



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DO CEARÁ
PRÓ-REITORIA DE ENSINO
COORDENAÇÃO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE TELECOMUNICAÇÕES**

MÁRIO HENRIQUE BARROS OLIVEIRA DE SOUZA PEREIRA

**SISTEMA DE REDES DE SENSORES SEM FIO PARA PREVENÇÃO
DE INCÊNDIOS FLORESTAIS E MONITORAMENTO ATRAVÉS DE
PLATAFORMA IOT**

FORTALEZA

2018

MÁRIO HENRIQUE BARROS OLIVEIRA DE SOUZA PEREIRA

SISTEMA DE REDES DE SENSORES SEM FIO PARA
PREVENÇÃO DE INCÊNDIOS FLORESTAIS E
MONITORAMENTO ATRAVÉS DE PLATAFORMA IOT

Dissertação submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Telecomunicações do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Telecomunicações.

Área de concentração: Sistemas de Telecomunicações

Orientador: Prof. Dr. Francisco José Alves de Aquino

Co-orientador: Prof. Dr. Edson da Silva Almeida

Fortaleza
2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Instituto Federal do Ceará - IFCE
Sistema de Bibliotecas - SIBI
Ficha catalográfica elaborada pelo SIBI/IFCE, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- B277s Barros Oliveira de Souza Pereira, Mário Henrique.
 SISTEMA DE REDES DE SENSORES SEM FIO PARA PREVENÇÃO DE INCÊNDIOS
 FLORESTAIS E MONITORAMENTO ATRAVÉS DE PLATAFORMA IOT / Mário Henrique Barros
 Oliveira de Souza Pereira. - 2018.
 70 f. : il. color.
- Dissertação (Mestrado) - Instituto Federal do Ceará, Mestrado em Engenharia de Telecomunicações,
 Campus Fortaleza, 2018.
 Orientação: Prof. Dr. Francisco José Alves de Aquino.
 Coorientação: Prof. Dr. Edson da Silva Almeida.
1. Arduíno. 2. ZigBee. 3. Redes de sensores sem fio. 4. Incêndios florestais. 5. Prevenção de incêndios.
I. Título.
-

CDD 621.382



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
TELECOMUNICAÇÕES

Mário Henrique Barros Oliveira de Souza Pereira

Esta Dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Telecomunicações, sendo aprovada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Telecomunicações do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará e pela banca examinadora:

Orientador: Prof. Dr. Francisco José Alves de Aquino
Instituto Federal do Ceará – IFCE

Prof. Dr. Edson da Silva Almeida
Instituto Federal do Ceará – IFCE

Prof. Dr. Daniel Xavier Gouveia
Instituto Federal do Ceará – IFCE

Prof. Dr. Juan Carlos Alvarado Alcócer

UNILAB - Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira

Fortaleza, 11 de outubro de 2018

Dedico este trabalho a Deus, minha maravilhosa esposa, mãe, irmão e aos meus amigos.

Agradecimentos

Em primeiro lugar, agradeço a Deus pelo dom da vida, pelas bênçãos na saúde, proteção, paz, felicidade, por me proporcionar o caminho da superação e por todas as graças alcançadas na minha vida.

Agradeço profundamente a minha mãe, Maria Conceição, por todo o apoio dado à minha educação desde a infância até hoje, pelos carões, as brigas e incentivo. Sem ela, nada disso seria possível. Aos meus irmãos Milton Flávio e Marcelo Ricardo da mesma forma que agradeço a minha mãe. Agradecimentos especiais à minha esposa, companheira e cúmplice, Magda Edwirges, por estar ao meu lado em vários momentos, pelo apoio, compreensão, incentivo, por ser a minha fortaleza e inspiração, como também pela paciência por ter me ajudado a vencer um dos momentos mais difíceis da minha vida, sem ela esse trabalho nunca teria acontecido.

Ao prof. Dr. Francisco José, pela orientação, confiança, paciência, disponibilidade, ideias compartilhadas e inúmeras sugestões recebidas para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao prof. Dr. Daniel Xavier, pelas valiosas horas de discussões, questionamentos, disponibilização dos recursos, além de todo o apoio que recebi desde o ingresso no curso de mestrado, tanto no meio acadêmico quanto no pessoal.

Ao prof. Dr. Edson Almeida, pela Co-orientação, o apoio incondicional, confiança, paciência, disponibilidade, ideias compartilhadas e inúmeras sugestões recebidas para o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço também aos amigos que me apoiaram durante a minha jornada. Em especial ao Amarilton, Victor Alisson, Cleiton, Paulo Renato, Katielle e Jorge Fredericson e toda a equipe do GDEST pela paciência e disponibilidade em diversos momentos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo no último ano do curso de mestrado.

À banca examinadora pelas sugestões, críticas e elogios que se somaram a este trabalho.

“Do. Or do not. There is no try.”

Yoda, Jedi Master. Personagem fictício da saga Star Wars.

Resumo

Esta dissertação possui como objeto de estudo a prevenção de incêndio nas florestas de determinada comunidade e/ou região geográfica. Este trabalho teve como objetivo geral desenvolver um sistema (*wireless*) para monitorar focos de incêndios. Pretende-se que esse sistema monitore remotamente e analise, em tempo real, um conjunto de dados ambientais com o intuito de alertar líderes e responsáveis para que possam tomar atitudes preventivas. Possui como objetivo específico projetar e implementar uma Rede de Sensores Sem Fio (RSSF) para obter dados de gás, fumaça, umidade, temperatura, em tempo real e transmiti-lo através da rede móvel, para análise e possível alerta. No que tange à motivação do presente estudo, mediante análise dos dados relacionados às calamidades e com base em histórico de focos ativos de queimadas monitorados pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), percebe-se a gravidade dos casos com grande número de vítimas fatais no mundo, fator motivador do desenvolvimento desta pesquisa. Para a metodologia deste trabalho foram delimitados diversos tipos de redes de sensores sem fio e optou-se por uma rede do tipo *ZigBee* e um sistema GSM para retransmissão dos dados. Foram também realizadas medições em laboratório e em campo para validar o funcionamento global: sensores, placa e comunicação. Todos os sensores assim como o *hardware* coordenador foram testados individualmente e, em seguida, a rede completa. No que se refere aos resultados deste trabalho, foram realizados experimentos de forma controlada para verificar a eficiência do sistema através da intensidade dos gases, temperatura, fumaça, *radio ranger test*, *throughput*, testes de rede em ambiente aberto e da rede móvel GSM e o envio dos dados monitorados para a plataforma IoT (*thingspeak*). O protótipo funcionou como esperado, permitindo a aquisição de um grande conjunto de dados, que foram enviados via rede móvel GSM. Concluiu-se que o sistema de prevenção aos incêndios florestais apresenta uma ótima resposta e capazes de se tornar um fator ímpar no combate a essas catástrofes. Com a rapidez do sistema GSM e atualmente considerado uma solução de baixo custo, o protótipo executa seu objetivo como desejado.

Palavras-chave: arduíno, IoT, *ZigBee*, redes de sensores sem fio, incêndios florestais, prevenção de incêndios.

Abstract

This dissertation has as object of study the prevention of fire in the forests of a certain community and/or geographic region. This work had as general objective to develop a wireless system to monitor outbreaks of fires. It is intended that this system monitor remotely and analyze, in real time, a set of environmental data in order to alert leaders and responsible so that they can take preventive attitudes. Has as specific goal to design and implement a wireless sensor Network (WSN) to get data from gas, smoke, humidity, temperature, in real time and pass it through the mobile network for analysis and possible alert. With regard to the motivation of this study by analysis of data related to calamities and based on a history of outbreaks burned monitored assets by INPE (National Institute of space research), the severity of cases with great number of fatalities in the world, motivating factor of the development of this research. For the methodology of this work were defined several types of wireless sensor networks and opted for a ZigBee network and a GSM system for retransmission of data. Measurements were also carried out in the laboratory and in the field to validate the overall operation: sensors, and communication. All the sensors as well as the hardware Coordinator were tested individually and then the complete network. With regard to the results of this study, experiments were carried out in a controlled manner to verify the efficiency of the system through the intensity of gases, temperature, smoke, radio ranger test, throughput, network tests in open environment and the GSM mobile network and sending data monitored for IoT thingspeak platform. The prototype worked as expected, allowing the acquisition of a large set of data, which were sent via mobile GSM network. It was concluded that the system of preventing forest fires presents a great response and capable of becoming a unique factor in combating such disasters. With the speed of the GSM system and currently considered a low cost solution, the prototype performs your goal as desired.

Keywords: Arduino, IoT, ZigBee, wireless sensor networks, forest fires, fire prevention.

Sumário

Lista de Figuras

Lista de Tabelas

Lista de Abreviações

1	Introdução	17
1.1	Objetivos	19
1.1.1	Objetivo Geral	19
1.1.2	Objetivos Específicos	19
1.2	Motivação	19
1.3	Organização da Dissertação	20
2	Conceitos das Tecnologias do Projeto de Sensoriamento	22
2.1	Redes de Sensores Sem Fio	23
2.2	Projeto de uma RSSF	24
2.2.1	Endereçamento dos sensores ou nós	25
2.2.2	Agregação dos dados	25
2.2.3	Mobilidade dos sensores	25
2.2.4	Restrições dos dados coletados	25
2.2.5	Quantidade de sensores	26
2.2.6	Limitação da energia disponível	26
2.2.7	Auto-organização da rede	26

2.2.8	Tarefas colaborativas	26
2.2.9	Capacidade de responder a consultas	27
2.3	O Padrão <i>ZigBee</i>	27
2.3.1	Estrela	28
2.3.2	Árvore	29
2.3.3	Malha	29
2.4	Rede Móvel	30
2.5	<i>Internet of Things</i> (IoT)	31
2.5.1	Identificação	32
2.5.2	Sensores/Atuadores	33
2.5.3	Comunicação	33
2.5.4	Computação	33
2.5.5	Serviços	33
2.5.6	Semântica	33
2.6	Conclusão	34
3	Sistema Proposto	35
3.1	Estrutura do Projeto	35
3.2	<i>Hardware</i>	36
3.2.1	Sensores	36
3.2.2	Arduíno UNO	37
3.2.3	<i>Real Time Clock</i>	38
3.2.4	<i>XBee</i>	39
3.2.5	Módulo GSM/GPRS	40
3.2.6	Custo do Projeto	41
3.3	Detalhamento dos Nós Sensores	41
3.3.1	Roteamento <i>ZigBee</i>	43

3.3.2	Atribuição de Endereço	44
3.3.3	Cálculo do Custo do Enlace	45
3.4	<i>Software</i> de Configuração do Rádio - XCTU	46
3.4.1	Plataforma IoT <i>ThingSpeak</i>	47
3.5	Conclusão	48
4	Ensaaios Experimentais do Sistema de Prevenção a Incêndios Florestais	49
4.1	Metodologia para verificação da presença ou ausência dos gases e os índices de temperatura e umidade	49
4.2	Avaliação da eficiência no envio e recebimento de dados (<i>radio range test</i>) . . .	54
4.3	Avaliar a taxa de transferência no envio de dados (<i>Throughput</i>)	57
4.4	Avaliação do desempenho da RSSF em área aberta	58
4.5	Avaliação do tratamento dos dados monitorados através de uma plataforma IoT	59
4.6	Conclusão	64
5	Conclusões e Trabalhos Futuros	65
5.1	Trabalho Futuros	66
	Referências Bibliográficas	67

Lista de Figuras

1	Aumento significativo de focos de incêndios no estado da Califórnia entre os dias 30 e 31 de julho de 2018. Fonte: (INPE, 2018)	18
2	Série histórica do total de focos ativos detectados pelo satélite de referência, no período de 1998 até 18/07/2018. Fonte: (INPE, 2018)	21
3	Exemplo de uma rede de sensores sem fio típica. Fonte: (CARVALHO <i>et al.</i> , 2012).	24
4	Modelo de topologia em Estrela. Fonte: (ZIGBEE, 2010)	29
5	Modelo de Topologia em Árvore. Fonte: (ZIGBEE, 2010)	29
6	Modelo de Topologia em Malha. Fonte: (ZIGBEE, 2010)	30
7	Evolução da tecnologia celular. Fonte: (ALMEIDA, 2013)	31
8	Blocos básicos de construção da IoT. Fonte: (SANTOS <i>et al.</i> , 2016)	32
9	Diagrama da estrutura do projeto de redes de sensores sem fio contra incêndios. Fonte: O autor, 2018	36
10	Ilustração dos sensores MQ-2, MQ-135 e DHT11. Fonte: O autor, 2018	37
11	Ilustração de um arduino Uno R3. Fonte: (SOLARBOTICS, 2018)	38
12	Ilustração de um RTC DS3231. Fonte: (SOLARBOTICS, 2018)	39
13	Ilustração de um <i>Xbee Explorer</i> USB. Fonte: (SOLARBOTICS, 2018)	39
14	Ilustração do Módulo Xbee. Fonte: (SOLARBOTICS, 2018)	40
15	Ilustração do Módulo SIM800L para comunicação GSM/GPRS. Fonte: (SOLARBOTICS, 2018)	40
16	Diagrama composto por todos os componentes do nó sensor. Fonte: O autor, 2018	42
17	Diagrama composto por todos os componentes do coordenador. Fonte: O autor, 2018	42

18	Topologias de Redes Implantadas. Fonte: (AZEVEDO, 2006)	44
19	Modelo da árvore lógica de uma rede <i>ZigBee</i> . Fonte: (AZEVEDO, 2006) . . .	45
20	<i>Software</i> de Configuração do Rádio - XCTU. Fonte: O autor, 2018	46
21	Interface de configuração do <i>software</i> XCTU. Fonte: O autor, 2018	47
22	Ilustração da Plataforma <i>ThingSpeak</i> . Fonte: O autor, 2018	48
23	Teste de performance dos sensores. Fonte: O autor, 2018	50
24	Amostragem de verificação da presença ou ausência dos gases através da leitura do sensor MQ-2. Fonte: O autor, 2018	51
25	Amostragem de verificação da presença ou ausência de fumaça através da leitura do sensor MQ-135. Fonte: O autor, 2018	52
26	Análise dos dados através da leitura do Rx - coordenador. Fonte: O autor, 2018	53
27	Ilustração do recebimento de alertas via GSM. Fonte: O autor, 2018	53
28	Teste de envio de pacotes, para a validação do rádio. Fonte: O autor, 2018 . . .	54
29	Teste de verificação do sinal dos nós em campo fechado. Fonte: O autor, 2018 .	55
30	Teste de Envio e recebimento dos pacotes para cada nó. Fonte: O autor, 2018 .	56
31	Nível de eficiência de envio e recebimento dos pacotes para cada nó. Fonte: O autor, 2018	56
32	Taxa de transferência de dados por cada nó sensor até o coordenador pelo <i>software</i> XCTU. Fonte: O autor, 2018	57
33	Teste da Transferência de dados por cada nó sensor até o coordenador pelo <i>software</i> XCTU. Fonte: O autor, 2018	58
34	Ilustração dos pontos que marcam cada roteador utilizado para cobrir a trilha do parque do Cocó. Fonte: O autor, 2018	59
35	Teste de temperatura (grau Celsius), umidade, gás e fumaça do nó 1 em percentual. Fonte: O autor, 2018	61
36	Teste de temperatura (grau Celsius), umidade, gás e fumaça do nó 2 em percentual. Fonte: O autor, 2018	62
37	Teste de temperatura (grau Celsius), umidade, gás e fumaça do nó 3 em percentual. Fonte: O autor, 2018	63

