



Faculdade de Tecnologia Dep. Júlio Julinho Marcondes de Moura

CURSO DE TECNOLOGIA EM MECATRÔNICA INDUSTRIAL

BRUNO BONADIO DA SILVA
JOÃO ANTUNES DOS ANJOS FILHO

**DISPOSITIVO DE MONITORAMENTO DE FOCOS DE INCÊNDIO UTILIZANDO
LoRaWAN**

**GARÇA
2021**

Faculdade de Tecnologia Dep. Júlio Julinho Marcondes de Moura

CURSO DE TECNOLOGIA EM MECATRÔNICA INDUSTRIAL

BRUNO BONADIO DA SILVA
JOÃO ANTUNES DOS ANJOS FILHO

**DISPOSITIVO DE MONITORAMENTO DE FOCOS DE INCÊNDIO UTILIZANDO
LoRaWAN**

Artigo Científico para o Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado à Faculdade de Tecnologia de Garça-Fatec, como requisito para conclusão do curso de Tecnologia em Mecatrônica Industrial, examinado pela seguinte comissão de professores:

Data da Aprovação: ____ / ____ / ____

Prof. Dr. Pedro de Oliveira Conceição Junior

Fatec-Garça

Fatec-Garça

DISPOSITIVO DE MONITORAMENTO DE FOCOS DE INCÊNDIO UTILIZANDO LoRaWAN

Bruno Bonadio da Silva¹
brunobonadio@hotmail.com
João Antunes dos Anjos Filho¹
joaoz1br@gmail.com

Prof. Dr. Pedro de Oliveira Conceição Junior²
pedro.conceicao4@fatec.sp.gov.br

Resumo - No ano de 2020, presenciou-se um cenário devastador causado pelo aumento de focos de incêndio em vários biomas e perímetros urbanos causando danos irreparáveis à fauna, flora e à população em geral. Esse problema motiva a concentração de esforços em soluções para monitorar e combater esses focos. Portanto, este trabalho apresenta um dispositivo de monitoramento de focos de incêndio operando através de uma rede de comunicação sem fio de longo alcance (LoRaWAN). O dispositivo consiste em um sensor detector de fumaça MQ-2, Arduino para o controle e um módulo RF LoRa1276 para enviar informações do sensor. Ao detectar um possível foco de incêndio, uma mensagem de alerta é enviada a um dispositivo central. O uso do LoRa permite que o dispositivo se comunique por longas distâncias, o que pode ser implementado em áreas remotas sem acesso à internet onde focos de incêndio são recorrentes, permitindo maior controle e ações de combate mais eficazes.

Palavras-Chave: Sistemas de Monitoramento. Comunicação Sem Fio. LoRaWAN. Focos de Incêndio.

Abstract -The year 2020 witnessed a devastating scenery caused by the increase in spot fires in various biomes and urban perimeters causing irreparable damage to fauna, flora, and the population in general. This problem motivates the efforts to concentrate on solutions for monitoring and fighting these outbreaks. Therefore, this work presents a spot fire monitoring device operating through a long-range wireless communication network (LoRaWAN). The device consists of an MQ-2 smoke detector sensor, Arduino for the control, and an RF module LoRa1276 for sending sensor information. Upon detecting a possible fire outbreak, an alert message is sent to a central system. The use of LoRa allows the device to communicate over long distances, which can be implemented in remote areas without internet access where spot fires are recurrent, allowing for greater control and more efficient firefighting action.

Keywords: Monitoring systems. Wireless communication. LoraWAN. Spot fires.

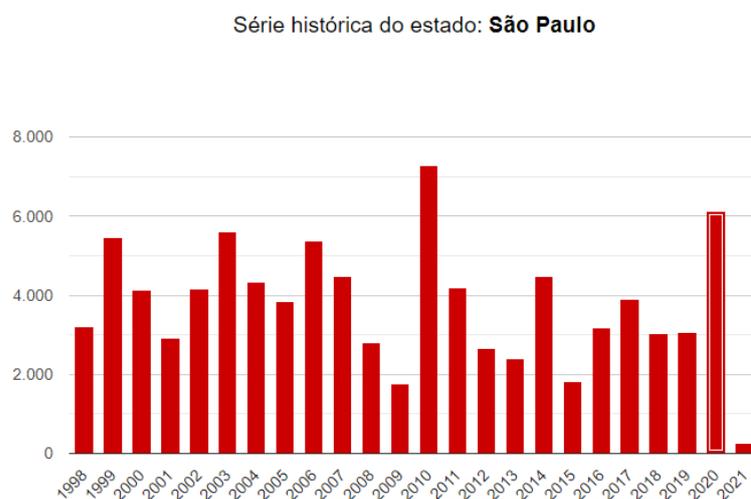
¹Alunos da Faculdade de Tecnologia “DEP. Júlio JULINHO Marcondes de Moura” - Fatec Garça

² Docente da Fatec Garça

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, o crescimento exacerbado dos focos de incêndios em diversos biomas e perímetros urbanos em todo território brasileiro é uma situação preocupante. Somente no bioma pantaneiro foram registrados 2.510 focos de incêndio no ano de 2020, um número 126 % mais alto que o registrado no mesmo período do ano anterior, quando ocorreram 1.111 focos, tal cenário faz do bioma o centro de aumento dos focos de incêndio no ano de 2020 (WWF, 2020). Essa situação vem sendo noticiada por vários veículos midiáticos e tem sido um tema bastante comentado, elucidando que fatores como o clima seco, a falta de chuva e ações causadas pelo homem são os principais precursores deste cenário (BBC, 2020). A Figura 1 permite visualizar o aumento dos focos no ano de 2020 em relação aos anos anteriores.

Figura 1 – Série histórica do total de focos ativos detectados pelo satélite de referência, no período de 1998 até 23/04/2021



Fonte: Inpe (2021)

Os focos de incêndio em ambientes florestais causam efeitos que são maléficos para fauna e flora local, perda da biodiversidade, destruição do solo, desmatamento, como também contribuem para a poluição atmosférica por meio da emissão de gases tóxicos (Co2) (SCHUMAKER e DICK, 2018). No caso de incêndios em perímetros urbanos, que ocorrem a margem de rodovias, pastos e estruturas abandonadas, esses provocam a invisibilidade dos automóveis, decorrente da fumaça gerada pelo fogo, acarretando acidentes e problemas respiratórios a população presente (GONÇALVES, 2010).

A principal forma de monitoramento dos focos de incêndio é realizada por meio de dois satélites: Terra e o Aqua. Estes satélites possuem instrumentos de observação que permitem a visualização de pontos de calor através da radiação emitida pelo fogo, os dados gerados por meio destes satélites são ministrados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (BATISTA, 2004).

Mediante a este cenário, torna-se necessário o desenvolvimento de alternativas de monitoramento que utilizem componentes de fácil acesso e baixo custo, como: placa Arduino, Módulo sensor de fumaça MQ-2, Modulo LoRa, e que apresentem uma maior integralidade a população e possibilitem uma fácil leitura de dados de focos de incêndio, permitindo uma ação de combate mais eficiente.

A utilização desses componentes é recorrente em projetos de identificação e combate a incêndio e é vista como uma excelente alternativa (PEREIRA et al., 2018), utilizando a placa Arduino e sensores foi possível o desenvolvimento de um sistema autônomo de detecção e alarme de incêndio, capaz de dar informações claras aos usuários, sempre que um incêndio ou ameaça for detectada (MCROBERTS, 2011).

A denominação LoRaWAN, origina-se do inglês *Long Range Wide Area Network* e foi projetada para a criação de redes de longa distância, numa escala regional, nacional ou global, formada por dispositivos operados por bateria e com capacidade de comunicação sem fio (LORA, 2019; SANTOS et al., 2019).

O uso da tecnologia LoRaWAN na comunicação de dispositivos de monitoramento tem sido bastante empregada e permite acesso mais amplo às áreas urbanas e florestais. Dois fatores que mais tem impulsionado a LoRAWAN é o baixo custo e o número elevado de empresas de *hardware* que a estão adotando (OLIVEIRA, 2017; SANTOS et al., 2019; NUNES, 2019).

