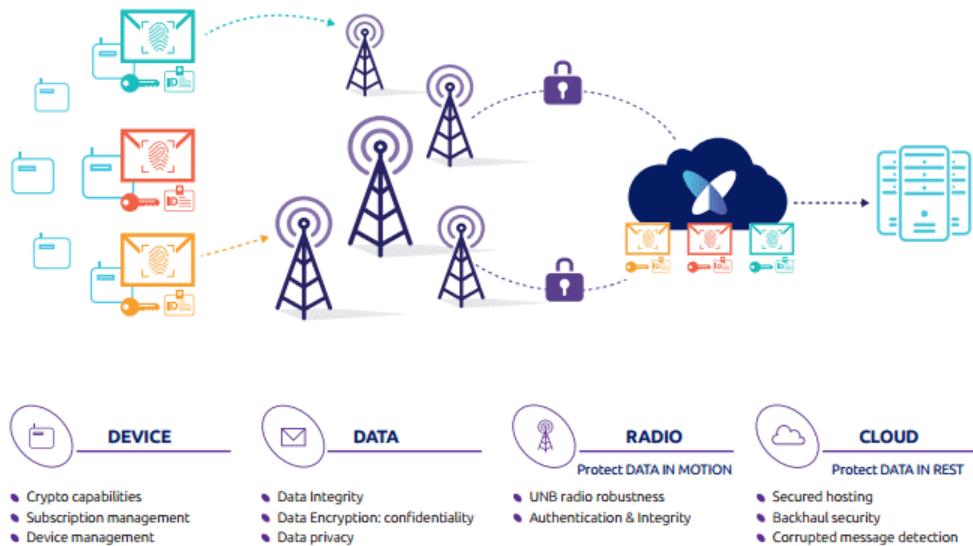


Figura 15 - Arquitetura Sigfox.

Fonte: <https://www.embarcados.com.br/uma-visao-tecnica-da-rede-sigfox/>

A rede Sigfox possui problemas semelhantes a LoRa, necessitando de um alto grau de investimento em hardware e instalação de antenas. Ela funciona apenas com sensores preparados para a transmissão de dados nessa rede.

3.11 Construção do protótipo:

A arquitetura geral do sistema pode ser dividida em três camadas principais, a de hardware, composta pelos sensores, microcontrolador e todos os outros dispositivos físicos

necessários para o funcionamento desse hardware; a camada de comunicação, que é composta pelo gateway, que recebe os dados através do LoRaWAN e os envia para a terceira camada, através da conexão Wifi; por fim, temos a camada de aplicação, na qual a entrada dos dados é feita através do protocolo MQTT e a partir nela esses dados podem trafegar com os mais diferentes objetivos, desde alertas, armazenamento dos dados, até visualização e análise.

Para prototipar o sistema, utilizamos uma arquitetura um pouco mais simples, ao invés de um ESP32-LoRa se comunicando com um gateway, utilizamos dois ESP32-LoRa, um como emissor, outro como receptor. Essa mudança foi feita simplesmente para reduzir o custo de adquirir um gateway. Os dispositivos se comunicam na frequência de 915MHz e os dados trafegados são apenas os dados dos dois sensores.

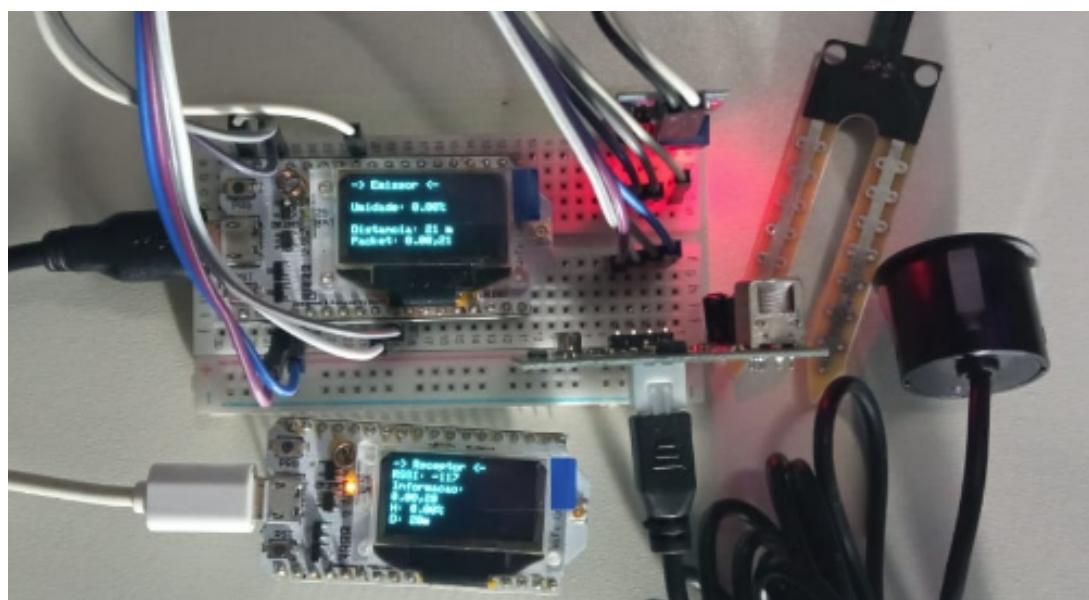


Figura 16 - Circuito em protoboard.