38	Teste do alerta - SMS. Fonte: O autor, 2018	64
----	---	----

Lista de Tabelas

1	Variação da Modulação do padrão <i>ZigBee</i>	27
2	Estudo comparativo entre as tecnologias de comunicação utilizadas nos serviços das aplicações dos IoT	34
3	Informações do Módulo Arduino Uno	38
4	Estudo de custo do Coordenador	41
5	Estudo de custo dos nós sensores	41
6	Distância dos nós sensores ao coordenador	54
7	Geo-localização dos pontos que marcam cada roteador utilizado para cobrir a trilha do parque do Cocó	60

Lista de Abreviações

RSSF	<i>Redes de Sensores Sem Fio</i>
IOT	<i>Internet of Things</i>
GSM	<i>Global System Mobile</i>
PAN	<i>Personal Area Network</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronic Engineers</i>
PHY	<i>Physical</i>
MAC	<i>Medium Access Control</i>
LR-PAN	<i>Low-Rate Wireless Personal Area Networks</i>
NWK	<i>Network Layer</i>
APL	<i>Application Layer</i>
APS	<i>Application SubLayer</i>
PAN	<i>Identity Personal Area Network</i>
FFD	<i>Full Function Device</i>
RFD	<i>Reduced Function Device</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
RFID	<i>Radio-Frequency Identification</i>
NFC	<i>Near Field Communication</i>
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
FPGA	<i>Field Programmable Gate Array</i>
EF	Entidades Físicas

EV	Entidades Virtuais
PPM	Parte Por Milhão
IFCE	Instituto Federal do Ceará
RDF	<i>Resource Description Framework</i>
OWL	<i>Web Ontology Language</i>
FDMA	<i>Frequency Division Multiple Access</i>
TDMA	<i>Time Division Multiple Access</i>
CDMA	<i>Code Division Multiple Access</i>
PDC	<i>Personal Digital Cellular</i>
NTM	<i>Nordic Mobile Telecommunications</i>
HSCSD	<i>High Speed Circuit Switched Data</i>
EDGE	<i>Enhanced Data Rates for Global Evolution</i>
AMPS	<i>Advanced Mobile Phone Service</i>
TACS	<i>Total Access Communications System</i>
ETACS	<i>Extended Total Access Communications System</i>
EXI	<i>Efficient XML Interchange</i>
RTC	<i>Real Time Clock</i>
RISC	<i>Reduced Instruction Set Computer</i>
GPRS	<i>General Packet Radio Service</i>
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
API	<i>Application Programming Interface</i>
WPAN	<i>Wireless Personal Area Networks</i>
ZigBee ZC	<i>ZigBee Coordinator</i>
ZigBee ZR	<i>ZigBee Router</i>
ZigBee ZED	<i>ZigBee End Device</i>

INTRODUÇÃO

Um incêndio é uma ocorrência de fogo não controlado, e pode se tornar um fato extremamente grave, causando danos irreparáveis, tanto para os seres vivos quanto para as estruturas e materiais de uma certa comunidade. A exposição de uma população a um incêndio é gravíssima e pode levar à morte, seja por intermédio da inalação de gases ou por meio de queimaduras graves em que a população venha a ser exposta.

A propagação do fogo tende a se iniciar de formas variadas, tais como: panes na rede de eletricidade, velas de cera acesas indevidamente, pontas de cigarro atiradas aleatoriamente no meio ambiente próximo a elementos inflamáveis e ainda, fogueiras não devidamente controladas. A ocorrência dos incêndios pode ocorrer com tanta frequência que até a cozinha de nossas residências pode favorecer, quando normas de uso dos botijões de gás não são obedecidas (ABNT, 2012).

No intuito de equacionar o problema causado pelos incêndios em geral, sobretudo, dos incêndios florestais - que são, na maioria dos casos, os de maior gravidade - faz-se necessário, inicialmente, determinar quais são as suas causas. Aproximando-se dos fatores de risco e propagação de incêndios em geral e, especificamente, os florestais, tem-se que esses mesmos podem vir a acontecer em determinado local em função de fatores variados tais como os associados diretamente ao fenômeno da combustão e daqueles elementos existentes no local que influenciam indiretamente a combustão, como os materiais altamente inflamáveis que, por sua vez, atuam na intensificação e na diversificação da sua propagação. Especificamente, os fatores de propagação são: a) o material combustível, b) as condições climáticas, c) a topologia e d) a cobertura vegetal da região - caso o incêndio ocorra em área florestal (IBAMA, 2010). A análise criteriosa destes fatores de risco - fonte de ignição e condições favoráveis de propagação -, permitem aos estudiosos dessas catástrofes uma avaliação do potencial de seu risco em uma determinada região e permite também que se possa estabelecer a potencialidade de como e onde este fogo vai se propagar, e por último, de sua extinção.

Os incêndios se propagam por meio de quatro fatores específicos, são eles: primeiro lugar, *irradiação* - quando a energia ocorre em forma de radiação elas se dispersam através do ar

suportado por ondas infravermelhos e ondas eletromagnéticas; segundo lugar, *convecção* - quando a energia é transportada pela movimentação do ar aquecido pela combustão; terceiro lugar, *condução* - em que a energia é transportada através de um corpo bom condutor de calor; e finalmente, por *projeção de partículas inflamadas* - que pode ocorrer na presença de explosões e fagulhas transportadas pelo vento.

Através da análise da Figura 1, realizadas nos dias 30 e 31 de julho de 2018, do estado da Califórnia nos EUA, foram registrados ventos que chegam a velocidades de 130 km/h, aumentando a quantidade dos focos de incêndio em mais de 132% em um único dia, onde existe uma concentração maior ao sul da Califórnia. As imagens foram capturadas pelos satélites GOES 16 (azul) e o TERRA MT (laranja) (INPE, 2018).

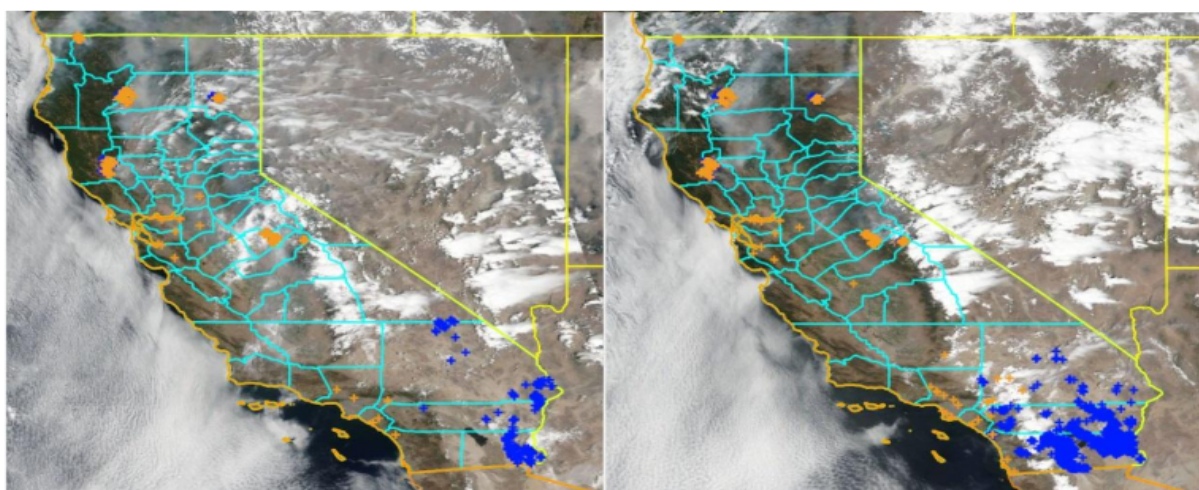


Figura 1: Aumento significativo de focos de incêndios no estado da Califórnia entre os dias 30 e 31 de julho de 2018. Fonte: (INPE, 2018)

Por outro lado, o incêndio pode se arrefecer por limitação do calor, pelo seu abafamento e pela eliminação ou mitigação do combustível. Essas são as normas convencionais de proteção contra os mesmos.

Seria dispensável ressaltar a importância do combate ao incêndio por qualquer processo que se queira utilizar, entretanto, a forma realmente eficaz é a sua prevenção, sobretudo, por aqueles processos em que se recorre às técnicas e tecnologias avançadas de sensoriamento juntamente com o conceito IoT - aplicativos, programas ligados à (*Internet of Things*). Este termo torna-se um diferencial primordial, por ser capaz de moldar o sistema de modo a alertar imediatamente a população local para evacuação do ambiente e entorno do sinistro e também, principalmente, por informar aqueles que têm a função de prevenção e combate ao fogo, logo nos seus momentos iniciais quando o fogo poderá ser facilmente controlado.

Com o intuito de prevenir os incêndios - que é o que é mais correto que se tem a fazer e não,

o combate, como se poderia pensar - foi que essa pesquisa foi elaborada e desenvolvida: uma rede de sensores em sintonia com uma rede móvel cuja a função seria de coletar e monitorar periodicamente os dados de uma região geográfica, como por exemplo, temperatura, fumaça e umidade, além de data e hora com o fim de perceber, imediatamente, sinais de incêndio para que se possa evitá-lo.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolver um sistema wireless para monitorar imediatamente focos de incêndios. Pretende-se que esse sistema monitore remotamente e analise, em tempo real, um conjunto de dados ambientais de uma região geográfica, pontes e viadutos, com o intuito de alertar líderes e responsáveis para que possam tomar atitudes preventivas.

1.1.2 Objetivos Específicos

Projetar, desenvolver, testar e aplicar uma Rede de Sensores Sem Fio (RSSF) para obter dados de gás, fumaça, umidade, temperatura, em tempo real e transmiti-lo através da rede móvel para análise e possível alerta.

1.2 Motivação

De acordo com o INPE, no Ceará foram registrados 34.701 focos de incêndio em um ano. No ano passado, só no mês de agosto foram 441 focos de incêndio. O número é maior que o registrado em todo primeiro semestre de 2018. Em setembro, foi o dobro de casos, 882. Devido ao clima seco e como ventos mais fortes a probabilidade de queimadas cresce.

Em 2017, ocorreram 2 grandes incêndios, em Portugal, no qual 64 vítimas morreram e muitas ficaram feridas. Na Califórnia, o número de mortos causados por um incêndio de grande porte chegou a 40. Ainda na Califórnia, segundo um jornal local, estima-se que 100 mil pessoas foram forçadas a abandonar suas casas, cerca de 865 quilômetros quadrados de áreas residenciais, florestas e outras propriedades foram arrasados pelo fogo na chamada região do vinho. Conforme demonstrado na Figura 2, um levantamento realizado pelo INPE mostra a quantidade de focos de incêndios detectados no mundo inteiro de 1998 até 18/07/2018.

Por meio de um estudo prévio realizado na internet sobre os principais sistemas de monitoramento de incêndios florestais, foram apontados dois sistemas. O primeiro faz uso intenso de recursos de vídeo, transmissão de imagens e dados de alta tecnologia. O comportamento deste sistema se baseia em detecção da fumaça, ou seja, uma vez que seja confirmado o caso de incêndio, prontamente são tomadas as devidas medidas para o seu combate. O segundo sistema está embasado em dados fornecidos pelo INPE através do monitoramento por satélite. O INPE possui acesso a diversos satélites de monitoramento e um banco de dados riquíssimo com dados armazenados de julho de 1998 até hoje.

Porém cada sistema possui suas falhas e estas podem ser cruciais para a propagação do incêndio, caso este não seja sanado a tempo. A partir do estudo comparativo, pode-se inferir que nenhum dos sistemas faz o reconhecimento através de sensores de baixo custo, muito menos é capaz de alertar a população sobre os incêndios. O primeiro sistema não é capaz de reconhecer o incêndio antes da ocorrência, assim como também não consegue alertar a população que resida próximo ao local, somente informa à empresa responsável a ocorrência. Já o sistema do INPE não consegue identificar pequenos focos de incêndio, e inicia o monitoramento somente quando o fogo atinge proporções suficientes de serem captadas pelos satélites, assim como também não alerta a população. O sistema do INPE é praticamente desconhecido pela população, acredita-se que cerca de 1% da população possui conhecimento da existência desse monitoramento, o que torna-se um fator muito preocupante.

Em razão disso, há outras soluções possíveis que, muitas vezes, podem estar na palma da nossa mão, um exemplo disso é o celular. O uso correto da tecnologia torna-se a solução mais eficaz no combate aos incêndios. O sistema de monitoramento utilizado pelo INPE poderia ser incorporado a um aplicativo de navegação pelo celular, conhecido e utilizado no mundo inteiro, no qual podemos citar como exemplo *Waze*.

1.3 Organização da Dissertação

O presente estudo está estruturado em cinco capítulos. O primeiro capítulo corresponde à introdução, contemplando a contextualização do estudo, os objetivos propostos, a motivação da temática escolhida com a pesquisa e a apresentação da sua estrutura. O segundo capítulo refere-se aos aspectos das Redes de Sensores sem Fio, principalmente de redes móveis e *IoT* (*Internet of Things*) e suas características: transceptores, o padrão *ZigBee*, topologias, redes GSM (*Global System Mobile*) e plataformas voltados como, por exemplo, o *ThingSpeak*. O terceiro capítulo foi dedicado à metodologia do trabalho, à configuração da rede utilizada,

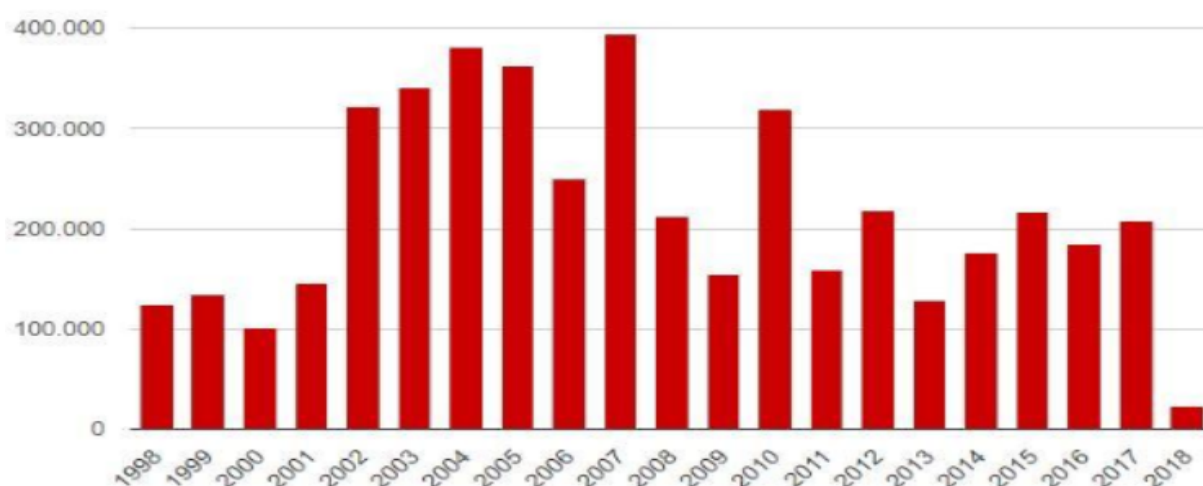


Figura 2: Série histórica do total de focos ativos detectados pelo satélite de referência, no período de 1998 até 18/07/2018. Fonte: (INPE, 2018)

à modelagem dos circuitos sensores, das redes sem fio, baseadas no protocolo *ZigBee* e ao monitoramento através do aplicativo implementado. No quarto capítulo foram realizados experimentos em laboratório e em campo e os resultados obtidos através da plataforma de monitoramento. E, por último, o quinto capítulo, que trata das conclusões do presente estudo, em que é feita uma avaliação global dos resultados coletados de todo o estudo realizado a partir dos testes realizados em laboratório e em campo e as sugestões de trabalhos futuros.