A comunicação LoRaWAN em sistemas de supervisão e a integração com sensores tem demonstrado resultados satisfatórios em projetos, um sistema faz o monitoramento em tempo real do volume de lixo utilizando LoRa e realiza o envio de informação dos sensores para um banco de dados, sendo possível a visualização destes dados em tempo real (RAMOS, 2019).

Alinhado a esse contexto, no presente trabalho foi proposto o desenvolvimento de um dispositivo de monitoramento constituído de sensor capaz de detectar focos de incêndio por meio da presença de fumaça, gerando dados desses focos através de módulos de comunicação LoRA. A abordagem proposta destina os dados obtidos para um dispositivo central de simples interface, bem como para dispostos em localidades onde incêndios são recorrentes possibilitando a fácil interpretação dos dados pelos usuários, viabilizando deste modo ações ágeis de combate.

1.1 Objetivo geral

O presente trabalho apresenta o desenvolvimento de um dispositivo para monitoramento dos focos de incêndio por meio de uma rede sem fio de longo alcance (LoRaWAN) e empregando componentes acessíveis, tais como: placa Arduino, modulo sensor MQ-2 e módulo LoRa 1276-915 MHz.

1.2 Objetivos específicos

O presente trabalho tem como objetivo específico o desenvolvimento de um protótipo funcional mecatrônico que se comunique em distancias superiores a 2 mil metros e que possa ser implementado em áreas remotas sem acesso à internet onde focos de incêndio são recorrentes, permitindo maior controle e ações de combate mais eficazes.

As fases de desenvolvimento e experimentação envolvem testes do alcance de comunicação dos módulos LoRa, análise da veracidade e a entrega de dado obtido pelo sensor, identificação do dimensionamento e o campo de trabalho do modulo sensor e o desenvolvimento de um sistema de alimentação com placa solar que mantenha o dispositivo em funcionamento por 24 h.

1.3 Problemática de pesquisa

É notório que os focos de incêndios causam grandes problemas ambientais e urbanos, e que precisam ser constantemente monitorados e combatidos. A utilização de satélites no monitoramento desses focos é de grande contribuição, como também o emprego de torres de monitoramento e câmeras *full* HD. Porém, ainda se faz necessário a utilização de sistemas de monitoramento de baixo custo que estejam mais próximos e alinhados a realidade da população, principalmente de públicos menos provido de recursos, bem como pequenas indústrias e negócios. Uma rede detecção de focos de incêndio de amplo alcance, com dispositivos de monitoramento espalhados em pontos onde incêndios são recorrentes, permite maior controle e uma ação de combate mais rápida por meio da população ou de competências locais onde o dispositivo central estiver instalado. O uso de apenas um tipo de sensor reduz o custo do dispositivo, tornando-o mais acessível.

1.4 Relevância

Diante do cenário alarmante causado pelos incêndios nos biomas brasileiros ao longo dos últimos meses, como também incêndios comuns em perímetros urbanos, o projeto proposto

justifica-se por meio da necessidade do desenvolvimento de novas alternativas envolvendo tecnologia utilizada para o monitoramento e prevenção de focos incêndios florestais e urbanos, motivando se através de conceitos e ferramentas fornecidas no contexto dos sistemas mecatrônicos e dos avanços recentes das redes industriais.

O projeto baseia-se na coleta de dados de focos de incêndio, por este motivo possui uma vasta área de atuação, uma vez que a utilização destes dados pode ser aplicada no monitoramento de áreas onde os focos de incêndios são recorrentes. O desenvolvimento de dispositivos de monitoramento utilizando uma rede de comunicação sem fio LoRaWAN, concede que estes dispositivos sejam operados em longas distâncias e alocados em múltiplos pontos e operados com baixo consumo de energia (SANTOS et al., 2019).

Os dados gerados podem ser aplicados as ações diretas ao combate de incêndios, por meio da população presente, para melhorar a mobilização social ao combate, para identificar eventuais crimes ambientais. O interesse é tanto do setor privado, indústrias, agronegócio, como pela ação pública, atuando no corpo de bombeiros, prefeituras, secretarias do meio ambiente e Ibama. Em ações indiretas, os dados podem ser utilizados em estudos acadêmicos, com o objetivo de implementação de pesquisas estatísticas relacionadas a prevenção e o monitoramento adequado de focos incêndios em determinadas localidades.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Revisão bibliográfica

Esta seção aborda uma revisão detalhada das principais tecnologias utilizadas no projeto, como: LoraWAN, Sensor de Fumaça, Arduino, Mdulo LoRa.

2.1.1 LoRaWAN

Traduzindo para língua portuguesa, a terminologia *LoRa* significa longo alcance e *WAN* rede de longo alcance, LoRaWAN é uma tecnologia de rede sem fio que concede comunicações entre grandes distâncias e com um nível baixo de consumo de energia. Este tipo de comunicação adequa-se eficientemente em operações onde é necessário a comunicação entre dispositivos separados por quilômetros e localizados em áreas remotas que não possuem conectividade, podendo realizar transferências na ordem de 290 bps a 50 Kbps (SCHWAB, 2020).

Esse tipo de tecnologia comparada a outros tipos de comunicação *wireless*, possui baixa largura de banda, ou seja, transmite pacotes de informações através de ondas de rádio frequência

A LoRa possui à disposição uma arquitetura bastante aberta, possibilitando que empresas e propriedades rurais desenvolvam redes próprias para seus dispositivos ou mesmo usem redes de terceiros. De modo técnico, cada um dos nós (dispositivos) do sistema pode ter um módulo LoRa que se comunica com um *gateway* (NUNES, 2019). A eficiência do sistema faz com que as ondas eletromagnéticas penetrem em grandes estruturas e superfícies, a distâncias de 2 km a 5 km em meio urbano e 45 km no meio rural (SANTOS et al., 2019). A Figura 4 permite visualizar a aderência da LoRaWAN ao redor do mundo.

Figura 4 – Uso de LoRaWAN globalmente



Fonte: LoRa Alliance (2017)

A comunicação segundo o modelo OSI (*Open Systems Interconnection*) é dividida em vários tipos de camadas, sendo que a rede LoRa se encontra na camada física, camada mais inferior na disposição de camadas do modelo OSI em telecomunicações.

Segundo Forouzan (2008), esta é a camada responsável por fazer a interação entre os componentes da rede através do meio de transmissão, assegurando sua conectividade e transferência dos dados de um nó (sistema de redistribuição) para o próximo.

Sabemos que todo tipo de comunicação é baseada em protocolos, para fins de comunicação e bom funcionamento dos dispositivos na rede. O protocolo utilizado neste caso é o LoRaWAN, protocolo aberto determinado pelo Cycleo, desenvolvido para o baixo consumo de energia e o envio de pequenos pacotes de dados a longas distâncias, utilizando frequências de comunicação comuns de 2.4 GHz, 433 Hz e 914 Hz (SILVA et al., 2017).

Permitindo uma maior segurança na comunicação, a LoRa conta também com o protocolo de segurança AES-128 que efetua a encriptação dos blocos de dados que trafegam na

rede (ALMEIDA, 2019). Pode-se encontrar na rede LoRa, a divisão de operações dos dispositivos finais separadas por classes (LORA ALLIANCE, 2017). Essa divisão ajuda no maior controle das aplicações, como é possível visualizar na Tabela 1.

Tabela 1 – Classes de dispositivos rede LoRaWAN

	Classe A	Classe B	Classe C
Tipo	Alimentado por Bateria	Baixa Latência	Sem Latência Alimentação externa
Comunicação	Bidirecional	Bidirecional	Bidirecional
Mensagem	Unicast	Unicast e Multicast	Unicast e Multicast
Latência mensagens	Longos intervalos	Longos intervalos	Mensagens podem ocorrer a qualquer momento
Quem e quando inicia a comunicação?	<i>End-device</i> quando algo acontece	<i>Network server</i> pode iniciar em intervalos fixos e regulares	<i>End-devices e Network server</i> a qualquer momento

Fonte: SCHWAB (2020)

A comunicação da rede LoRa é realizada por meio de modulação, semelhante a outros tipos de rede. No caso da LoRa, é utilizado uma técnica de modulação de sinal *SS Chirp* (*Chirp Spread Spectrum* – espalhamento espectral chirp) que espalha um sinal de banda estreita através de um canal com banda mais larga, fazendo com que o sinal seja mais resistente a ruído e a distância (MEKKI et al., 2019).