Fonte: Imagem do autor

O sensores são conectados ao emissor, que lê os dados e os envia ao receptor sempre que há um alteração significativa nos dados. O receptor recebe os dados através do protocolo LoRa e, como ele está conectado ao wifi, ele envia os dados para a plataforma IoT Core da AWS através do protocolo MQTT.

Dentro da AWS os dados são filtrados, é feita a identificação de qual dispositivo os enviou, os dados são armazenados em um database não relacional e para a visualização, eles são enviados a um endpoint, que possui uma página HTML onde os dados podem ser visualizados. O link para essa página é: https://arduinobrasil.services/aws_iot/mse/.

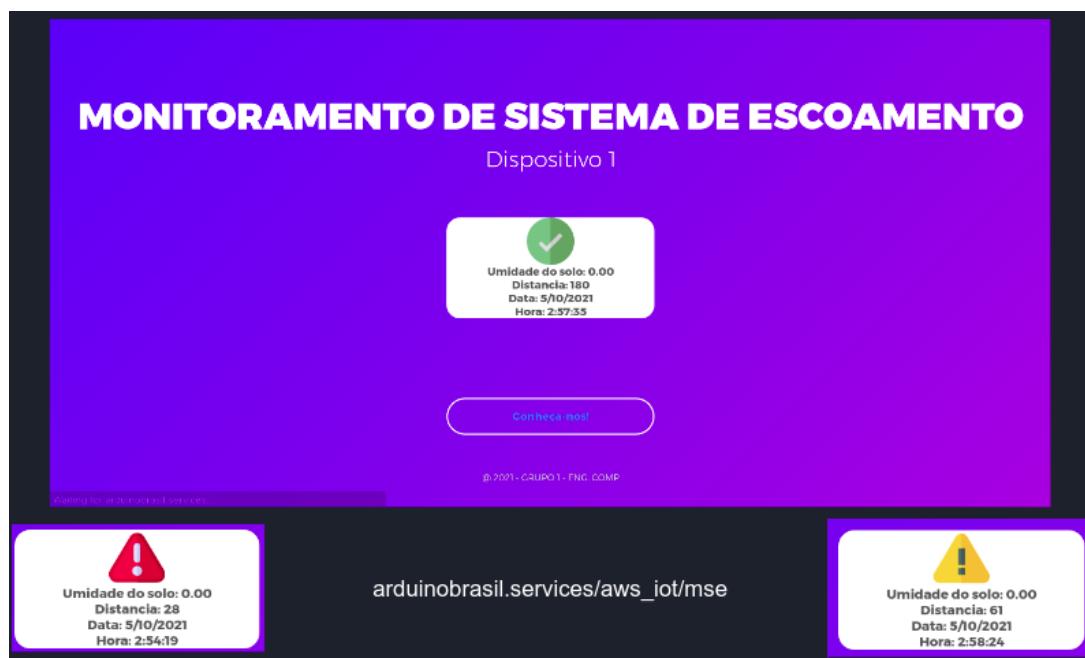


Figura 17 - Página HTML de visualização dos dados.

Fonte: Imagem do autor

4. Trabalhos Futuros

Com o protótipo básico foi possível ver o processo de coleta e envio dos dados acontecendo em ambiente controlado e de maneira ativa durante todo o tempo que o dispositivo estava ligado. Com o avanço do projeto, para realmente poder ser aplicado a campo, são necessárias algumas mudanças importantes.

1. Implantação de alimentação do hardware por baterias e energia solar.
2. Para otimizar o consumo de energia, é necessário estabelecer rotinas de envio dos dados, e o uso do deep sleep do ESP32, fazendo com que na maior parte do tempo, o dispositivo fique ocioso.
3. Disponibilizar dados para visualização com histórico dentro da AWS, eliminando uso de endpoint e viabilizando a construção de um dashboard.
4. Desenvolvimento de circuito soldado, em PCB ou placa universal, trazendo mais robustez para o protótipo.
5. Encapsulamento de todo o circuito para tornar viável os testes a campo.

5. Conclusão

Em vista dos argumentos apresentados, a literatura pesquisada apresentou metodologias de aplicações, nos quais concluímos que os componentes escolhidos são ideais para serem aplicados no projeto, devidamente por terem características de compatibilidade.