CONCEITOS DAS TECNOLOGIAS DO PROJETO DE SENSORIAMENTO

A rede de sensores é caracterizada sem fio por utilizar dispositivos de rede de baixo consumo de energia. Assim, esses dispositivos de rede transmitem os dados coletados por meio dos sensores, permitindo monitorar tanto o estado de utilização de um equipamento eletrônico quanto o ambiente em que esse equipamento está inserido, com pouco ou nenhum impacto físico nesse ambiente. Os dispositivos de rede de uma RSSF, também chamados de módulos sensores, são compostos por um rádio de comunicação, uma unidade de processamento, por sensores e por baterias. Uma vez que os módulos sensores são alimentados por baterias, o tempo de monitoramento de um equipamento eletrônico é limitado pela capacidade de carga das mesmas.

De acordo com as características do ambiente, por onde o projeto proposto foi implantado, o sistema é alimentado por uma célula fotovoltaica com bateria de *íon-lítion*, com capacidade de duração de até 48 horas ininterruptas, mesmo nos dias de pouca luminosidade, no qual há, nesse caso, a ampliação da vida útil da bateria.

A topologia proposta entre os nós é ponto-a-ponto (*peer-to-peer*), composta também de um coordenador PAN (*Personal Area Network*) para gerenciamento e direcionamento das informações para o aplicativo de celular, bem como para as autoridades. Esta topologia permite a implementação de redes mais complexas, tais como formação em redes de malha ou em árvore (*Cluster-tree*). Uma das vantagens desse aplicativo, especificamente, é o de suportar intempéries do ambiente sem afetar os dados transmitidos, além da rede ponto a ponto poder, também, permitir múltiplos saltos para rotear mensagens de qualquer dispositivo para algum outro da rede. Tais funções são executadas pela camada de rede. O objetivo deste trabalho, portanto, foi o de desenvolver um sistema de monitoramento eletrônico e de alerta de risco de incêndio florestais, através de uma rede de sensores sem fio em torno das rodovias e um aplicativo mobile através do qual se possa informar onde se encontram as queimadas e o nível de risco deste evento para as florestas, para a vida dos animais e seres humanos.

No decorrer desse capítulo foram analisadas cada parte que irá compor o projeto, iniciando pelas RSSF, em seguida, o padrão *ZigBee*, o sistema de comunicação móvel e, por fim, os atuais conceitos do IoT (*Internet of Things*).

2.1 Redes de Sensores Sem Fio

Uma rede de sensores se caracteriza por sua capacidade de monitorar uma ou mais variáveis de interesse em um determinado evento. Algumas das variáveis rotineiramente monitoradas por RSSF atuais são: distância, direção, velocidade, umidade, velocidade do vento, temperatura, movimento, vibração, intensidade luminosa, atividade sísmica, som, peso, pressão, dentre outras (CARVALHO *et al.*, 2012).

Os nós individualmente possuem pouca capacidade computacional e de energia, mas um esforço colaborativo entre os mesmos permite a realização de uma grande tarefa (RUIZ *et al.*, 2004). Os nós podem ser lançados sobre áreas remotas (reservas ambientais, oceanos, vulcões, rios, florestas, entre outras) e, sem intervenção de técnicos ou operadores, forma uma rede *ad hoc* sem fio que coleta dados sobre os fenômenos de interesse, realiza processamento local, e dissemina as informações para um ponto de acesso em um esquema de comunicação multi-saltos (*multi-hop*). O ponto de acesso é o elemento através do qual a rede comunica-se com outras redes ou com um ou mais observadores (RUIZ, 2003). O ponto de acesso pode ser implementado em um nó sensor que será chamado de nó sorvedouro (*sink node*) ou em uma estação base (BS - *Base Station*).

Sabe-se também que os nós sensores, em virtude dos recentes avanços em comunicações sem fio e em microeletrônica, são relativamente baratos, pequenos, consomem pouca energia, apresentam capacidade de processamento das informações e de comunicação em curtas distâncias, e que um nó sensor possui cinco componentes básicos (CARVALHO, 2012): microcontrolador, memória, sensores e atuadores, protocolos de comunicação e fonte de energia.

A Figura 3 apresenta um exemplo de uma RSSF típica, em que os nós sensores transmitem as informações coletadas diretamente para o nó sorvedouro; este, por sua vez, envia os dados à estação central. Esta rede é denominada de salto único (*Single Hop*), corresponde à maioria das RSSF em uso atualmente (CARVALHO *et al.*, 2012).

Contudo, em redes com um número elevado de nós sensores, pode-se dispor de uma configuração em que os nós mais distantes encaminhem seus dados para outros nós mais próximos ao sorvedouro ou à estação central (estes nós, são chamados de coordenadores),

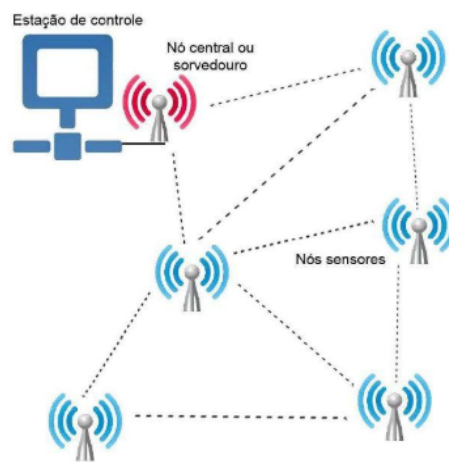


Figura 3: Exemplo de uma rede de sensores sem fio típica. Fonte: (CARVALHO *et al.*, 2012).

que, por fim, encaminhem as informações até o nó sorvedouro; tais redes são denominadas de múltiplos saltos (*Multi Hop*) (CARVALHO *et al.*, 2012).

2.2 Projeto de uma RSSF

O projeto de uma RSSF é influenciado por muitos fatores que incluem tolerância a falhas, escalabilidade, custo de produção, ambiente operacional, topologia da rede, restrições de *hardware*, meio de transmissão e consumo de energia. Cada um destes fatores exige requisitos específicos na concepção e projeto dos nós, assim como em todas as camadas da pilha de protocolos. Esquemas de modulação, estratégias para superar os efeitos da propagação de sinal e projeto de hardware de baixo consumo são requisitos do projeto da camada física. Determinação do limite inferior de energia requerida para auto-organização da rede, esquemas de controle de erro, modos de operação para economizar energia e cuidados com a mobilidade são os desafios da camada de enlace de protocolos de controle de acesso ao meio. Tratar das mudanças de topologia, endereçamento, escalabilidade e interface com outras redes são requisitos esperados para a camada de rede. Já os protocolos da camada de transporte devem permitir à diversidade de comunicação fim-a-fim para calcular variações nas características do canal de comunicação (NATIONAL SCIENCE FOUNDATION, 2004). O processamento local dos dados através de correlação (fusão, contagem, agregação, compressão, entre outras) também são requisitos a serem considerados no projeto dos protocolos para disseminação e consulta aos nós sensores, assim como os requisitos de segurança em cada uma das camadas da pilha de protocolos.

Todos os fatores citados acima são influenciados pelos requisitos da aplicação, isto porque, uma RSSF é um tipo de sistema dependente da aplicação. Os parâmetros de configuração,

operação e manutenção variam com os objetivos da aplicação. No projeto desses protocolos, alguns dos fatores citados são considerados, assim como a dependência da aplicação (CULLER; HILL; HORTON, 2002).

Nas próximas subseções deste capítulo descreveremos de forma sucinta as principais áreas de aplicação, afim de elencar com o projeto proposto neste trabalho.

2.2.1 Endereçamento dos sensores ou nós

Dependendo da aplicação, cada sensor pode ser endereçado unicamente ou não. Por exemplo, sensores embutidos em peças numa linha de montagem ou colocados no corpo humano devem ser endereçados unicamente se deseja saber exatamente o local de onde o dado está sendo coletado. Por outro lado, sensores monitorando o ambiente numa dada região externa possivelmente não precisam ser identificados individualmente já que o ponto importante é saber o valor de uma determinada variável nessa região (GARCIA, 2014).

2.2.2 Agregação dos dados

Indica a capacidade de uma RSSF de agregar ou sumarizar dados coletados pelos sensores. Caso a rede tenha essa funcionalidade, é possível reduzir o número de mensagens que precisam ser transmitidas por ela. Os dados coletados são combinados e sumarizados ainda na rede, antes de serem enviados a estação base (GARCIA, 2014).

2.2.3 Mobilidade dos sensores

Indica se os sensores podem se mover ou não em relação ao sistema em que estão coletando dados. Por exemplo, sensores colocados numa floresta para coletar dados de umidade e temperatura são tipicamente estáticos, enquanto sensores colocados na superfície de um oceano para medir o nível de poluição da água são móveis. Sensores colocados no corpo de uma pessoa para monitorar o batimento cardíaco durante o seu dia de trabalho são considerados estáticos (GARCIA, 2014).

2.2.4 Restrições dos dados coletados

Indica se os dados coletados pelos sensores têm algum tipo de restrição como um intervalo de tempo máximo para disseminação de seus valores para uma dada entidade de supervisão (GARCIA, 2014).

2.2.5 Quantidade de sensores

Redes contendo de 10 a 100 mil sensores são previstas para aplicações ambientais como monitoramento em oceanos e florestas. Logo, escalabilidade é uma questão importante. Possivelmente, para a maior parte das aplicações discutidas anteriormente, os sensores serão estáticos em relação ao sistema de sensoriamento (GARCIA, 2014).

2.2.6 Limitação da energia disponível

Em muitas aplicações, os sensores serão colocados em áreas remotas, o que não permitirá facilmente o acesso a esses elementos para manutenção. Neste cenário, o tempo de vida de um sensor depende da quantidade de energia disponível. Aplicações, protocolos, e algoritmos para RSSF's não podem ser escolhidos considerando apenas sua elegância e capacidade, mas definitivamente a quantidade de energia consumida. Assim, o projeto de qualquer solução para esse tipo de rede deve levar em consideração o consumo, o modelo de energia e o mapa de energia da rede (GARCIA, 2014).

2.2.7 Auto-organização da rede

Sensores numa RSSF podem ser perdidos por causa de sua destruição física ou falta de energia. Sensores também podem ficar incomunicáveis devido a problemas no canal de comunicação sem fio ou por decisão de um algoritmo de gerenciamento da rede. Neste caso, isso pode acontecer por diversas razões como, por exemplo, para economizar energia ou por causa da presença de outro sensor na mesma região que já coleta o dado desejado (GARCIA, 2014).

A situação contrária também pode acontecer: sensores inativos se tornarem ativos ou novos sensores passarem a fazer parte da rede. Em qualquer um dos casos, de sensores ficarem inoperantes ou passarem a participar de sua estrutura, é necessário haver mecanismos de auto-organização para que a rede continue a executar a sua função. Essa configuração deve ser automática e periódica já que a configuração manual não é viável devido a problemas de escalabilidade (GARCIA, 2014).

2.2.8 Tarefas colaborativas

O objetivo principal de uma RSSF é executar alguma tarefa colaborativa, no qual é importante detectar e estimar eventos de interesse e não apenas prover mecanismos de

comunicação. Devido às restrições das RSSF's, normalmente os dados são “fundidos” ou sumarizados para melhorar o desempenho no processo de detecção de eventos. O processo de sumarização é dependente da aplicação que está sendo executada (GARCIA, 2014).

2.2.9 Capacidade de responder a consultas

Uma consulta sobre uma informação coletada numa dada região pode ser colocada para um nó individual ou um grupo de nós. Dependendo do grau de sumarização executado, pode não ser viável transmitir os dados através da rede até o nó coordenador. Assim, pode ser necessário definir vários nós coordenadores que irão coletar os dados de uma dada área e responderão consultas referentes aos nós sob sua “jurisdição” (GARCIA, 2014).

2.3 O Padrão ZigBee

O padrão IEEE 802.15.4 foi homologado com o nome de *ZigBee* por um acordo de empresas de diferentes segmentos denominada *ZigBee Alliance*. Trata-se de uma tecnologia de transmissão e recepção de dados utilizando baixa taxa de dados, baixa potência, baixa complexidade e transmissões de rádio frequência de pequeno alcance permitindo grande escalabilidade e expansão, tornando esta tecnologia a ideal para sensores, controladores, monitorização remota e dispositivos eletrônicos portáteis, permitindo que sejam implementadas soluções de baixo custo e de alta eficiência em energia. Essa tecnologia oferece diferentes faixas de frequência, que são aplicadas de acordo com a região. Nos Estados Unidos, a frequência utilizada é de 902-928 MHz, possibilitando uma taxa de 40 Kbps. Na Europa, usa-se a frequência 868-868.6 MHz, que atinge uma taxa de 20 Kbps. Já a frequência 2400-2483.5 MHz é usada em todo o mundo, a taxa nesse caso é de 250 Kbps (ESCHNER, 2011), conforme demonstrado na Tabela 1.

Tabela 1: Variação da Modulação do padrão *ZigBee*

Camada Física	Frequência	Canais	Taxa de bit (Kbit/s)	Modulação
868/915 MHz	868-870 MHz	0	20	BPSKM
868/915 MHz	902-928 MHz	1-10	40	BPSK
2.4 GHz	2.4-2.4835 GHz	11-26	250	O-QPSK

É importante ressaltar a diferença entre os padrões IEEE 802.15.4 e *ZigBee*. O padrão IEEE 802.15.4 define as duas camadas de mais baixo nível: a camada física PHY (*Physical*) e de controle de acesso ao meio MAC (*Medium Access Control*) para redes sem fio caracterizadas

por possuírem custo e taxa de transmissão reduzidos LR-PAN (*Low-Rate Wireless Personal Area Networks*). Já o padrão *ZigBee*, define as cinco camadas de mais alto nível: a camada de rede NWK (*Network Layer*) e a camada de aplicação APL (*Application Layer*), que por sua vez engloba as camadas de Quadros da Aplicação (*Application Framework*), de objetos de dispositivos *ZigBee* (ZDO, *ZigBee Device Objects*) e a subcamada de suporte a aplicação APS (*Application SubLayer*) (BARONTI *et al.*, 2007).