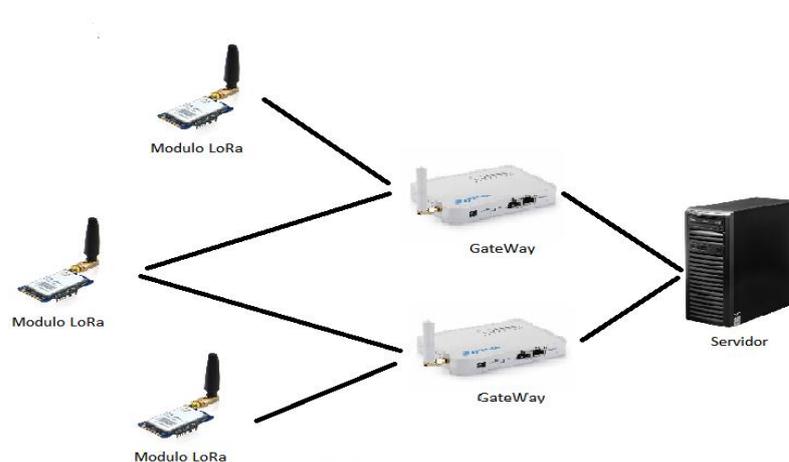
Vale lembrar, que o sinal recebido da rede é indicado pelo RSSI (*Received signal strength indication*). Em uma rede LoRa ele é medido em dBm, dado que é utilizado para analisar a eficiência da cobertura de uma rede em operação (ALMEIDA, 2019). A unificação deste tipo de modulação com o protocolo LoRaWAN, resulta em comunicações de longo alcance e baixa potência em operações por bateria com grande durabilidade (ALMEIDA e TEIXEIRA, 2017). A Figura 5 exibe um tipo de módulo LoRa que utiliza *Chirp Spread Spectrum*.

Figura 5 – Módulo LoRaWAN com *Chirp Spread Spectrum*

Fonte: RADIOENGE (2020)

A arquitetura de uma LoRaWAN se baseia no tipo de topologia estrela, utilizando uma menor quantidade de equipamentos. Os dispositivos finais, no caso os módulos LoRa fazem o recebimento de dados obtidos através de sensores conectados, os dados são distribuídos por meio dos gateways. *Gateways* são dispositivos responsáveis por coletar/enviar os pacotes de dados dos/para os dispositivos finais ao mesmo tempo que realiza o envio/recebimento de dados para/do servidor da rede, ressaltando que também podemos realizar uma configuração (P2P) de comunicação direta entre os dispositivos (MAGRIN; CENTENARO; VANGELISTA, 2017). Este tipo de topologia estrela pode ser observada na Figura 6.

Figura 6 – Arquitetura de rede LoRaWAN



Fonte: Adaptado de AUGUSTIN et al. (2016)

De modo a resumir as informações coletadas nesta revisão, pode-se inferir que a LoRaWAN é uma tecnologia recente de comunicação de rede sem fio por radiofrequência que tem sido explorada no campo de telecomunicações. A sua técnica de modulação, tipo de arquitetura, e protocolo lhe permitem comunicações que ultrapassam quilômetros, consumindo pouca energia e podendo ser operadas por bateria sem necessidade de troca por um longo período. Possui arquitetura fácil de ser implementada reduzindo custos elevados, sendo muito recomendada em aplicações de monitoramento em localidades remotas e sem conectividade e *IoT* na intercomunicação de diversos dispositivos. A Tabela 2 reúne as principais características da LoRaWAN.

Tabela 2 – Resumo das características LoRaWAN

Características	LoRaWAN
Protocolo	LoRaWAN
Modulação	SS chirp
Largura de banda de recepção	500 – 125KHz
Taxa de dados	290bps – 50Kbps Max
Mensagens/dia	Ilimitado
Max. Potência de saída	20 dBm
Limite de link de comunicação	154dBm
Vida útil bateria	105 meses
Eficiência energética	Alta
Proteção interferência	Alta
Coexistência	Sim
Segurança	Sim
Mobilidade/Localização	Sim
Bidirecional	Sim
Alcance	5 a 45 Km descampado
Área de cobertura	Excelente cobertura em áreas remotas
Arquitetura	Topologia tipo estrela, P2P

Fonte: Adaptado de ALMEIDA e TEIXEIRA (2017)

2.1.2 Módulo LoRa 1276 -915 MHz

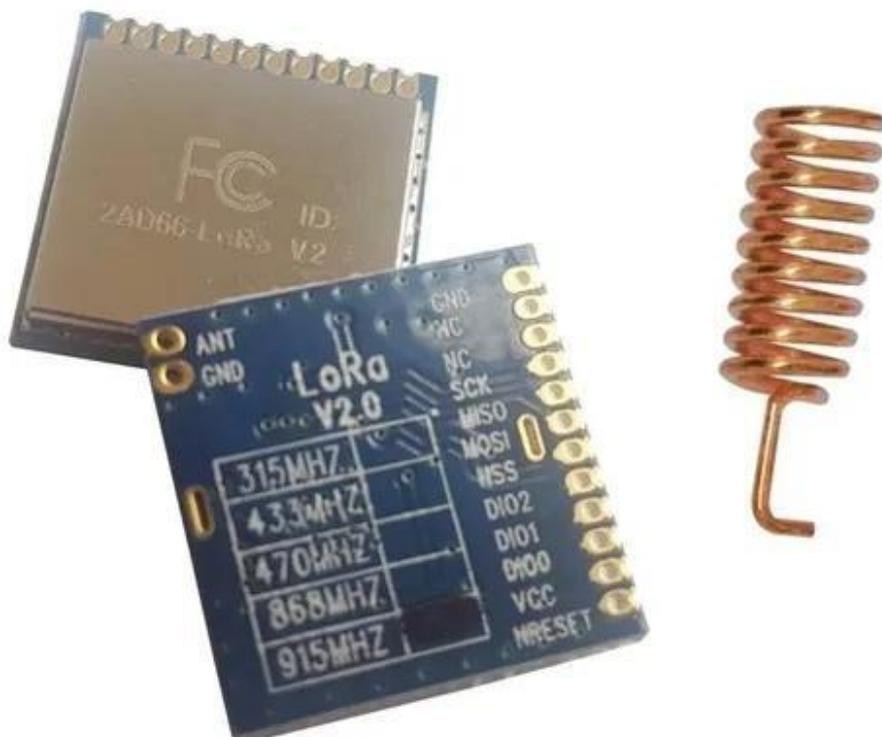
O LoRa 1276-915Mhz é um modulo transceptor responsável pela comunicação sem fio por rádio frequência (Transmissor e Receptor) produzido pela empresa Chinesa Nice RF que adota o chip 1276 com tecnologia LoRa desenvolvida pela Semtech localizada na Califórnia, EUA. (NICE RF, 2021).

O funcionamento do chip SX1276 é baseado em modulação de espectro de *Chirp*, que utiliza toda a largura de banda para transmitir um sinal, operando com baixo consumo de energia com capacidade de longo alcance na comunicação e alta proteção a interferências (SEMTECH, 2020).

De acordo com o *datasheet*, o módulo LoRa RF 1276 opera com 100 mW de potência e na frequência de 915 MHz (frequência permitida no Brasil), que possibilita comunicações sem fio de longo alcance em distâncias de 2000 m em ambiente urbano e até 4000 m em zona rural. Possui comunicação serial e pode ser utilizado com plataformas de desenvolvimento, como: arduino e Raspberry Pi utilizando o protocolo SPI, configurado com ou sem *gateway*, ideal para comunicação de dispositivos de monitoramento.

O módulo LoRa 1276 é quem realiza a comunicação do protótipo, entre os dispositivos remotos e o sistema de alerta central e pode ser visualizado na Figura 7. A Tabela 3 contém as principais características deste módulo.