O funcionamento do sistema implementado no protótipo, utilizando LoRa, AWS, MQTT e Wifi, trouxe resultados positivos, que serviram para validar a ideia do sistema de monitoramento e

deixando claro os pontos de melhoria e correção, o que facilita na continuidade do projeto.

O sistema de comunicação e a coleta de dados atendem à demanda, uma outra definição que também traz positividade são os custos dos materiais, tornando-os acessíveis, podendo assim, darmos continuidade no desenvolvimento do projeto Indicadores de Desempenho de Sistemas de Drenagem.

6. Referências

1. ATTEL. Datasheet Arduino Pro Mini ATMGEA328. Atmel Corporation. 2011. Disponível em:
<https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/444347/ATTEL/ATMEGA328.html>. Acesso em: 08 de outubro de 2021.
2. ESPRESSIF. Datasheet ESP8266. Espressif Inc. 2017. Disponível em:
<https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1132995/ESPRESSIF/ESP8266.html>. Acesso em: 08 de outubro de 2021.
3. ESPRESSIF. Datasheet ESP32. Espressif Inc, 2019. Disponível em:
<https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1148023/ESPRESSIF/ESP32.html>. Acesso em: 08 de outubro de 2021.
4. USINAINFO. Sensor Ultrassônico JSN-SR04T a Prova D'água Datasheet. 2021. Disponível em:
https://www.usinainfo.com.br/index.php?controller=attachment&id_attachment=723. Acesso em: 08 de outubro de 2021.

5. USINAINFO. Sensor de Umidade do Solo Arduino HD-38 Datasheet. 2021. Disponível em:
<https://www.usinainfo.com.br/index.php?controller=attachment&id_attachment=592>. Acesso em: 08 de outubro de 2021.
6. Bertolleti, Pedro. Alimentação do ESP32 com energia solar. **Filipeflop**. 2020. Disponível em:<<https://www.filipeflop.com/blog/alimentar-esp32-com-bateria/>>. Acesso em: 08 de outubro de 2021.
7. What is LoRaWAN. **LoRa**. 2021. Disponível em:<<https://lora-alliance.org/about-lorawan/>>. Acesso em: 08 de outubro de 2021.
8. SIGFOX, THE OG NETWORK. **Sigfox**. 2021. Disponível em:<<https://www.sigfox.com/en>>. Acesso em: 08 de outubro de 2021.
9. Documentação AWS IoT Core. **Docs AWS amazon**. 2021. Disponível em:<<https://docs.aws.amazon.com/iot/index.html>>. Acesso em: 08 de outubro de 2021.
10. USINAINFO. Sensor de Umidade de Solo para Arduino Datasheet. 2021. Disponível em:
<<https://www.usinainfo.com.br/sensor-de-umidade-arduino/sensor-de-umidade-de-solo-para-arduino-2311.html>>. Acesso em: 08 de outubro de 2021.
11. CASA DA ROBOTICA. Sensor de Umidade do solo - Resistente à Corrosão. 2021. Disponível em:
<<https://www.casadarobotica.com/sensores-modulos/sensores/umidade/sensor-de-umidade-do-solo-resistente-a-corrosao>>. Acesso em: 08 de outubro de 2021.
12. CIRCUIT DIGEST. Interfacing SX1278 (Ra-02) LoRa Module with Arduino. 19 Fevereiro de 2021. Disponível em:<

<https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/arduino-lora-sx1278-interfacing-tutorial>. Acesso em: 08 de outubro de 2021.

13. BAU DA ELETRONICA. Arduino Pro Mini 328 - 5V/16MHz. 2021. Disponível em:<<https://www.baudaelectronica.com.br/arduino-pro-mini-328-5v-16mhz.html>>. Acesso em: 08 de outubro de 2021.
14. ELFA DISTRELEC. LG01-N Single Channel LoRa IoT Gateway. 2021. Disponível em:<<https://www.elfa.se/en/lg01-single-channel-lora-iot-gateway-868mhz-seeed-studio-113990658/p/30163009>>. Acesso em: 08 de outubro de 2021.
15. AMAZON. ESP32 LoRa 32 (V2), placa de desenvolvimento ESP32 Wi-Fi Bluetooth LoRa. 2021. Disponível em: <<https://www.amazon.com/MakerFocus-Development-Bluetooth-0-96inch-Display/dp/B076MSLFC9>>. Acesso em: 08 de outubro de 2021.
16. USINAINFO. ESP8266 ESP 12e - Shield Wifi para Arduino. 2021. Disponível em:<https://www.usinainfo.com.br/esp8266/esp8266-esp-12e-shield-wifi-para-arduino-4836.html?search_query=esp8266&results=68>. Acesso em: 08 de outubro de 2021.
17. USINAINFO. ESP32 Wifi e Bluetooth ESP-WROOM-32. 2021. Disponível em:<<https://www.usinainfo.com.br/esp32/esp32-wifi-e-bluetooth-esp-wroom-32-5188.html>>. Acesso em: 08 de outubro de 2021.