No protocolo *ZigBee* são definidos três tipos de dispositivos: o coordenador, roteador e dispositivos finais. O coordenador é o responsável pelo estabelecimento da rede *ZigBee* e pela interligação entre redes, tornando obrigatória a sua presença. O coordenador constrói um canal de operação e um número lógico para formar a rede. Após selecionado o endereço de rede PAN ID (*Identity Personal Area Network*) o coordenador permitirá a comunicação entre os dispositivos finais e roteadores. O roteador, por sua vez, armazena informações dos nós da rede e com elas determina as melhores rotas para os pacotes de dados. Os dispositivos finais sempre devem estar vinculados a um roteador ou ao coordenador, não possuem a capacidade de se comunicarem diretamente com outros dispositivos finais (CRUZ, 2013). De acordo com as especificações do *ZigBee*, dependendo da aplicação, três topologias de rede diferentes (estrela, árvore e malha) podem ser implementadas.

2.3.1 Estrela

Na configuração estrela, Figura 4, um dispositivo atua como o coordenador da *Personal Area Network* (PAN), o qual se encarrega de toda a comunicação em um dado canal de rádio. O coordenador da PAN deve ser capaz de se comunicar com qualquer outro dispositivo na rede. Essa funcionalidade é existente em um dispositivo de funções completas FFD (*Full Function Device*) e é implementada usando uma pilha de *software* de aproximadamente 30 Kbytes. Um coordenador de PAN deve estar no modo de recepção quando ele não estiver transmitindo. Esta unidade provavelmente irá consumir muita potência para permitir operação com bateria, e provavelmente deverá ter uma fonte principal de alimentação. Um dispositivo de funções reduzidas RFD (*Reduced Function Device*) pode ser implementado utilizando um microcontrolador de baixo custo e pequena quantidade de memória. O RFD pode apenas se comunicar com um FFD. Ele deverá receber ou transmitir por um curto período de tempo para se tornar adequado para operação com bateria (MONSIGNORE, 2007).

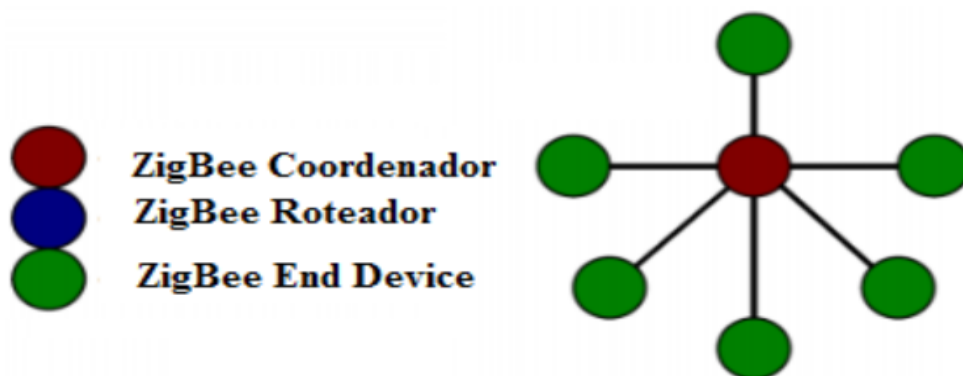


Figura 4: Modelo de topologia em Estrela. Fonte: (ZIGBEE, 2010)

2.3.2 Árvore

A topologia árvore, Figura 5, é formada apenas modificando a topologia estrela. Um ou mais dos RFD's conectados ao coordenador da PAN é substituído por um FFD, e destes FFD's, mais RFD's ou FFD's podem ser conectados. Uma vantagem desta topologia é que ela pode ser usada para aumentar a cobertura geográfica da rede (MONSIGNORE, 2007).

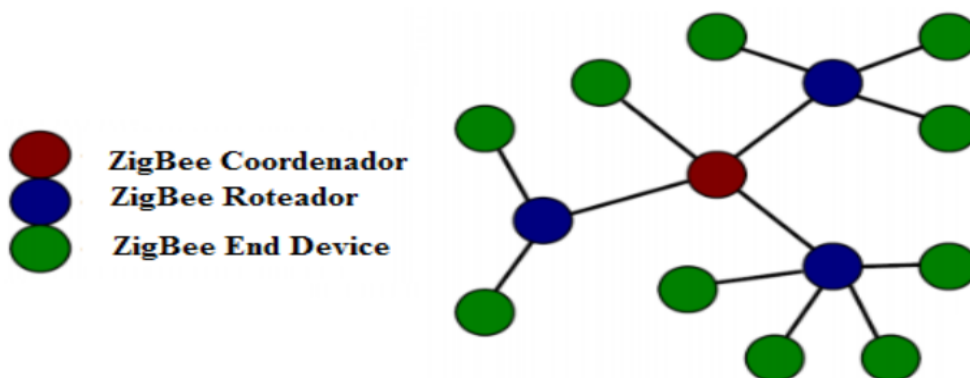


Figura 5: Modelo de Topologia em Árvore. Fonte: (ZIGBEE, 2010)

2.3.3 Malha

A terceira topologia suportada pelo *ZigBee* é a malha, Figura 6. Nessa configuração existe muita conectividade de uma das FFD's, que está atuando como o coordenador da PAN, com todas as outras FFD's participantes da rede. As RFD's também podem participar da rede, mas estarão conectadas apenas ao seu FFD pai, e não participam no roteamento. A principal vantagem da topologia malha é a confiança e o rendimento da rede provido através do amplo número de caminhos (MONSIGNORE, 2007).

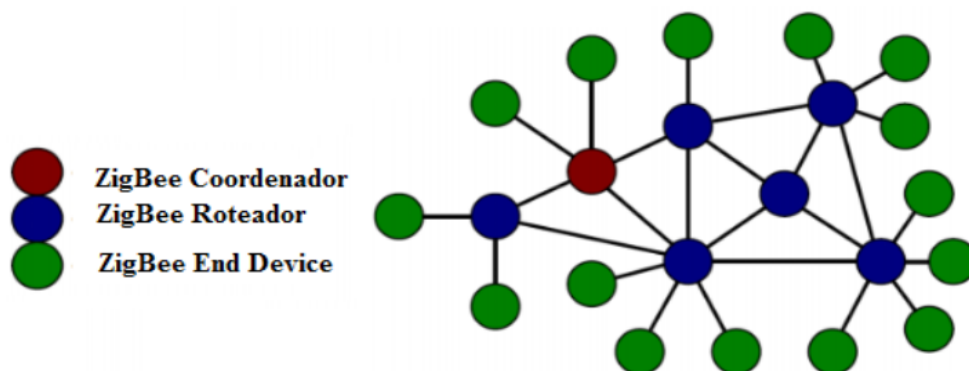


Figura 6: Modelo de Topologia em Malha. Fonte: (ZIGBEE, 2010)

2.4 Rede Móvel

Primeira Geração - Segundo Al-Shahrani e Al-Olyani (2009) com a invenção dos microprocessadores e a concepção da comunicação celular nas décadas de 70 e 80, a primeira geração das comunicações móveis nascia. Estes sistemas eram essencialmente analógicos e utilizavam o *Frequency Division Multiple Access* (FDMA) para se comunicar e foi projetado para trafegar somente voz. Os primeiros sistemas desenvolvidos foram o *Nordic Mobile Telecommunications* (NMT), *Advanced Mobile Phone Service* (AMPS), *Total Access Communications System* (TACS), *Extended Total Access Communications System* (ETACS), C450 e o Radicom 2000.

Segunda Geração - Devido a necessidade de padronização para o sistema celular Europeu e a crescente demanda pelo serviço móvel, foi necessário dar início ao desenvolvimento de sistemas digitais. Os sistemas de 2ª geração começaram a ser efetivamente utilizados no início de 1990 e foi impulsionado pelo avanço da tecnologia dos circuitos integrados que permitiram a efetiva utilização da transmissão digital.

Estes sistemas, além de possibilitar uma maior capacidade, ofereciam as seguintes vantagens sobre os analógicos:

- Técnicas de codificação digital de voz mais poderosas
- Maior eficiência espectral
- Melhor qualidade nas ligações
- Tráfego de dados na rede
- Criptografia da informação transmitida

Como resultados deste esforço surgiram os sistemas conhecidos como GSM, CT-2 e DECT na Europa, o *Time Division Multiple Access* (TDMA, também conhecido como IS-54 e IS-136), o *Code Division Multiple Access* (CDMA IS-95) nos EUA e o *Personal Digital Cellular* (PDC) no Japão (ALMEIDA, 2013).

Geração 2.5 - A principal característica destes sistemas foi a possibilidade de solucionar os problemas de capacidade enfrentados pelos sistemas anteriores. Várias tecnologias foram desenvolvidas para este fim como o *High Speed Circuit Switched Data* (HSCSD), *Enhanced Data Rates for Global Evolution* (EDGE) e o *General Purpose Radio Services* (GPRS).

Segundo Al-Shahrani e Al-Olyani (2009) o GPRS permite taxa de dados de 115 Kbps e a utilização de códigos para correção de erros. Esta tecnologia é baseada na comutação por pacotes, o que torna o uso eficiente da largura de banda disponível com taxas de bits variável. É apropriado para serviços que utilizam transmissão por rajadas, devido a sua capacidade de alocar dinamicamente os recursos.

Na Figura 7 pode-se observar o gráfico da evolução da tecnologia celular. Não será mencionado a tecnologia 3G, pois foge do escopo do projeto.

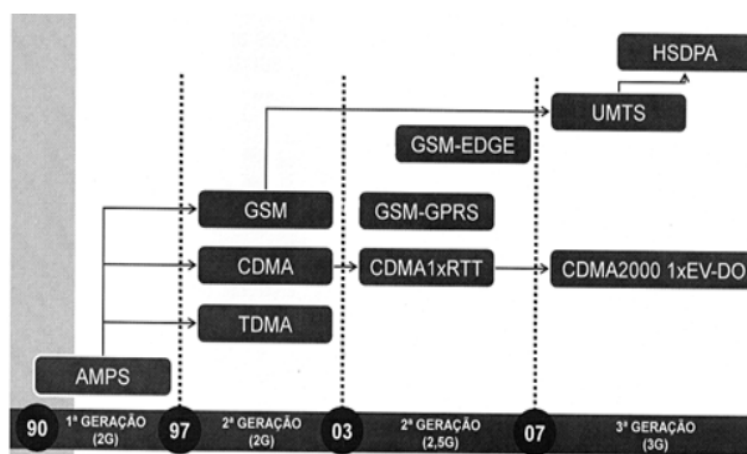


Figura 7: Evolução da tecnologia celular. Fonte: (ALMEIDA, 2013)

2.5 Internet of Things (IoT)

A Internet das Coisas, do inglês *Internet of Things* (IoT), emergiu dos avanços de várias áreas como sistemas embarcados, microeletrônica, comunicação e sensoriamento. De fato, a IoT tem recebido bastante atenção tanto da academia quanto da indústria, devido ao seu potencial de uso nas mais diversas áreas das atividades humanas (SANTOS *et al.*, 2016).

A Internet das Coisas, em poucas palavras, nada mais é que uma extensão da internet

atual, que proporciona aos objetos do dia-a-dia (quaisquer que sejam), mas com capacidade computacional e de comunicação, de-se conectarem à internet. A conexão com a rede mundial de computadores viabiliza, primeiro, controlar remotamente os objetos e, segundo, permitir que os próprios objetos sejam acessados como provedores de serviços. Estas novas habilidades, dos objetos comuns, geram um grande número de oportunidades tanto no âmbito acadêmico quanto no industrial (SANTOS *et al.*, 2016).

Ao conectar objetos com diferentes recursos a uma rede, potencializa-se o surgimento de novas aplicações. Neste sentido, conectar esses objetos à internet significa criar a Internet das Coisas. Na IoT, os objetos podem prover comunicação entre usuários, dispositivos. Com isso emerge uma nova gama de aplicações, tais como coleta de dados de pacientes e monitoramento de idosos, sensoriamento de ambientes de difícil acesso e inóspitos, entre outras.

A IoT pode ser vista como a combinação de diversas tecnologias, as quais são complementares no sentido de viabilizar a integração dos objetos no ambiente físico ao mundo virtual. A Figura 8 apresenta os blocos básicos de construção da IoT sendo eles: identificação, sensores, comunicação, computação, semântica e serviços.



Figura 8: Blocos básicos de construção da IoT. Fonte: (SANTOS *et al.*, 2016)

2.5.1 Identificação

É um dos blocos mais importantes, visto que é primordial identificar os objetos unicamente para conectá-los à Internet. Tecnologias como RFID (*Radio-Frequency Identification*), NFC (*Near Field Communication*) e endereçamento IP (*Internet Protocol*) podem ser empregados para identificar os objetos (SANTOS *et al.*, 2016).

2.5.2 Sensores/Atuadores

Sensores coletam informações sobre o contexto onde os objetos se encontram e, em seguida, armazenam/encaminham esses dados para *data warehouse*, *clouds* ou centros de armazenamento. Atuadores podem manipular o ambiente ou reagir de acordo com os dados lidos (SANTOS *et al.*, 2016).

2.5.3 Comunicação

Diz respeito às diversas técnicas usadas para conectar objetos inteligentes. Também desempenha papel importante no consumo de energia dos objetos sendo, portanto, um fator crítico. Algumas das tecnologias usadas são *Wi-Fi*, *Bluetooth*, IEEE 802.15.4 e RFID (SANTOS *et al.*, 2016).

2.5.4 Computação

Inclui a unidade de processamento como, por exemplo, microcontroladores, processadores e FPGA's (*Field Programmable Gate Array*), responsáveis por executar algoritmos locais nos objetos inteligentes (SANTOS *et al.*, 2016).

2.5.5 Serviços

A IoT pode prover diversas classes de serviços, dentre elas, destacam-se os Serviços de Identificação, responsáveis por mapear Entidades Físicas (EF) de interesse do usuário em Entidades Virtuais (EV) como, por exemplo, a temperatura de um local físico em seu valor, coordenadas geográficas do sensor e instante da coleta; Serviços de Agregação de Dados que coletam e sumarizam dados homogêneos/heterogêneos obtidos dos objetos inteligentes; Serviços de Colaboração e Inteligência que agem sobre os serviços de agregação de dados para tomar decisões e reagir de modo adequado a um determinado cenário; e Serviços de Ubiquidade que visam prover serviços de colaboração e inteligência em qualquer momento e qualquer lugar em que eles sejam necessários (SANTOS *et al.*, 2016).