Figura 7 – Módulo LoRa 1276 - 915Mhz



Fonte: NICE RF (2020)

Tabela 3 – Características Modulo LoRa 1276 – 915 MHz

Modelo	Modulo LoRa1276
Chip LoRa	SX1276
Frequência de Operação	915Mhz
Sensibilidade	139dBm
Tensão de Alimentação	1,8 a 3,7 VDC
Corrente de Consumo	10,8mA (RX- recepção) e 120mA (TX -transmissão)
Potência Máxima	20dBm
Tipo de Modulação	LoRa, FSK, GFSK E OOK
Taxa de transferência de dados	0,018 a 37,5 Kbps (LoRa)
Interface de Comunicação	SPI
Temperatura de Trabalho	-40 à +85°C
Dimensões	17,0 x 17,3 x 2,6 mm
Alcance	Até 4Km

Fonte: Adaptado de NICE RF (2020)

Para a comunicação do módulo com o Arduino, o protocolo utilizado é o SPI como já comentado anteriormente. Portanto, a identificação dos pinos do modulo para comunicação e alimentação se faz necessária. A Tabela 9 apresenta uma relação dos pinos do modulo LoRa 1276 – 915MHz e suas respectivas funções.

Tabela 9 – Pinos LoRa e suas funções

Pino LoRa	Função
VCC	Fonte de Energia (3.3v)
GND	Terra do Circuito
ANT	Conexão Antena
SCK	<i>Clock</i> do Protocolo SPI
NSS	<i>Slave Select (SS) / Chip Select (CS)</i>
RESET/NRRESET	Pino de <i>RESET</i>
DIOx	Pinos utilizados para comunicação do <i>transceiver</i> no protocolo <i>LoRaWAN</i>

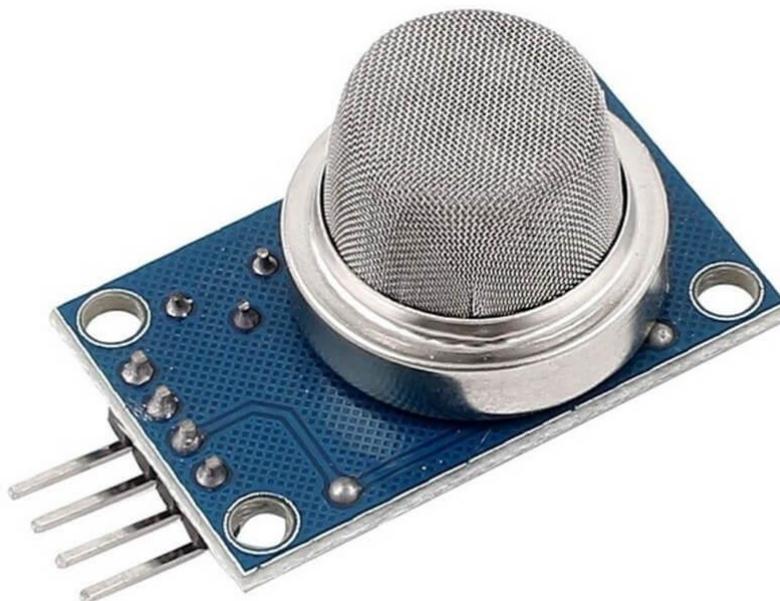
Fonte: Adaptado de FILIPEFLOP (2018)

2.1.3 Módulo Sensor MQ-2

O MQ-2 é um módulo sensor fabricado na China e comercializado no Brasil com preço bastante acessível e com design simples e robusto, sua construção permite fácil aplicação em projetos que envolvem monitoramento na detecção de gases utilizando plataformas de desenvolvimento como Arduino e Rapberry Pi.

Além de fumaça, este modulo sensor pode detectar vários outros tipos de gases, como: Glp, Propano, Metano e Hidrogênio (WINSEN, 2019). A Figura 8 permite a visualização de sua construção.

Figura 8 – Módulo Sensor MQ-2



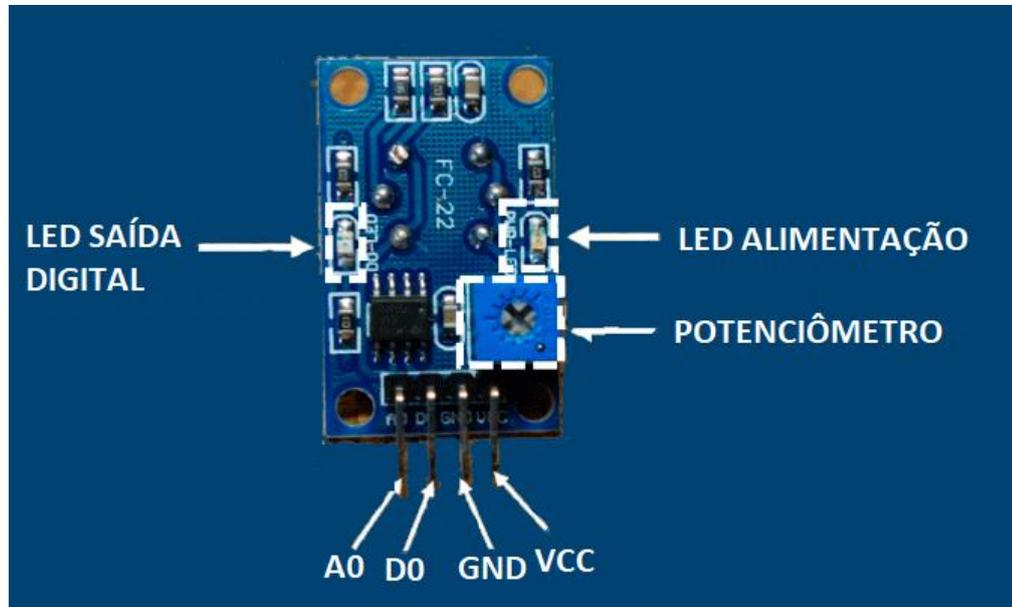
Fonte: WINSEN (2019)

O funcionamento do sensor é baseado no material semiconductor de óxido metálico que efetua a detecção de gases a partir de alterações em sua condutividade elétrica devido à redução de gases existentes no ar, diminuindo ou aumentando sua condutividade na presença do gás por meio de um divisor de tensão. É capaz de detectar as concentrações de gases de 200 a 10.000 ppm (partículas por milhão) na atmosfera (MOREIRA, 2014).

Com base em informações coletadas do fabricante, o modulo sensor MQ-2 apresenta saída digital que pode ser utilizada para a indicação de gás na atmosfera, e saída analógica para uma aplicação mais precisa medindo a variação de concentração dos gases. Possui um comparador LM392, que compara o valor obtido de tensão por meio do sensor com o valor de referência ajustado pelo potenciômetro, atuando de forma que quando houver um nível de

tensão maior que o valor de referência ajustado, a saída digital fica em estado alto e o LED indicador é acionado sugerindo a detecção de gás (CAPSISTEMA, 2020). Como podemos ver a partir da Figura 9.

Figura 9 – Detalhamento modulo sensor MQ-2



Fonte: CAPSISTEMA (2020)

O módulo sensor MQ-2 é utilizado neste projeto para o monitoramento dos dispositivos remotos, na detecção de fumaça proveniente dos focos de incêndio. A Tabela 10 descreve as principais características do módulo sensor MQ-2.

Tabela 10 – Características módulo sensor MQ-2

Modelo	Módulo sensor MQ-2
Alimentação	5v
Gases detectáveis	Fumaça, Propano, Butano, Hidrogênio, Glp
Concentração de detecção	200 a 10000 ppm
Sensibilidade	Via potenciômetro
Saídas	Digital e Analógica
Comparador	LM393
Dimensões	32 x 20 x 15
LED indicador	Alimentação
LED indicador	Tensão saída digital

Fonte: Adaptado de FILIPEFLOP (2019)

2.1.4 Arduino

Desenvolvido na Itália no ano de 2005, o Arduino é uma plataforma de desenvolvimento de eletrônica e programação de fácil utilização, consiste em uma placa de prototipagem eletrônica que contém como principal componente um microcontrolador da série Atmega e um ambiente de programação integrado para o desenvolvimento de códigos, sendo livre para *download* (IDE) (FILIPEFLOP, 2019).

A placa Arduino é um *hardware* livre, ou seja, pode ser fabricada e comercializada por qualquer desenvolvedor, o que faz com seja uma placa de baixo custo e de extrema popularidade entre os projetistas amadores e profissionais (ARDUINO, 2019).

No mercado há vários modelos de placa Arduino: Arduino Nano, Mega, Uno, Micro. A placa utilizada neste projeto é do modelo Uno R3 seu formato pode ser visualizado por meio da Figura 10.

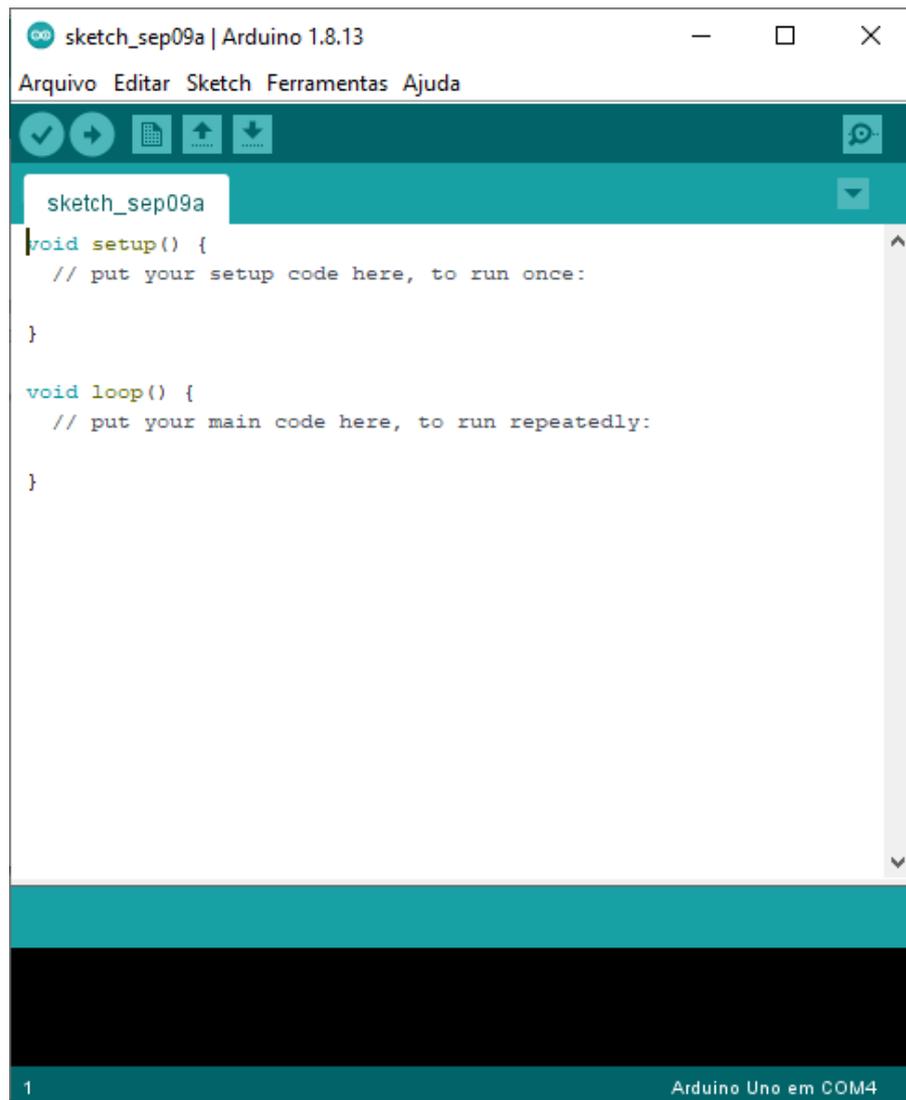
Figura 10 – Placa Arduino Uno R3



Fonte: FILIPEFLOP (2020)

Por meio dos vários pinos de entrada e saída integrados ao microcontrolador, o Arduino permite o desenvolvimento de diversos projetos de controle em eletrônica, a partir de códigos criados na plataforma de desenvolvimento integrada (IDE) utilizando uma linguagem de programação C++ e gravados na placa utilizando um cabo USB. A Figura 11 ilustra o ambiente de programação da plataforma.

Figura 11 – Software de programação Arduino IDE



Fonte: ELETROGATE (2020)

A placa Arduino Uno é utilizada no controle do protótipo desenvolvido no presente trabalho, suas características como o baixo custo, fácil programação e prototipagem contribuem para tal escolha. A Tabela 11 fornece as principais características da placa.

Tabela 11 – Características Placa Arduino Uno R3

Microcontrolador	ATmega328
Tensão de operação	5v
Tensão de entrada	7 a 12v
Pinos de entrada e saída digitais	14
Pinos de entrada analógica	6
Corrente	40 A 50ma
Memória FLASH	32kb
Memoria EEPROM	1kb
Memoria SRAM	2kb
Velocidade de processamento	16MHz
Dimensões	68,55mm x 53,34mm

Fonte: ELETROGATE (2020)

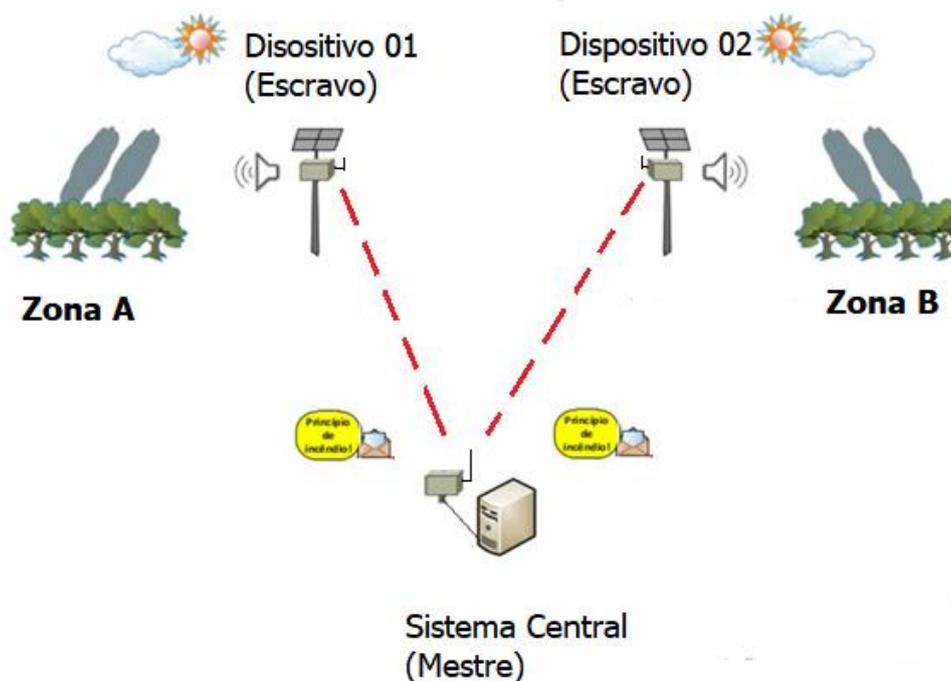
2.2 METODOLOGIA

Para o monitoramento dos focos de incêndio utilizando uma rede sem fio de longo alcance (LoRaWAN), foram construídos dois dispositivos de monitoramento remotos semelhantes e um dispositivo de alerta central, tendo como cérebro das operações a placa Arduino Uno R3.

Os dispositivos remotos detectam a fumaça proveniente dos focos de incêndio por meio do módulo sensor MQ-2 e enviam uma mensagem de alerta para o sistema central utilizando os módulos LoRa 1276 – 915 MHz. Esta mensagem pode ser visualizada no monitor serial da IDE do Arduino. Para uma identificação mais instantânea, o dispositivo central também pode atuar junto a um painel com LEDs que indicam a região e o dispositivo na qual o foco de incêndio foi detectado e sirene para um alerta sonoro.

A comunicação da rede é baseada no tipo mestre/escravo sendo o mestre o dispositivo central e os dispositivos remotos escravos, apenas com endereços diferentes. Essa configuração de rede, além de não necessitar de *gateways*, reduzindo o custo do projeto, permite a adição na rede de até 32 dispositivos remotos de monitoramento. A Figura 12 nos ajuda a compreender a metodologia aplicada.