2.5.6 Semântica

Refere-se à habilidade de extração de conhecimento dos objetos na IoT. Trata da descoberta de conhecimento e uso eficiente dos recursos existentes na IoT, a partir dos dados existentes,

com o objetivo de prover determinado serviço. Para tanto, podem ser usadas diversas técnicas como *Resource Description Framework* (RDF), *Web Ontology Language* (OWL) e *Efficient XML Interchange* (EXI) (SANTOS *et al.*, 2016).

A Tabela 2 resume as tecnologias de comunicação utilizadas nos serviços das aplicações dos IoT. As principais características de cada uma são elencadas, o que permite compará-las. Em particular, destaca-se a grande variedade de possibilidades para conectar dispositivos. Portanto, é preciso ponderar acerca das características das tecnologias e finalidade do dispositivo para escolher a melhor forma de conectá-lo.

Tabela 2: Estudo comparativo entre as tecnologias de comunicação utilizadas nos serviços das aplicações dos IoT

Protocolo	Alcance	Frequência	Taxa	IPv6	Topologia
<i>Ethernet</i>	100/2000 m	N/A	10 Gbps	Sim	Variada
<i>Wi-Fi</i>	50 m	2.4/5 GHz	1300 Mbps	Sim	Estrela
<i>BLE</i>	80 m	2.4 GHz	1 Mbps	Sim	Estrela/malha
<i>ZigBee</i>	100 m	915 MHz/2.4 GHz	250 Kbps	Sim	Estrela/malha
<i>3G/4G</i>	35/200 km	1900/2100/2500 MHz	1/10 Mbps	Sim	Estrela
<i>SigFox</i>	10/50 km	868/902 MHz	10/1000 bps	-	-
<i>LoRaWAN</i>	2/5 km	Sub-GHz	0.3-50 Kbps	Sim	Estrela

2.6 Conclusão

As aplicações em geral possuem um papel de extrema importância nas RSSF. As aplicações são citadas apenas para ser possível uma análise comparativa entre diversos nós existentes, uma vez que, no presente trabalho, estudaremos nós que foram utilizados para prever incêndios e alertar as autoridades e a população.

O capítulo seguinte tratará pormenorizadamente dos aspectos tecnológicos e científicos sobre a solução aqui proposta para que se possa minorar e até mesmo evitar o surgimento de grandes queimadas.

SISTEMA PROPOSTO

O uso de redes de sensores para monitoramento ambiental tem sido recomendado por muitos autores tal como (PENGEL *et al.*, 2013). Através desses estudos, esses estudiosos têm apresentado pesquisas e soluções de utilização no cotidiano das cidades, não só no caso dos incêndios, mas também, por exemplo, no caso do controle de vazão de rios, no monitoramento de tráfego de veículos, na emissão de gases poluentes e até mesmo no monitoramento da qualidade de água. Uma vez que as informações dessa natureza são de suma importância para a tomada de decisão das ações a serem executadas pelos líderes de uma comunidade, pode-se afirmar que essas mesmas situações críticas podem ser monitoradas respondidas por meio de um sistema de sensores.

3.1 Estrutura do Projeto

Inicialmente o sistema coleta dados do meio ambiente através de sensores devidamente calibrados e testados em laboratório. Os sensores de temperatura, umidade, fumaça e um relógio de tempo real - *Real Time CLock* (RTC) ficam encarregados de obter os dados. Em seguida, fazendo uso de um micro controlador encaminham os dados para o transmissor.

O transmissor, que pode ser um *end device* ou um roteador, faz parte de uma topologia que varia entre malha ou árvore, dependendo do tamanho da rede e da forma como será distribuída. Esses dados são enviados de toda a rede e chegam até um coordenador, responsável por processar esses dados e realizar uma análise para avaliar se os dados são considerados sinistros ou não.

Após uma criteriosa análise os dados são enviados através da rede móvel até às operadoras de comunicação celular, que encaminham os dados para os aplicativos devidamente reconhecidos como IoT, para que dessa forma gere alertas.

Na Figura 9 - Diagrama da estrutura do projeto ilustra de forma sintetizada todo o processo mencionado, porém a rede pode usar também *Wi-Fi*, ou o *host* via rede IP.



Figura 9: Diagrama da estrutura do projeto de redes de sensores sem fio contra incêndios. Fonte: O autor, 2018

Em seguida serão vistos detalhadamente cada parte do projeto e, assim, serão analisados os resultados obtidos.

3.2 Hardware

Como a rede de sensores sem fio (RSSF) depende diretamente da aplicação, foram escolhidos os sensores de gás e fumaça MQ-2 e MQ-135 *Module*, o sensor DHT11 *Humidity & Temperature* em conjunto com a placa Arduino Uno, uma bateria de 2800 mAh, uma placa de alimentação fotovoltaica, um relógio de tempo real (RTC), um *Xbee Shield* e um módulo *ZigBee*.

3.2.1 Sensores

As queimadas que acompanham o desmatamento determinam as quantidades de gases emitidas não somente da parte da biomassa que queima, mas também da parte que não queima. Quando há uma queimada, além da liberação de gás carbônico (CO_2), são liberados também gases-traço como metano (CH_4), monóxido de carbono (CO) e nitroso de oxigênio (N_2O). Partindo desse princípio, foram escolhidos os sensores MQ-2 para detecção pré-incêndio, o MQ-135 pós-incêndio e o DHT11 para temperatura e umidade, Figura 10.

O sensor semicondutor de gás MQ-2 é, basicamente, construído por um material capaz de mudar suas propriedades elétricas na presença de um determinado componente químico, em sua forma gasosa. Especificamente, no caso dos sensores de dióxido de estanho, a característica explorada é a resistência ou impedância, as quais se alteram de forma proporcional à presença e à concentração do gás a ser medido (LICZNERSKI, 2004).

O sensor é dividido em duas partes. A primeira é o próprio elemento sensor, depositado em um substrato isolante e em terminais de ouro interdigitados. A outra parte é o aquecedor, que proporciona o aquecimento do elemento sensor até seu ponto de operação. Os sensores são

caracterizados, de acordo com suas respostas elétricas em DC, AC, em diferentes concentrações do gás, e em diferentes valores de temperatura do aquecedor (GASPARETTI, 2004).

A detecção dos gases pelos sensores se dá através do efeito sobre a condutividade apresentada num óxido metálico presente no sensor, o dióxido de estanho (SnO_2) que, sob condições normais, absorve oxigênio na superfície cristalina através da indução térmica promovida pela corrente elétrica resultando, dessa forma, na geração de cargas positivas.

O sensor de gás MQ-2 detecta a emissão de gases que formam o gás liquefeito de petróleo (GLP) como o propano (C_3H_8), butano (C_4H_{10}), além do metano (CH_4), etanol (C_2H_6O), hidrogênio (H_2), ou seja, gases inflamáveis e combustíveis, e ainda o monóxido de carbono (CO) e fumaça. O sensor MQ-135 detecta a emissão dos gases amônia (NH_3), benzeno (C_6H_6), dióxido de carbono (CO_2) e óxido nitroso (N_2O).

O sensor DHT11 possui a capacidade de analisar a temperatura e a umidade com uma saída de sinal digital calibrada. Este sensor inclui uma medição de umidade do tipo resistiva e um componente de verificação de temperatura NTC, e se conecta a um Microcontrolador de alto desempenho de 8 bits, oferecendo excelente qualidade, resposta rápida, anti-interferência e custo-efetividade. O DHT11 possui uma medição de 20 - 90% de umidade e 0 - 50°C de temperatura.



Figura 10: Ilustração dos sensores MQ-2, MQ-135 e DHT11. Fonte: O autor, 2018

3.2.2 Arduíno UNO

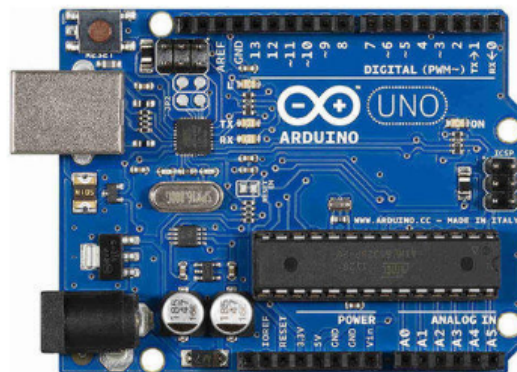
O Arduíno UNO, Figura 11, é uma plataforma *open-source* de computação utilizada para prototipação de circuitos eletrônicos que pode interagir com seu ambiente por meio de *hardware* e *software* (MCROBERTS, 2010). É composto por uma placa com o microcontrolador ATmega328PU que utiliza arquitetura *Havard* de 8 bits, é *RISC - Reduced Intruction Set Computer*, e possui 32kB de memória *flash*, 1kB de memória EEPROM, 2kB memória SRAM, 32 registradores de uso geral, 3 temporizadores/contadores, 1 *USART*, 1 *SPI*, 1 *I2C*, 1 conversor AD de 10 bits, e *watchdog time*, entre outras características. Este dispositivo controla os sensores, configuração, leitura de dados e a comunicação serial com módulo GPRS - *General*

Tabela 3: Informações do Módulo Arduino Uno

Características	Descrição
Microcontrolador	ATmega328
Nº de portas de E/S	14 (sendo que 6 podem ser usadas como PWM4)
Nº de portas de Entrada Analógica	6
Corrente DC por pino E/S	40 mA
Corrente DC por pino 3.3V	50 mA
Flash memory	32 kB
Clock speed	16 MHz
Bootloader	0.5 kB

Packet Radio Service (MORO, 2015). Suas aplicações são as mais diversas, podendo ser utilizado em sistemas embarcados, tais como: acionamento de LED's internos e externos, alarmes, controle de servomotores, teclados virtuais, sensoriamentos, serviços web, transmissão e recepção via radiofrequência, entre outras. A Tabela 3 apresenta as principais características do Arduino UNO R3.

O *software* para programação do Arduino é uma IDE (*Integrated Development Environment*) que permite o desenvolvimento de programas em alto nível convertendo-os para linguagem de máquina.

**Figura 11:** Ilustração de um arduino Uno R3. Fonte: (SOLARBOTICS, 2018)

3.2.3 Real Time Clock

O relógio de tempo real (RTC) modelo DS3231, Figura 12, é um dispositivo de alta precisão, porém de baixo custo, com um cristal oscilador e um sensor digital de temperatura integrados. O dispositivo incorpora uma bateria interna de 3,3 V, que mantém a sua exata precisão do tempo mesmo com o sistema desligado.

O RTC fornece dados de temperatura entre 0° C à 70° C e de temporização tanto no formato



Figura 12: Ilustração de um RTC DS3231. Fonte: (SOLARBOTICS, 2018)

de 24h quanto no formato de 12h com indicador AM/PM em segundos, minutos, hora, dia, mês e ano, transmitindo-os por meio do protocolo *I2C* que consiste fisicamente de duas vias, SDA e SCL, e alimentação (VDD), tipicamente de 3.3V ou 5V. Nesse tipo de protocolo o barramento é bidirecional, de baixa velocidade e síncrono com um *clock* em comum. O número de nós em um único barramento é limitado tanto pelo tamanho do endereço como por restrição de espaço.

3.2.4 XBee

O *XBee Explorer* USB, Figura 13, foi utilizado como interface de comunicação para a configuração de parâmetros dos módulos XBee por meio do software X-CTU versão 6.2.0 fabricado pela DIGI *International Inc.*



Figura 13: Ilustração de um *XBee Explorer* USB. Fonte: (SOLARBOTICS, 2018)

O módulo *XBee*, Figura 14, é uma placa que se comunica via radiofrequência utilizando o padrão *ZigBee* de comunicação de rede sem fio permitindo a interação dos nós.

Os módulos foram configurados em modo de comando “API” onde os dados são transmitidos com base em quadros (*frames*) usando a biblioteca *XBee.h*. Todos os módulos possuem os mesmos PAN ID que é um parâmetro de 4 *bytes* representando o identificador da



Figura 14: Ilustração do Módulo Xbee. Fonte: (SOLARBOTICS, 2018)

rede, razão pela qual todos os módulos, devem obrigatoriamente ter o mesmo valor de PAN ID (ESCHNER, 2011).

3.2.5 Módulo GSM/GPRS

É um dispositivo para comunicação de voz e transmissão de dados desenvolvido pela *Neoway*. Assim como o módulo da *Telic*, tem especificações como as de um aparelho celular comum, mas é designado para aplicações industriais, pois não tem nenhuma funcionalidade implementada.

O Módulo SIM800L, Figura 15, não possui poder para trabalhar com a tecnologia 3G, foi utilizado para a comunicação via dados GSM/GPRS, ele necessita de um chip de operadora de telefonia móvel para comunicação. Esse módulo está conectado diretamente ao coordenador para que ele possa enviar os dados coletados através de alertas para quem estiver monitorando.



Figura 15: Ilustração do Módulo SIM800L para comunicação GSM/GPRS. Fonte: (SOLARBOTICS, 2018)

3.2.6 Custo do Projeto

Para o desenvolvimento do projeto foi realizado o levantamento dos custos do coordenador e dos nós sensores (*end device* e *routers*). Na Tabela 4, tem-se os custos do coordenador, que necessita de menos componentes, porém um maior poder computacional. E na Tabela 5 os custos dos demais nós que compõem a rede. Não foram incluídos os valores referentes ao SIM card e os custos com as operadoras, porque estes valores podem variar.

Tabela 4: Estudo de custo do Coordenador

Qt	Descrição	Nome e Referência	Preço (Reais)
1	Arduíno Uno	Arduíno	49,90
1	<i>Xbee Shield</i> para Arduíno	Não Consta	41,90
1	<i>ZigBee</i> Módulo	DIGI <i>international</i> xb24-bsit-004	169,90
1	Módulo SIM800L	SIMCom	85,90
1	Bateria - 2800 mAh +3,7 V	Não Consta	21,99
1	Placa Fotovoltaica	Não Consta	42,90
4	<i>Jumper</i>	Não Consta	0,76
Total			413,25

Tabela 5: Estudo de custo dos nós sensores

Qt	Descrição	Nome e Referência	Preço (Reais)
1	Arduíno Uno	Arduíno	49,90
1	<i>Xbee Shield</i> para Arduíno	Não Consta	41,90
1	<i>ZigBee</i> Módulo	DIGI <i>international</i> xb24-bsit-004	169,90
1	DHT 11	<i>Mouser Electronics</i>	12,90
1	Bateria - 2800 mAh +3,7 V	Não Consta	21,99
1	Placa Fotovoltaica	Não Consta	42,90
1	Módulo MQ-2	<i>Hansei Eletronics</i>	14,90
1	Módulo MQ-135	<i>Hansei Eletronics</i>	21,90
1	RTC DS3231	<i>Maxim Integrated</i>	19,90
15	<i>Jumper</i>	Não Consta	2,86
Total			399,05

3.3 Detalhamento dos Nós Sensores

O caso do sistema de detecção de incêndios florestais, é composto por uma rede de sensores sem fio (RSSF) baseado no protocolo de comunicação *ZigBee* e protocolo móbil GSM. Para isto, sua estrutura é composta por um processador central com a rede de sensores e um rádio de comunicação, sendo alimentado por energia convencional e por energias alternativas

dependendo da região. Seu diagrama em bloco é descrito conforme a Figura 16. O coordenador, como podemos observar na Figura 17, possui um *hardware* mais simplificado, porém o código de programação é mais complexo. Ele faz uso de um processador central, um rádio de comunicação e do módulo para comunicação móvel - GSM/GPRS.