Figura 12 – Rede LoRa de dispositivos de monitoramento de focos de incêndio



Fonte: Adaptado de LEAL (2020)

O dispositivo de monitoramento remoto contém formato cilíndrico e tampa de encaixe de pressão que permite a inspeção e reparo do dispositivo. Para a redução do custo do projeto, sua estrutura é composta por um CAP de cano de PVC de 100mm Ø, onde foi desenvolvido um furo de 20mm Ø para fixação do sensor, furo lateral de 5mm Ø para a alocação da antena e um suporte de MDF de 6mm para encaixe do circuito eletrônico. Para impermeabilização e proteção térmica do circuito contra as intempéries do clima, foi realizado um revestimento utilizando uma manta asfáltica aluminizada. Essas características podem ser vistas por meio da Figura 13.

Figura 13 – Características mecânicas do dispositivo de monitoramento



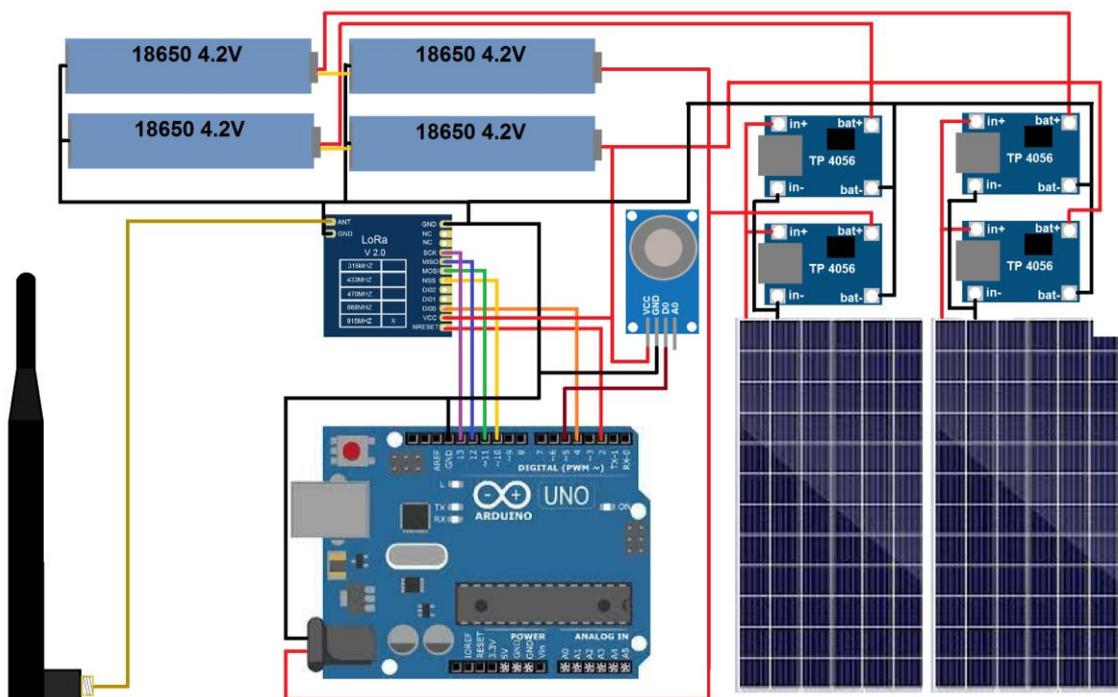
Fonte: Dos autores

O circuito eletrônico do dispositivo de monitoramento remoto conta com um módulo sensor MQ-2 em sua configuração digital com sua saída no pino 5 da placa Arduino, levando a entrada digital da placa ao nível alto caso detecte fumaça.

Para o controle do processo, é empregado a placa Arduino Uno R3 que faz a comunicação com o módulo LoRa 1276-915 MHz, utilizando os pinos 2 e 4 para o VCC e D00 do modulo LoRa, o pino 10 conectado ao NSS, pino 11 ao MOSI, o pino 12 ligado ao MISO e o pino 13 ligado ao SCK do modulo LoRa, o pino para conexão da antena é o ANT onde é ligado uma antena modelo LoRa 915Mhz de 5dbi que garante uma melhor performance para o dispositivo.

A alimentação do dispositivo remoto é feita por meio de células de lítio 18650 Samsung de 4.2v, para o carregamento da bateria é utilizado o modulo TP4056 conectado as duas células fotovoltaicas de 6v, que carregam a bateria durante o dia, baterias essas que mantem o dispositivo em operação por 24h. Lembrando que apenas um dos dispositivos possui placa solar e bateria, sendo o outro alimentado por fonte externa para ser utilizado em ambiente urbano. Toda a conexão feita pode ser observada nas Figuras 14 e 15.

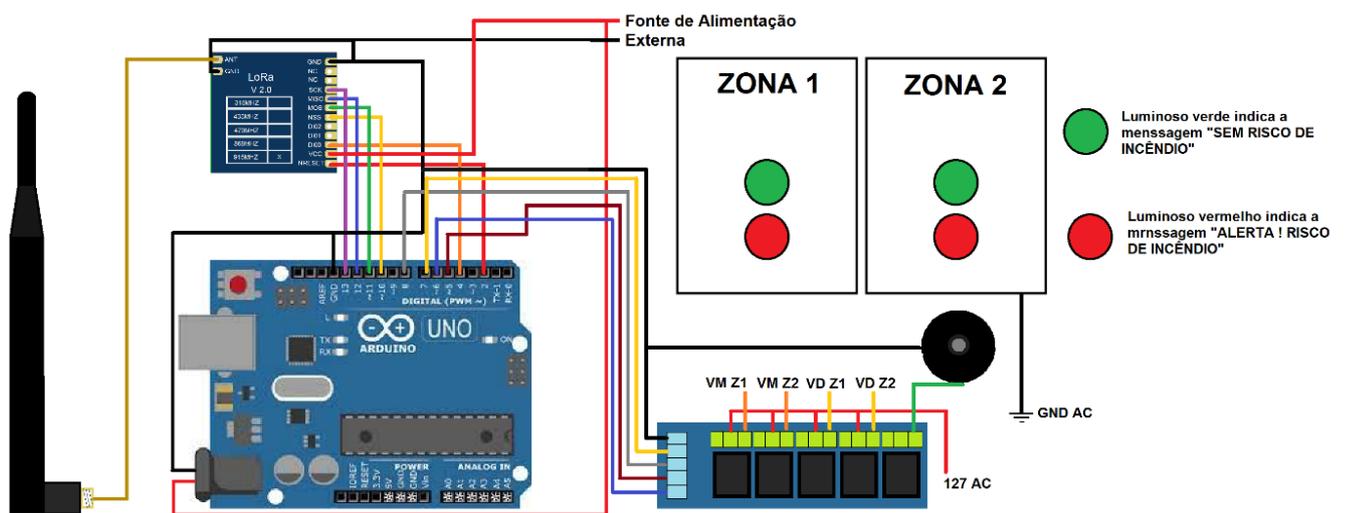
Figura 14 – Diagrama elétrico circuito dispositivo de monitoramento



Fonte: Dos autores

O circuito do dispositivo central de alerta possui a mesma configuração do dispositivo remoto. Entre Arduino e módulo LoRa, a diferença é que não possui sensor e o método de alimentação é exclusivamente feito por fonte externa. São empregados os pinos 5, 6, 8, e 9 da placa Arduino como saídas digitais, conectado a um cabo multipolar comunicando com os módulos relé do painel de sinalização, acionando-os caso haja detecção de focos de incêndio. As Figuras 17 e 18 exibem tal composição.

Figura 17 – Diagrama circuito dispositivo central de alerta



Fonte: Dos autores

Figura 18 – Montagem do circuito dispositivo central e painel de alerta



Fonte: Dos autores

O programa utilizado nos dispositivos é um software de comunicação ponto a ponto que utiliza Arduino e módulo LoRa, esse software foi desenvolvido na página web FILIPEFLOP e foi usado para o presente projeto. Foram necessárias, contudo, algumas modificações no programa para atender o objetivo de se criar uma rede LoRaWAN do tipo mestre/escravo. Todas as alterações foram realizadas na plataforma IDE do Arduino. No programa original, a comunicação era feita em intervalos de tempo, onde os módulos de ponto a ponto sincronizavam em período específico.

A principal alteração efetuada foi a adição do dispositivo mestre. A comunicação do dispositivo mestre é realizada enviando uma mensagem para os dispositivos escravos sendo que cada mensagem é endereçada para cada dispositivo escravo. Quando o dispositivo escravo recebe a mensagem endereçada para ele, verifica a condição do sensor e por meio das condicionais internas envia uma das duas possíveis mensagens para o dispositivo mestre. Por fim o dispositivo mestre exibe a mensagem no monitor serial e aciona as saídas digitais definidas no programa dedicadas ao modulo relé. A seguir as Figuras, 19, 20, 21 e 22, exibem as principais linhas da programação.

Figura 19 – Endereçamentos dos dispositivos

```
// Definicao das bibliotecas a serem utilizadas no projeto
#include <SPI.h>
#include <LoRa.h>

// Definicacao de constantes
const int csPin = 10;      // Chip Select (Slave Select do protocolo SPI) do modulo Lora
const int resetPin = 2;   // Reset do modulo LoRa
const int irqPin = 4;     // Pino DI0

int lpg, co, smoke;
int sens_D = 5;          // pino digital definido
String outgoing;        // outgoing message
String mensagem;        // =====
byte localAddress = 0x02; // Dispositivo de monitoramento (Escravo)
byte msgCount = 0;      // Contador de mensagens enviadas
byte destination = 0x01; // Dispositivo central (Mestre)
long lastSendTime = 0;  // TimeStamp da ultima mensagem enviada
int interval = 50;      // Intervalo em ms no envio das mensagens (inicial 5s)
bool Resposta = false;
```

Fonte: Adaptado de FILIPEFLOP (2019)

Figura 20 – Função rede mestre/escravo

```

if (Slave == 1)
{
  destination = 0x02;
  mensagem = "Escravo-1";
  sendMessage(mensagem);
  Serial.println("Enviando " + mensagem);
}
if (Slave == 2)
{
  destination = 0x03;
  mensagem = "Escravo-2";
  sendMessage(mensagem);
  Serial.println("Enviando " + mensagem);
}
Slave++;
if (Slave == 3)
{
  Slave = 1;
}

//delay (1000);
lastSendTime = millis();           // Timestamp da ultima mensagem
}

```

Fonte: Dos autores

Figura 21 – Estrutura “IF” de mensagem de alerta

```

if (millis() - lastSendTime > interval)
{
  if (digitalRead (sens_D)== false )
  {
    //Serial.println (" ALERTA ! RISCO DE INCÊNDIO ");
    mensagem = "ALERTA ! RISCO DE INCÊNDIO";
  }
  else {Serial.println (" SEM RISCO DE INCÊNDIO");
  mensagem = "SEM RISCO DE INCÊNDIO";
  }
}

```

Fonte: Dos autores

Figura 22 – Imprimindo as mensagens dos dispositivos escravos no monitor serial e compara a mensagem através do “IF” acionando as saídas do painel

```

if (Slave == 1) ⇒ Dispositivo remoto 0x02
{
    Serial.println ("Recebido do Escravo 1");
    // Caso a mensagem seja para este dispositivo, imprime os detalhes
    Serial.println("Recebido do dispositivo: 0x" + String(sender, HEX));
    Serial.println("Enviado para: 0x" + String(recipient, HEX));
    Serial.println("ID da mensagem: " + String(incomingMsgId));
    Serial.println("Tamanho da mensagem: " + String(incomingLength));
    Serial.println("Mensagem: " + incoming);
    Serial.println("RSSI: " + String(LoRa.packetRssi()));
    Serial.println("Snr: " + String(LoRa.packetSnr()));
    Serial.println();

    if (incoming == "SEM RISCO DE INCÊNDIO")
    {digitalWrite ( vermelho_1, LOW);
    digitalWrite ( verde_1, HIGH);
    }
    else
    { digitalWrite ( verde_1, LOW);
    digitalWrite ( vermelho_1, HIGH);
    }
}

```

```

if (Slave == 2) ⇒ Dispositivo remoto 0x03
{
    Serial.println ("Recebido do Escravo 2");
    // Caso a mensagem seja para este dispositivo, imprime os detalhes
    Serial.println("Recebido do dispositivo: 0x" + String(sender, HEX));
    Serial.println("Enviado para: 0x" + String(recipient, HEX));
    Serial.println("ID da mensagem: " + String(incomingMsgId));
    Serial.println("Tamanho da mensagem: " + String(incomingLength));
    Serial.println("Mensagem: " + incoming);
    Serial.println("RSSI: " + String(LoRa.packetRssi()));
    Serial.println("Snr: " + String(LoRa.packetSnr()));
    Serial.println();

    if (incoming == "SEM RISCO DE INCÊNDIO")
    {digitalWrite ( vermelho_2, LOW);
    digitalWrite ( verde_2, HIGH);
    }
    else
    { digitalWrite ( vermelho_2, HIGH);
    digitalWrite ( verde_2, LOW);
    }
}

```

Fonte: Dos autores

4. RESULTADOS OBTIDOS

Para a validação do funcionamento dos dispositivos, foram efetuados testes relacionados ao alcance de comunicação dos módulos LoRa, teste de efetividade e distância de detecção do sensor MQ-2, autonomia da bateria e validação da rede LoRaWAN.

Para o teste de alcance de comunicação da rede, os dois dispositivos remotos foram transportados em direções diferentes, um direcionado ao meio urbano e o outro dispositivo transportado para o meio rural, monitorados por meio do monitor serial do dispositivo central de alerta localizado em uma residência. Na cidade, o dispositivo manteve a comunicação em uma distância de 2 km e, no meio rural, em uma distância aproximada de 5 km, enviando a mensagem de alerta de incêndio quando o sensor fosse acionado pelo potenciômetro, superando o alcance máximo (4km do módulo LoRa 1276-915 MHz especificado pelo fabricante). Ressalta-se que, com o cálculo específico de impedância de antena, topografia do terreno, os módulos poderiam alcançar facilmente uma comunicação de mais de 5 km. A Figura 23 exibe o teste de alcance da rede com os dois dispositivos de monitoramento e dispositivo central.

Figura 23 – Alcance de comunicação dos dispositivos no meio rural e urbano



Fonte: Dos autores

No teste de detecção do sensor, foi simulado pequenos focos de incêndio utilizando folhas secas em uma área restrita e controlada, em distância de 1 a 6 metros. O dispositivo foi posicionado em frente a esses focos em uma altura de 2,5 metros, fixado em um poste improvisado. O módulo sensor foi capaz de detectar efetivamente a fumaça em uma área de até 3 metros do foco simulado, em apenas 15 segundos, enviando a informação para o dispositivo central. Cumpre frisar que após essa distância o sensor apresentou dificuldades na detecção, demonstrando instabilidade.

Durante os testes, foi possível observar que o módulo sensor MQ-2 não foi o mais indicado para uma aplicação final, porém, o seu baixo custo e fácil utilização colaborou em sua aplicação para o presente projeto para pesquisa e para testes acadêmicos na área de monitoramento de focos de incêndio. Lembrando que fatores como a direção do vento e posição do dispositivo, influenciam na detecção de fumaça pelo sensor. A Figura 24 exhibe a imagem do teste de detecção do módulo sensor.

Figura 24 – Teste de raio de detecção do dispositivo de monitoramento com modulo sensor MQ-2



Fonte: Dos autores

Foram realizados testes de duração da bateria e placa solar do dispositivo remoto, onde foi observado que as placas solares em conjunto com o modulo TP4056 carregaram as células de lítio 18650, mantendo o dispositivo alimentado por 24h. Foi constatado o perfeito funcionamento da rede LoRaWAN do tipo mestre/escravo, sendo que o mestre (dispositivo central de alerta) endereçado como 0x01 gerenciou a comunicação entre os dois escravos (dispositivos remotos) de forma estável a uma distância máxima de 5 km do dispositivo de monitoramento, recebendo as mensagens de alerta de focos de incêndio dos dispositivos remotos endereçados como 0x02 e 0x03, como pode ser observado na Figura 25, na tela do monitor, o dispositivo central.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, foi proposto o desenvolvimento de dispositivos de monitoramento de focos de incêndio utilizando LoRaWAN, com o objetivo de atender uma demanda em relação ao monitoramento mais integrativo dos focos de incêndio, usando tecnologia de baixo custo e comunicação com longo alcance para operar em diversas áreas de risco, como: reservas, pastos a margem da rodovia, plantações, contribuindo não só com desenvolvimento acadêmico, como também com novas ferramentas quando se diz respeito ao monitoramento desses focos.