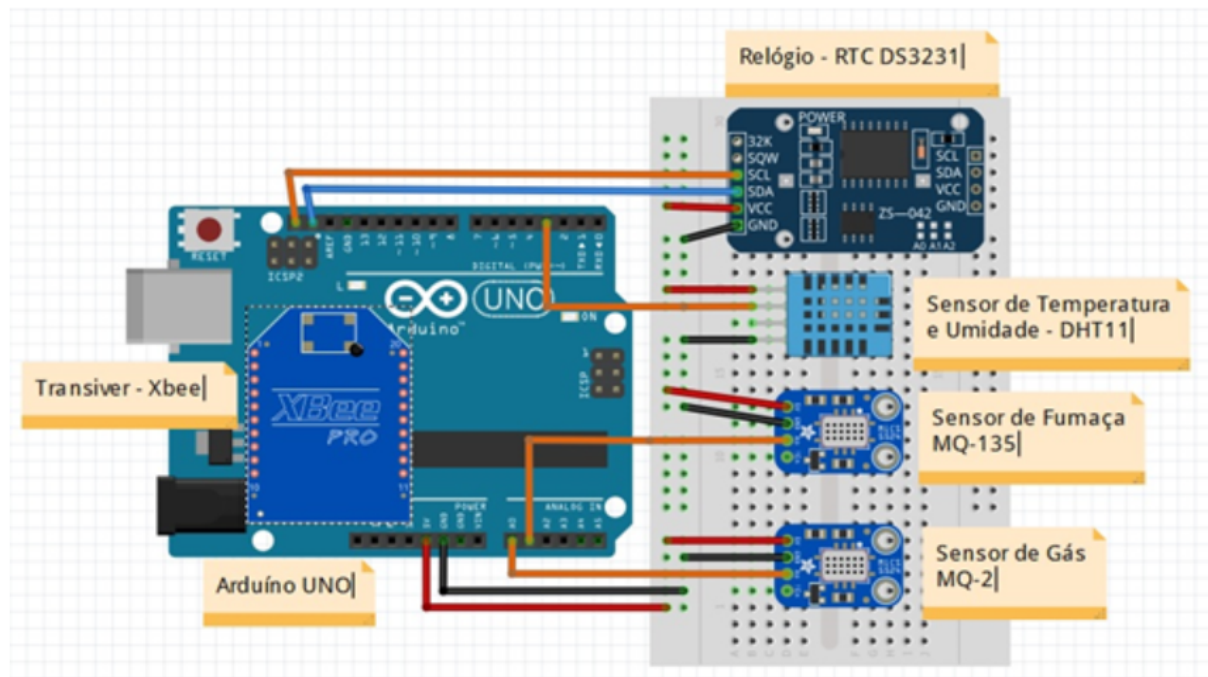


Figura 16: Diagrama composto por todos os componentes do nó sensor. Fonte: O autor, 2018

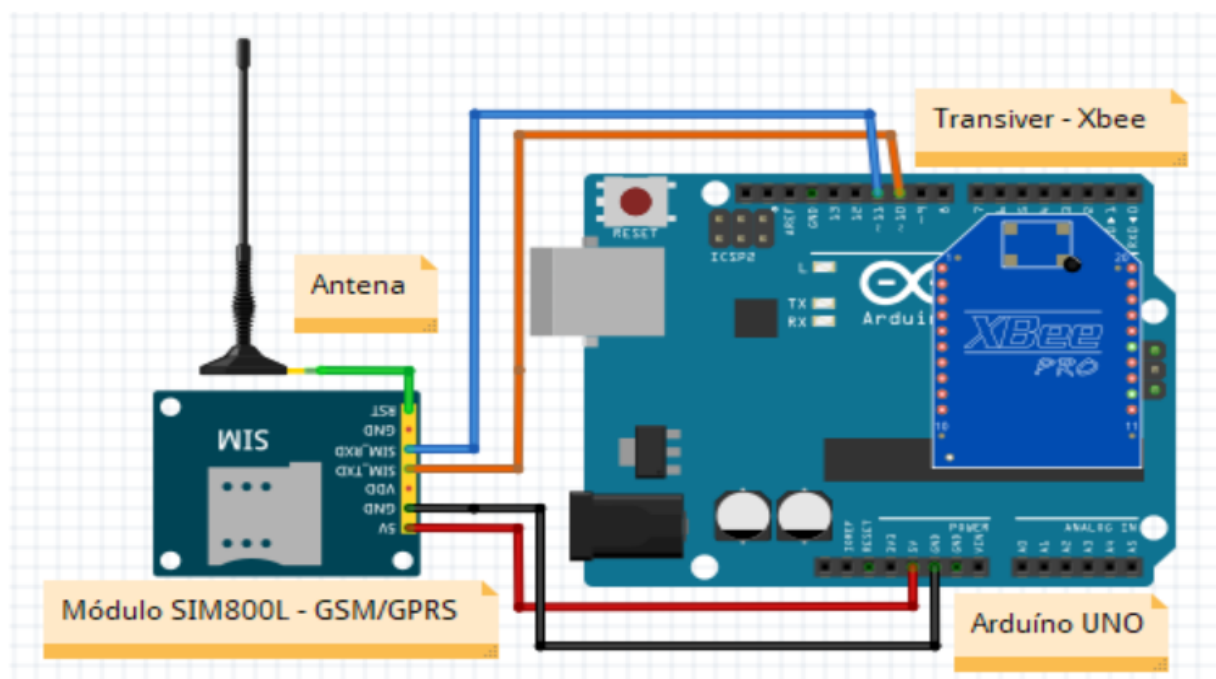


Figura 17: Diagrama composto por todos os componentes do coordenador. Fonte: O autor, 2018

3.3.1 Roteamento *ZigBee*

A especificação da tecnologia aplicada, *ZigBee*, uma suíte de protocolos de comunicação utilizados por rádios digitais pequenos e de baixa potência, que são baseados no padrão IEEE 802.15.4 para “*Wireless Personal Area Networks*” (WPANs). Os rádios *ZigBee* operam nas faixas de frequência de 868 MHz na Europa, 915 MHz nos Estados Unidos e 2.4 GHz em outros países, todos com taxa de dados que variam de 20 Kbps a 250 Kbps (AZEVEDO, 2006).

A especificação do sistema é baseada em três tipos diferentes de dispositivos, com funções variadas: Dispositivo Coordenador - *ZigBee Coordinator* (*ZigBee ZC*), Dispositivo Roteador - *ZigBee Router* (*ZigBee ZR*) e Dispositivo Final - *ZigBee End Device* (*ZigBee ZED*). Existe exatamente um coordenador *ZigBee* em cada rede. Este dispositivo agrega o maior número de funções, por exemplo, o coordenador é capaz de criar uma rede tornando-se a raiz da árvore dessa rede, sendo, portanto, o único dispositivo capaz de comutar dados entre redes (AZEVEDO, 2006).

Além disso, o coordenador é capaz de armazenar informação sobre a rede como, por exemplo, um repositório de chaves seguras e determinar parâmetros, como o número máximo de filhos (C_m) de um roteador *ZigBee*, o número máximo de roteadores filhos (R_m) de um nó pai, a profundidade da rede (L_m). A partir desses parâmetros os dispositivos roteadores podem computar um parâmetro denominado C_{skip} , que é utilizado para computar o tamanho do “pool” de endereços de filhos. Este parâmetro é calculado pela seguinte fórmula: Dispositivo Roteador *ZigBee* - ZR (AZEVEDO, 2006).

$$C_{skip}(d) = \begin{cases} 1 + C_m \cdot (L_m - d - 1), & \text{se } R_m = 1 \text{ (a)} \\ \frac{1 + C_m - R_m - C_m \cdot R_m^{L_m - d - 1}}{1 - R_m}, & \text{caso contrario (b)} \end{cases} \quad (3.1)$$

Os dispositivos roteadores agem como um roteador intermediário, roteando dados para outros dispositivos.

O *ZigBee* - ZED contém funções apenas para trocar informações com seu nó pai (ou um roteador ou um coordenador), não podendo encaminhar dados para outros dispositivos. Como este requer menos memória, pois não precisa armazenar informações de roteamento, é mais barato que um roteador ou um coordenador *ZigBee*. Na Figura 18, podemos analisar as função de cada dispositivo *ZigBee*.

O Sistema pode operar com três topologias de redes: estrela, árvore, e malha. Foi decidido que a rede em malha se comporta como a mais segura no cenário que se projetou por conseguir cobrir uma maior área e gerar maiores rotas alternativas para o envio das informações

ZigBee Coordinator (ZC)	ZigBee Router (ZR)	ZigBee End Device (ZED)	ZigBee Network Layer Function
•			Establish a new ZigBee network
•	•		Assign logical network addresses
•	•		Permit other devices to join/leave
•	•		Maintain lists of neighbors and routes
•	•		Route network-layer packets
•	•	•	Transfer network-layer packets
•	•	•	Join/leave a ZigBee network

Figura 18: Topologias de Redes Implantadas. Fonte: (AZEVEDO, 2006)

monitoradas (AZEVEDO, 2006).

A formação de uma nova rede *ZigBee* é iniciada através de uma primitiva camada de rede, a qual é restrita ao coordenador *ZigBee*, que não pertence a nenhuma rede. Para iniciar uma rede, um coordenador *ZigBee* procura por um conjunto de canais. Quando esta procura se completa, os canais são ordenados em ordem decrescente de níveis de energia (os canais de níveis mais baixos são descartados). O coordenador então procura em cada canal por dispositivos ou redes *ZigBee*. Baseado neste resultado, o coordenador escolhe o melhor canal para criar uma nova rede, dando preferência para canais em que não foram encontradas outras redes. Então o coordenador escolhe um identificador de rede lógico (um número) que será atribuído a todo dispositivo que ingressar na rede. Finalmente, o coordenador permite outros dispositivos ingressarem na rede (AZEVEDO, 2006).

3.3.2 Atribuição de Endereço

Como parte do processo de ingressar em uma rede, cada dispositivo recebe um endereço de rede lógico. Em redes *ZigBee*, os endereços de rede são atribuídos ou por um coordenador ou por um roteador, usando um algoritmo de árvore estruturada. No mais alto nível da estrutura (no dispositivo coordenador) da rede está definida uma entidade conhecida como “*stack profile*”. O “*stack profile*” é um conjunto de parâmetros que incluem definições da profundidade máxima da rede, o número máximo de filhos roteadores em uma profundidade e o número máximo de filhos (dispositivos finais) que podem comunicar-se com um roteador individual. Estes parâmetros determinam a forma da árvore da rede. Por exemplo, a profundidade da rede determina o número máximo de saltos entre qualquer dispositivo e o coordenador de rede (AZEVEDO, 2006).

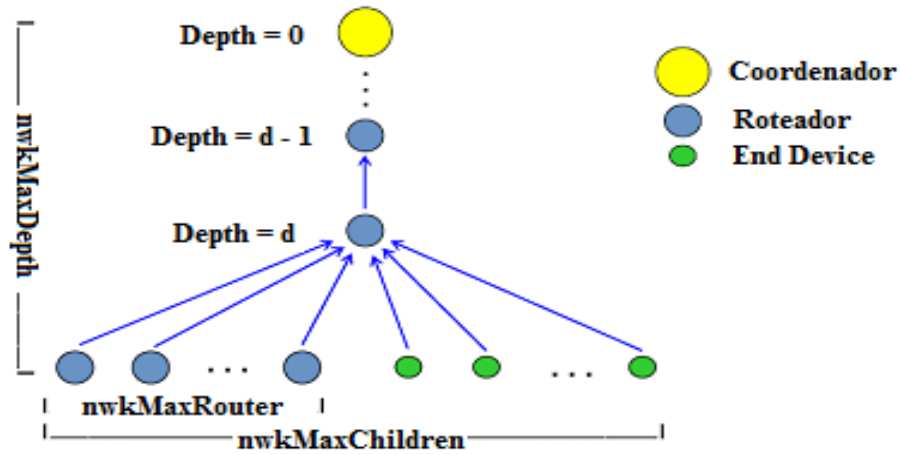


Figura 19: Modelo da árvore lógica de uma rede *ZigBee*. Fonte: (AZEVEDO, 2006)

Conforme demonstrado na Figura 19, os atributos da árvore lógica podem ser usados para computar o endereço lógico e determinar o lugar de um dispositivo na árvore. Isto simplifica a tarefa de roteamento na árvore. Como opção, a especificação *ZigBee* também permite que a atribuição de endereços seja realizada pela aplicação. A atribuição de endereços é feita da seguinte forma: Se um nó pai (roteador ou coordenador) na profundidade d tem um endereço A_{parent} , então:

- ao n^{th} roteador filho é atribuído o endereço: $A_{parent} + (n - 1) \times C_{skip}(d) + 1$
- ao n^{th} dispositivo filho, é atribuído o endereço: $A_{parent} + R_m \times C_{skip}(d) + n$

3.3.3 Cálculo do Custo do Enlace

O algoritmo de roteamento *ZigBee* utiliza uma métrica de custo de caminho para comparação de rota durante a descoberta e manutenção de rotas. Para computar esta métrica um custo de enlace é associado a cada enlace no caminho entre fonte e destino, e estes valores são somados para produzir o custo do caminho inteiro.

Entretanto, formalmente, se definirmos um caminho P de tamanho L , como um conjunto ordenado de dispositivos $[D_1, D_2, D_3, \dots, D_L]$ e enlaces $[D_i, D_{i+1}]$ como um sub caminho de tamanho 2, então o custo total do caminho será: onde cada um dos valor $C[D_i, D_{i+1}]$ é denominado custo do enlace. O custo do enlace C_l para o enlace L varia no intervalo de $[0,7]$ e é definido por: onde P_L é a probabilidade da entrega com sucesso de um pacote no enlace.

$$C\{l\} = \begin{cases} 7, \\ \min\left(7, \text{round}\left(\frac{1}{P_L^4}\right)\right) \end{cases}, \quad (3.2)$$

$$C\{P\} = \sum_{i=1}^{L-1} C\{[D_i, D_{i+1}]\}, \quad (3.3)$$

3.4 Software de Configuração do Rádio - XCTU

O software desenvolvido para o sistema é em função dos dados coletados como fumaça, fogo e temperatura oriundos dos sensores, e tem como função fazer o gerenciamento total do sistema, controlar comunicação com a rede *Wi-Fi*, *ethernet* e rede celular de forma a enviar as informações *online* no tempo do acontecimento dos eventos. O *software* também irá controlar o consumo dos equipamentos e seus alertas de energia, para não deixar a rede em nenhum momento ciar por falta de alimentação. Para se configurar os rádios de comunicação utilizamos as telas XCTU de propriedade do fabricante do rádio a qual coloca à disposição do projetista as telas de configuração dos equipamentos instalados na rede.

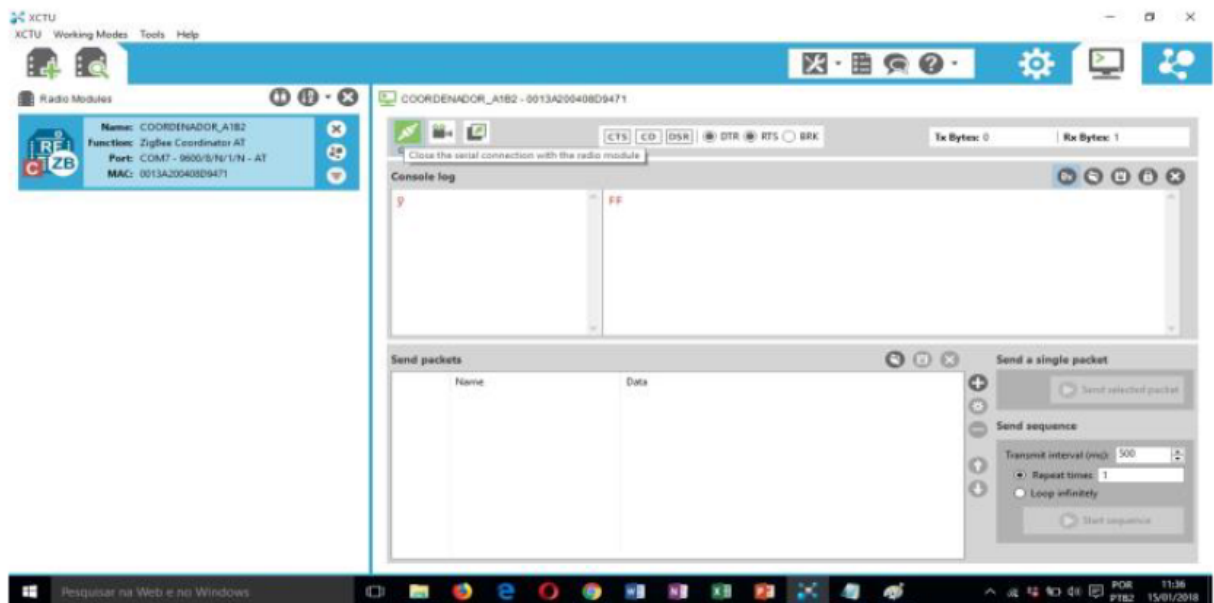


Figura 20: Software de Configuração do Rádio - XCTU. Fonte: O autor, 2018

Conforme demonstrado na Figura 20, existe também a opção do projetista configurar o tipo de rede, a forma de transmissão, a ordem dos rádios e a forma dos eventos monitorados como gás, fumaça, umidade e temperatura, Figura 21.

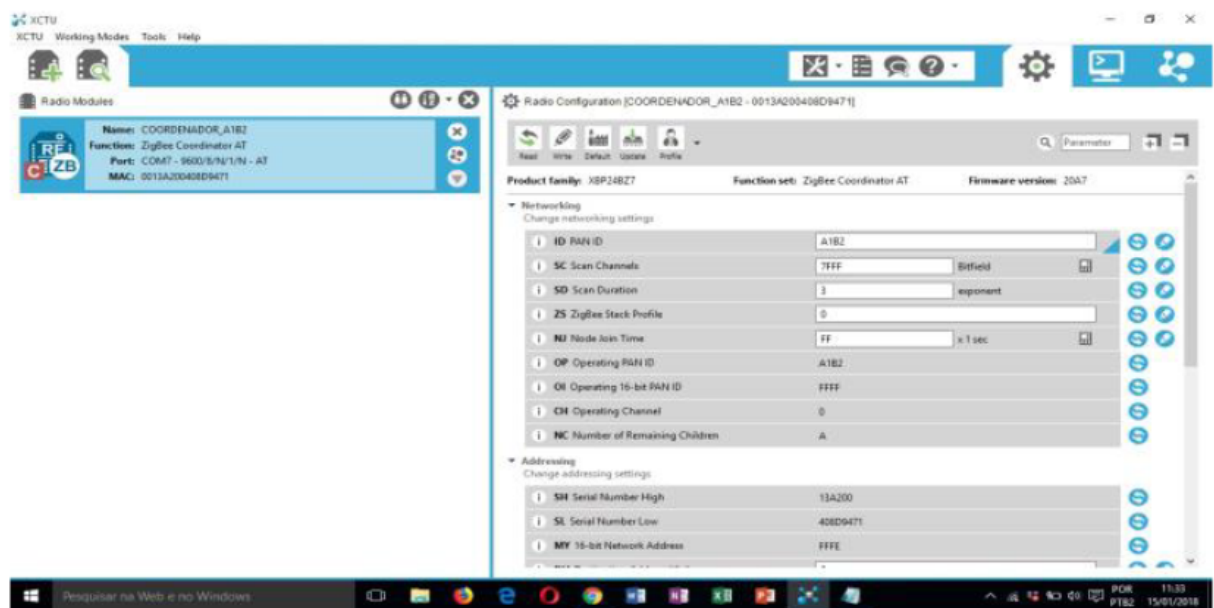


Figura 21: Interface de configuração do *software* XCTU. Fonte: O autor, 2018

3.4.1 Plataforma IoT *ThingSpeak*

Com o conceito de IoT bem definidos, escolhemos a plataforma *ThingSpeak*, Figura 22, para receber os dados coletados dos nós sensores, tratados pelo coordenador e enviados via GPRS para a plataforma. A plataforma é *Open Source* e tem integração com o MATLAB, dessa forma ela recebe os dados e os plota em forma de gráficos predefinidos.

Principais características da plataforma *ThingSpeak* - é uma ferramenta para agregação, visualização e análise de dados *streams*.

- Possui fácil configuração para envio dos dados;
- Visualização de sensores em tempo real;
- Agregação de dados sob demanda de fontes de terceiros;
- Usa o poder do MATLAB para entender os dados;
- Executa sua análise IoT automaticamente com base em agendamentos ou eventos;
- Prototipar e construir sistemas IoT sem configurar servidores ou desenvolver *software* da WEB;
- Atua automaticamente nos dados e se comunica usando serviços de terceiros como por exemplo: *Twitter*.

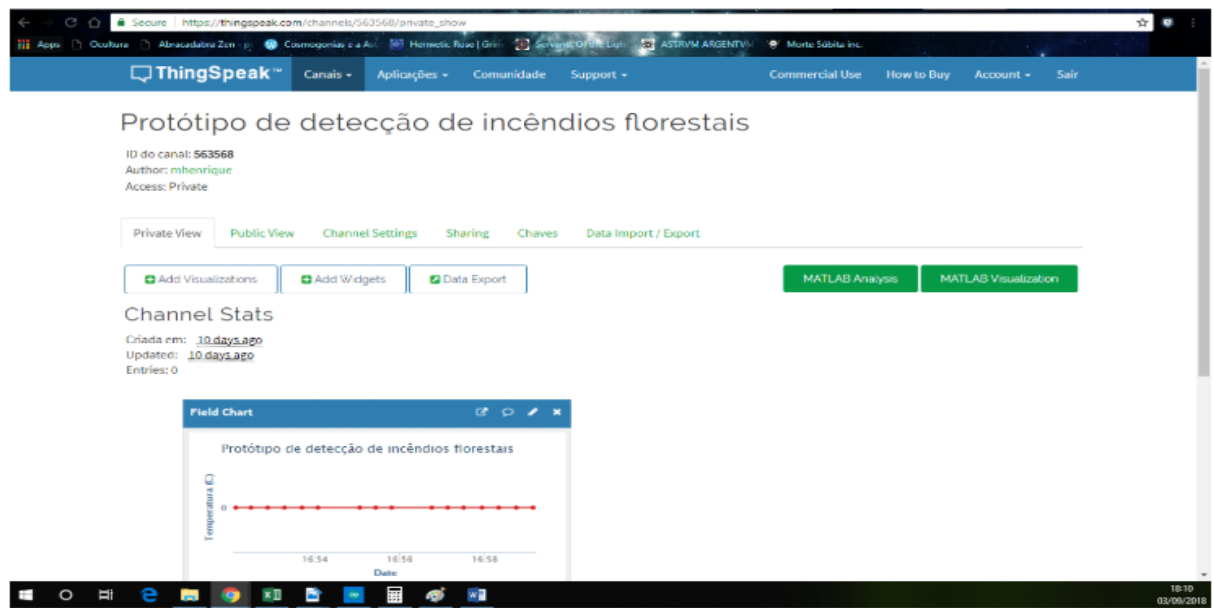


Figura 22: Ilustração da Plataforma *ThingSpeak*. Fonte: O autor, 2018

3.5 Conclusão

Neste capítulo apresentou-se a metodologia aplicada para o desenvolvimento do projeto, permitindo avaliar o desempenho da RFFS. Foram descritos o hardware e software utilizados e a infraestrutura desenvolvida para conduzir os experimentos para os diferentes aspectos estudados (alcance de conectividade, qualidade do enlace, desempenho da rede, exatidão dos dados).

ENSAIOS EXPERIMENTAIS DO SISTEMA DE PREVENÇÃO A INCÊNDIOS FLORESTAIS

Neste capítulo pretende-se mostrar, através de ensaios controlados em laboratório e em campo aberto, simulações do comportamento de cada parte do sistema para validação do mesmo. Primeiramente, foram apresentados os resultados de cada teste realizado, e, em seguida, analisado cada comportamento do sistema. Os testes tem como objetivo elucidar a necessidade de cada dispositivo no ambiente ao qual ele está sendo implementado.

Para a ocorrência do incêndio deve haver uma condição para que exista a “centelha”. Infelizmente não é possível ter controle sobre os fenômenos naturais e, em razão disso, foram realizados testes induzidos.

Os ensaios em laboratório foram realizados no Instituto Federal do Ceará - IFCE. Em loco, foram testados os seguintes parâmetros: resposta de cada sensor, rádio, taxas de dados transmitidas, alcance do sinal, comunicação móvel. O sistema também foi testado no ambiente ao qual será implementado e os dados monitorados durante este experimento, enviados para a plataforma IoT.

4.1 Metodologia para verificação da presença ou ausência dos gases e os índices de temperatura e umidade

Sabe-se que a “centelha” pode iniciar-se por meio de diversos fatores, entre estes, pelos gases inflamáveis. O metano (CH_4), butano (C_4H_{10}), etileno C_2H_4 , etano (C_2H_6), propano (C_3H_8) e o xileno (C_8H_{10}) são gases altamente inflamáveis. Após o início do incêndio são gerados fumaça e gases, no qual estão presentes substâncias como: monóxido de carbono (CO), amônia (NH_3), benzeno (C_6H_6), dióxido de carbono (CO_2) e óxido nitroso (N_2O). Conforme dito anteriormente, estas substâncias serão o “gatilho” de verificação para a ocorrência do

incêndio. Para o início dos testes dos sensores, optou-se por utilizar um recipiente de volume conhecido (Figura 23), no qual foi isolado o sensor internamente.

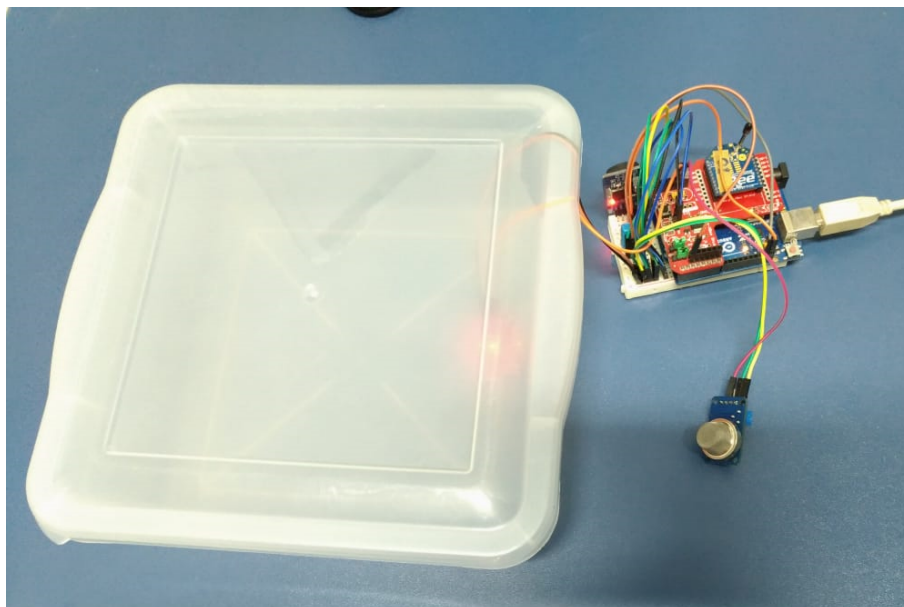


Figura 23: Teste de performance dos sensores. Fonte: O autor, 2018

Na natureza não é possível mensurar a quantidade exata de gás necessário para se iniciar um incêndio. Em razão disso, foi estabelecida uma pequena concentração para que os sensores sejam calibrados, como o gás gerado por um simples isqueiro. Dessa forma, torna-se possível a simulação de um incêndio intencional, ou seja, realizado pela intervenção humana. Conforme estudado no capítulo 3, os sensores estão localizados nos nós *end devices* e *routers*. Essas verificações acontecem pela IDE de programação do arduino, no caso do Rx - *end devices* e/ou *routers*.

O primeiro teste realizado foi o do sensor MQ-2. Através do seu *datasheet*, foi possível constatar que este sensor é capaz de receber concentrações de 300 - 10000 ppm (parte por milhão). Dessa forma, o potenciômetro foi calibrado para modificar o seu *status* quando atinge-se 390 ppm.

Logo, o teste foi iniciado quando o sensor recebeu uma certa concentração de gás, que, para este experimento foi utilizado um isqueiro. Na Figura 24 pode-se observar duas amostragens: na primeira, a leitura do MQ-2, marca 387 ppm e o seu *status* informa a ausência do gás; na segunda leitura, um segundo depois, a concentração marca 392 ppm, ultrapassando a marca estabelecida e informando que foi detectado a presença de gás inflamável. É importante esclarecer que em nenhum momento há a inexistência de gás dentro do recipiente utilizado.