O protótipo se encontra funcional, e em todos os testes de campo controlados demonstrou-se efetivo, transmitindo uma mensagem de alerta para o dispositivo central em caso de detecção de fumaça pelo módulo sensor. Entretanto, algumas melhorias pertinentes podem ser citadas, tais como a aplicação de um módulo sensor mais robusto do tipo industrial, um sistema de captura de vídeo para monitorar queimadas criminosas, o emprego de mais dispositivos remotos para uma rede mais robusta e a aplicação de uma interface gráfica de monitoramento, como um aplicativo para dispositivo móvel.

Por fim, pode-se observar que de acordo com os custos envolvidos e os métodos de aplicação, os dispositivos de monitoramento remoto e dispositivo de alerta central cumpriram com o seu objetivo de estabelecer uma rede LoRaWan. A rede LoRaWan mostrou-se efetiva para esta aplicação, possibilitando comunicação por rádio frequência de longo alcance com gasto energético mínimo, para uma possível aplicação real de monitoramento em diversas áreas onde os focos de incêndio são recorrentes.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Henrique Toledo Soares De; **Sistema de Monitoramento de Nível de Lixeiras Aplicado a Cidades Inteligentes**. São Carlos, SP:2019. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos.

AUGUSTIN, Aloÿs et al. **A Study of LoRa: Long Range & Low Power Networks for the Internet of Things**. *Sensors*, Basel, Switzerland, v. 16, n. 9, p. 1466, 09 set 2016.

EMBARCADOS. **Conheça a tecnologia LoRa® e o protocolo LoRaWAN™**. Disponível em: <https://www.embarcados.com.br/conheca-tecnologia-lora-e-o-protocolo-lorawan/>. Acesso 11 de mar de 2020.

FOROUZAN, B. A. Comunicação de dados e redes de computadores. 4. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2007. 1134p.

GUIA para sensor de gás/fumaça MQ-2 COM Arduino. CAPSISTEMA, 2020. Disponível em: <https://capsistema.com.br/index.php/2020/11/24/guia-para-sensor-de-gas-fumaca-mq-2-com-arduino/>. Acesso em: 07, nov. 2021.

GONÇALVES, Karen dos Santos. **Queimadas e Atendimentos Ambulatoriais por Doenças Respiratórias em Crianças no Município de Porto Velho, Rondonia**. Rio de Janeiro, RJ: 2010. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública e Meio Ambiente) – Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca.

LEAL, Matheus. **O que é LoRaWAN**. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=JV5lLn3CYoc&t=714s>. Acesso em: 14 de Mar de 2021.

LEMOS, Vinícios. **Porque pantanal vive maior tragédia ambiental em décadas**. BBC,2020. Meio ambiente. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/brasil-53662968>. Acesso em: 27 nov. 2020.

LoRa Alliance. Disponível em: https://lora-alliance.org/lorawan-certification/?gclid=CjwKCAjwv_iEBhASEiwARoemvBZ41TAB4YMYWRQTrXesG9LO6De4g4CSWQ9ut9izls9bNO6dF8NudhoCFOYQAvD_BwE. Acesso em 11 de Mar de 2021.

MAGRIN, Davide; CENTENARO, Marco; VANGELISTA, Lorenzo. **Performance evaluation of LoRa networks in a smart city scenario**. In: 2017 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMMUNICATIONS (ICC), IEEE, 2017. 1-7 p.

MCROBERTS, Michael. **Arduino Básico**. Editora Novatec, 1ª edição, 2011.

MEKKI, K. et al. **A comparative study of lpwan technologies for large – scale IoT deployment**. **ICT Express**, U.S, n. 1 – 7, 2019. ISSN 2405 – 9595

MOREIRA, Raphael Garcia. Sensoriamento de misturas de H₂, CH₄ e CO por meio de uma matriz de quimioresistores. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

NETO, Eron. **Comunicação LoRa com Arduino Ponto a Ponto (P2P)**. Filipeflop. 2019. Disponível em: <https://www.filipeflop.com/blog/comunicacao-lora-com-arduino-p2p/>. Acesso em: 15, set. 2021

NICE RF. **100mw Long Range Spread Spectrum Modulation Wireless Transceiver Module**. Disponível em: <https://curtocircuito.com.br/datasheet/modulo/LoRa1276.pdf>. Acesso em: 18, nov, 2021.

NUNES, Bruno. **Introdução a LoRa®, NB-IoT e Sigfox**. Disponível em: <https://www.embarcados.com.br/lora-nb-iot-e-sigfox/>. Acesso em 25 mar. 2019.

PEREIRA, L. D; 1MORAES, W; 1MANFRIN, V. A. V; 1CASTALDIN, A. G. **Sistema de Alarme e Detecção de Incêndio em Arduino**. Disponível em: https://cic.unifio.edu.br/anaisCIC/anais2018/pdf/15_01.pdf?fbclid=IwAR0emlh-_lmSWTKKiw0KZe7yPCmErLuLo8PbbBDdcRpzT0GwgXRj19gEjM0. Acesso em: 10 de mar. 2021.

OLIVEIRA, Giulio Cruz de. **Localização indoor utilizando a tecnologia LoRaWAN e aprendizado de máquina**. Monografia (Bacharelado em Engenharia de Telecomunicações). Instituto Federal de Santa Catarina – IFSC. Câmpus São José. 2017.

RADIOENGE. **Modulo LoRaWAN**. Disponível em: <https://www.radioenge.com.br/solucoes/iot/17-modulo-lorawan.html>. Acesso em: 09 de mar de 2021.

RAMOS, Matheus Henrique Pinto. **Uso de Rede LoraWAN em um Sistema de Gerenciamento de Lixo**. Recife, PE: 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. Centro de informática.

SANTOS, Bruno P et al. **Internet das Coisas: da Teoria à Prática**. Departamento de Ciência da Computação. Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Belo Horizonte. Disponível em: <https://homepages.dcc.ufmg.br/~mmvieira/cc/papers/internet-das-coisas.pdf>. Acesso em: 28 mar. 2021.

SCHUMACHER, Mauro Valdir; DICK, Grasiela. **Incêndios Florestais**. 3. ed. rev. Santa Maria: UFSM, CCR, Departamento de Ciências Florestais, 2018.

SCHWAB, Anderson Luis. **Criação de uma Rede LoRa para Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento**. Novo Hamburgo, RS:2020. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Feevale. Departamento de Ciência da Computação.

SEMTECH. Disponível em: <https://www.semtech.com/products> Acesso em: 10, nov. 2021.

SHARMA, Vishal et al. **IoT enabled smart-home**. International Journal of Scientific Research in Computer Science Engineering and Information Technology (IJSRCSEIT), v. 2, p. 1032-1035, 2017.

THOMSEN, Adilson. **O que é Arduino? Filipeflop**. 2020. Disponível em: <https://www.filipeflop.com/blog/o-que-e-arduino/>. Acesso em: 07, nov. 2021.

World Wildlife Fund. **Pantanal tem 126% mais queimadas que em 2019**. Brasília, 2019. Disponível em: https://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/areas_prioritarias/pantanal/pantanal_news/?76708/Pantanal-tem-126-mais-queimadas-que-em-2019. Acesso em: 12 set. 2020.

VIDAL, Victor. **O que é Arduino: Afinal para que serve o Arduino?** Eletrogate, 2021. Disponível em: <https://blog.eletrogate.com/arduino-primeiros-passos/>. Acesso em: 02, nov. 2021.

WINSEN. **Flammable gás sensor: model MQ-2**. Disponível em: [https://www.winsen-sensor.com/d/files/PDF/Semiconductor%20Gas%20Sensor/MQ-2%20\(Ver1.4\)%20-%20Manual.pdf](https://www.winsen-sensor.com/d/files/PDF/Semiconductor%20Gas%20Sensor/MQ-2%20(Ver1.4)%20-%20Manual.pdf). Acesso em: 10, nov. 2021.