Em um segundo momento do experimento, realizou-se o reconhecimento de alguns dos

principais gases liberados pelas chamas em fase de combustão. Para esse experimento foi escolhido o sensor MQ-135. Através do seu *datasheet* foi constatado que este é capaz de receber concentrações de 10 - 1000 ppm, ou seja, caracteriza-se por ser um sensor muito mais sensível. O potenciômetro do sensor foi calibrado para mudar o seu *status* ao atingir a marca de 390 ppm. É importante salientar que o teste é iniciado quando o sensor começa a receber uma certa concentração de fumaça oriunda de papel queimado. Na Figura 25 pode-se verificar duas amostragens: na primeira a leitura do MQ-135, marca 321 ppm e o seu *status*, a qual informa a ausência de fumaça. Na segunda leitura, dois segundos depois, a concentração marca 432, ultrapassando a marca estabelecida e informando que foi detectado a presença de gás inflamável.

```
RTC is newer than compile time. (this is expected)
Leitura MQ 2: 387
Leitura MQ 135: 259
MQ 2 GAS AUSENTE !!!
MQ 135 GAS AUSENTE !!!
08/21/2018 13:52:06
30.50C
=====
Sample DHT11...
Sample OK: 29 C, 30 H
Leitura MQ 2: 392
Leitura MQ 135: 260
MQ 2 GAS DETECTADO !!!
MQ 135 GAS AUSENTE !!!
08/21/2018 13:52:07
30.50C
=====
```

Figura 24: Amostragem de verificação da presença ou ausência dos gases através da leitura do sensor MQ-2. Fonte: O autor, 2018

```

Sample DHT11...
Sample OK: 28 C, 31 H
Leitura MQ 2: 369
Leitura MQ 135: 321
MQ 2 GAS AUSENTE !!!
MQ 135 GAS AUSENTE !!!
08/21/2018 14:27:59
29.50C

=====compiled: Aug 14 201816:55:21

RTC is newer than compile time. (this is expected)
Leitura MQ 2: 373
Leitura MQ 135: 432
MQ 2 GAS AUSENTE !!!
MQ 135 GAS DETECTADO !!!
08/21/2018 14:28:01
29.50C
=====

```

Figura 25: Amostragem de verificação da presença ou ausência de fumaça através da leitura do sensor MQ-135. Fonte: O autor, 2018

Um dos principais fatores que podem gerar o incêndio são as altas temperaturas e baixa umidade. Desta forma, para o terceiro experimento, foi escolhido o sensor DHT11, através do *datasheet*, que é um sensor capaz de mensurar de 20 - 90% da umidade e 0 - 50°C da temperatura, com precisão de $\pm 5\%$ RH e $\pm 2^\circ\text{C}$. Na Figura 24 a leitura marca 29°C e 30% de umidade. Na Figura 25 a leitura marca 28°C e 31% de umidade.

Sabe-se que o coordenador é responsável pelo recebimento de todos os dados monitorados pelo demais nós sensores e pelo tratamento dessas informações. Todos os *end devices* e/ou *routes* que compõem a rede enviam os dados coletados para o coordenador, que possui um algoritmo que recebe essa concentração em ppm e, a partir disso, devolve o resultado em forma de porcentagem. Conforme mencionado no capítulo 3, sub item 3.2.2 - o Arduino Uno possui 1 conversor AD de 10 *bits*, ou seja, 2^n onde n é a quantidade de *bits*, sendo 1024 (0 - 1023) a taxa de amostragem do conversor AD. O arduino recebe o valor em ppm, divide por 1023 e multiplica por 100, para conversão em porcentagem. Conforme demonstrado na figura 26, o coordenador recebe os dados de 3 nós sensores e *printa* na tela todos os dados coletados. Após isso, uma vez que a porcentagem de gás atinge 25% e a de fumaça 33%, é gerado um alerta através de uma mensagem SMS. Conforme mencionado anteriormente, na natureza não existe um parâmetro definido de concentração para a ocorrência do incêndio. Sendo assim, os parâmetros de gás e fumaça foram definidos pelo autor deste trabalho, conforme demonstrado na figura 27.

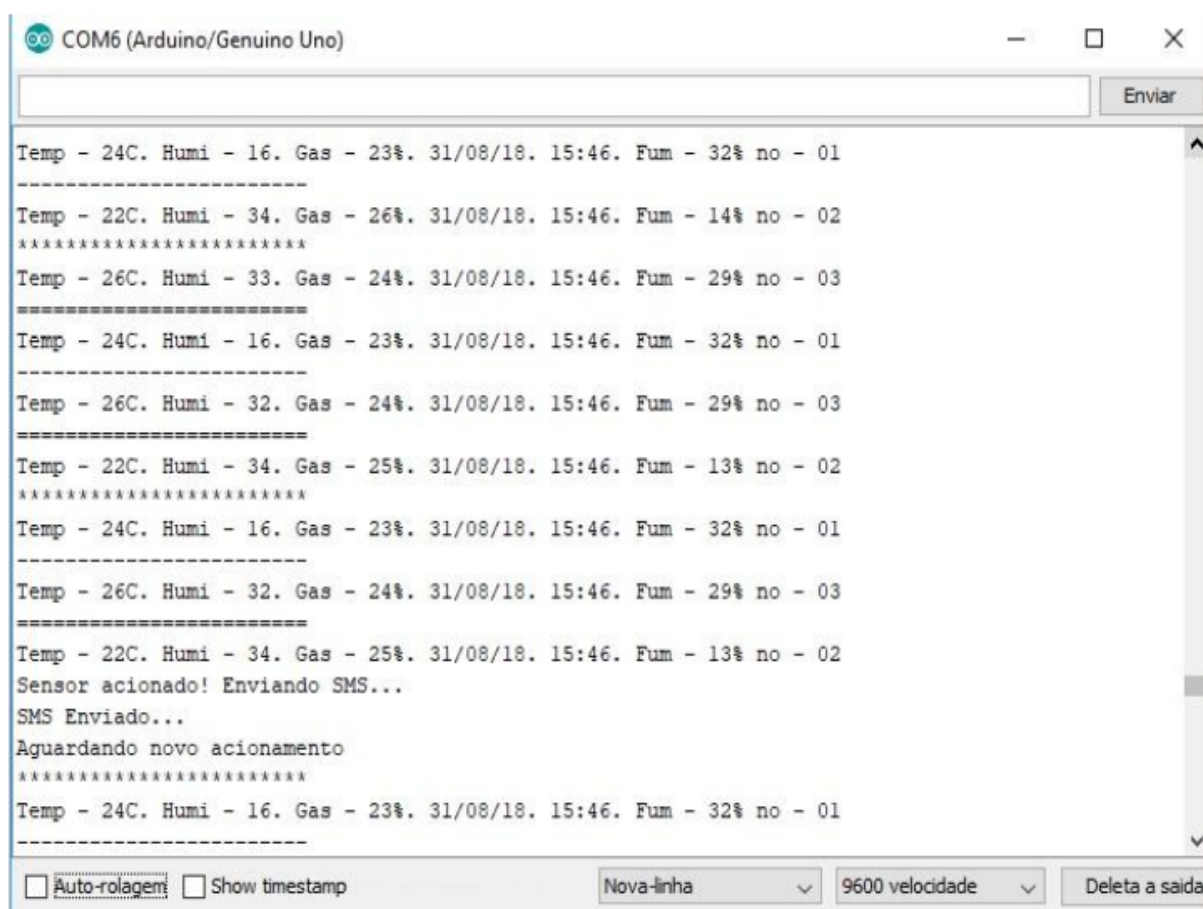


Figura 26: Análise dos dados através da leitura do Rx - coordenador. Fonte: O autor, 2018



Figura 27: Ilustração do recebimento de alertas via GSM. Fonte: O autor, 2018

4.2 Avaliação da eficiência no envio e recebimento de dados (radio range test)

A realização do teste de envio e recebimento dos pacotes em uma rede de sensores é fundamental para que o sistema possa operar de forma contínua e sem grandes perdas. Baseando-se nessa premissa foi utilizado o *radio range test*, do *software* XCTU para avaliação da eficiência em cada nó, individualmente, conforme Figura 28.

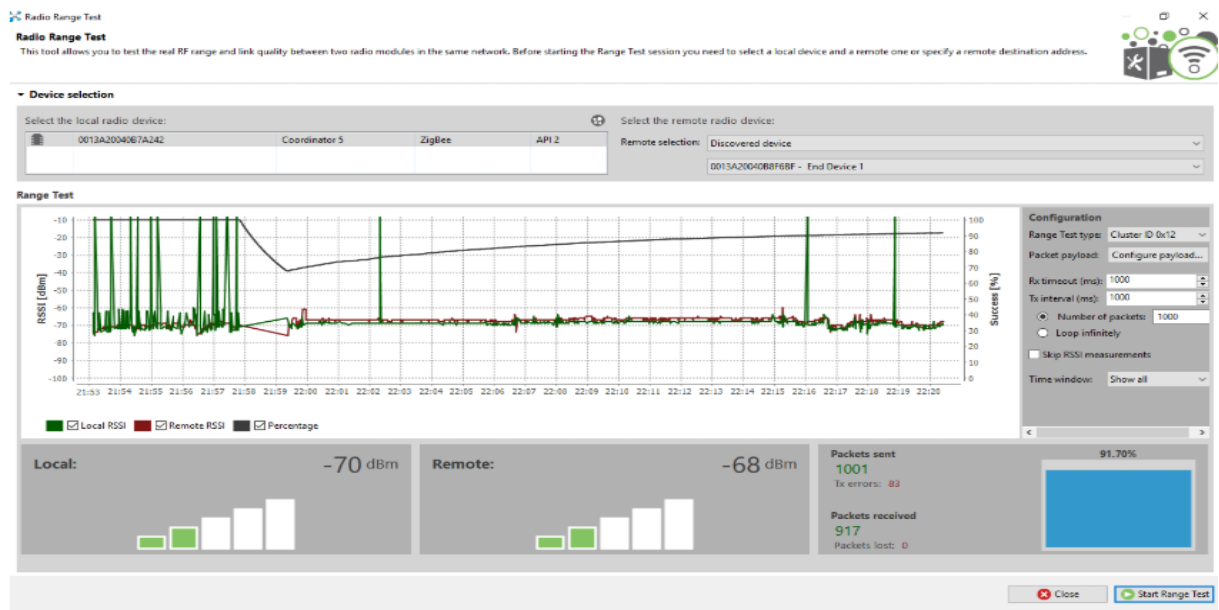


Figura 28: Teste de envio de pacotes, para a validação do rádio. Fonte: O autor, 2018

O teste foi realizado nas dependências do campus do IFCE - *campus* Fortaleza. Pode-se verificar pela Figura 29 que cada nó foi fixado a uma distância que tornou possível o sinal enviado pelos nós sensores chegarem ao coordenador sem perdas, ou seja, ao limite da comunicação com barreiras. Na Tabela 6 apresenta-se a distância de cada nó ao coordenador.

Tabela 6: Distância dos nós sensores ao coordenador

Nós	Distância (m)
1 - 2	38,74
1 - 3	15,78
1 - 4	41,60
1 - 5	18,73

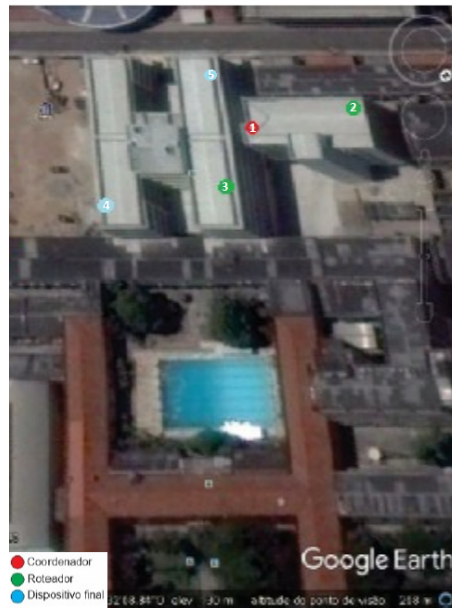


Figura 29: Teste de verificação do sinal dos nós em campo fechado. Fonte: O autor, 2018

Primeiramente, cabe ressaltar que os nós 1 e 2 são *end device*, os quais possuem um menor poder computacional, e os nós 3 e 4 são *routers*, os quais permitem receber os dados dos outros nós, agregá-los e enviá-los para o próximo salto, até chegar ao coordenador.

Na Figura 30 observa-se a quantidade de dados enviados, a taxa de erros, pacotes recebidos e perdidos por cada nó, individualmente. Percebe-se também que, para o nó 1 houve uma grande quantidade de taxa de erros, em razão da distância e da comunicação com barreiras. Já para os nós 3 e 4, houveram perdas de pacotes, decorrente do maior poder de processamento mediante o roteamento. Em contraponto, mesmo com algumas perdas de pacotes e dados, infere-se que os nós sensores obtiveram eficiência acima de 90%, obtendo assim um resultado considerado satisfatório, conforme apresentado na Figura 31.

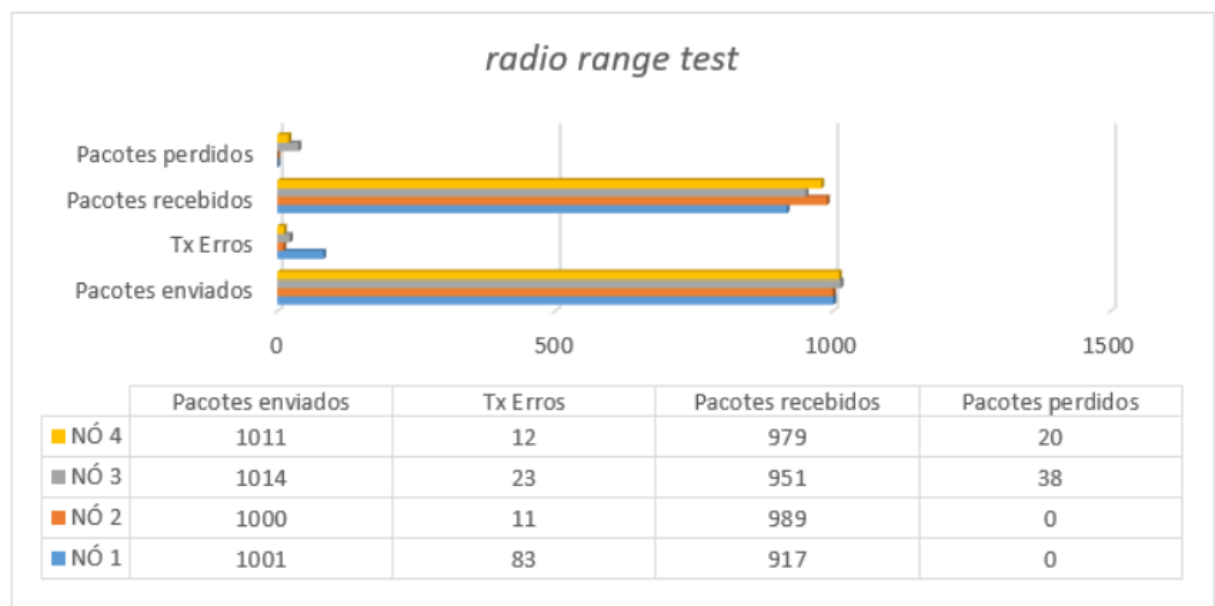


Figura 30: Teste de Envio e recebimento dos pacotes para cada nó. Fonte: O autor, 2018

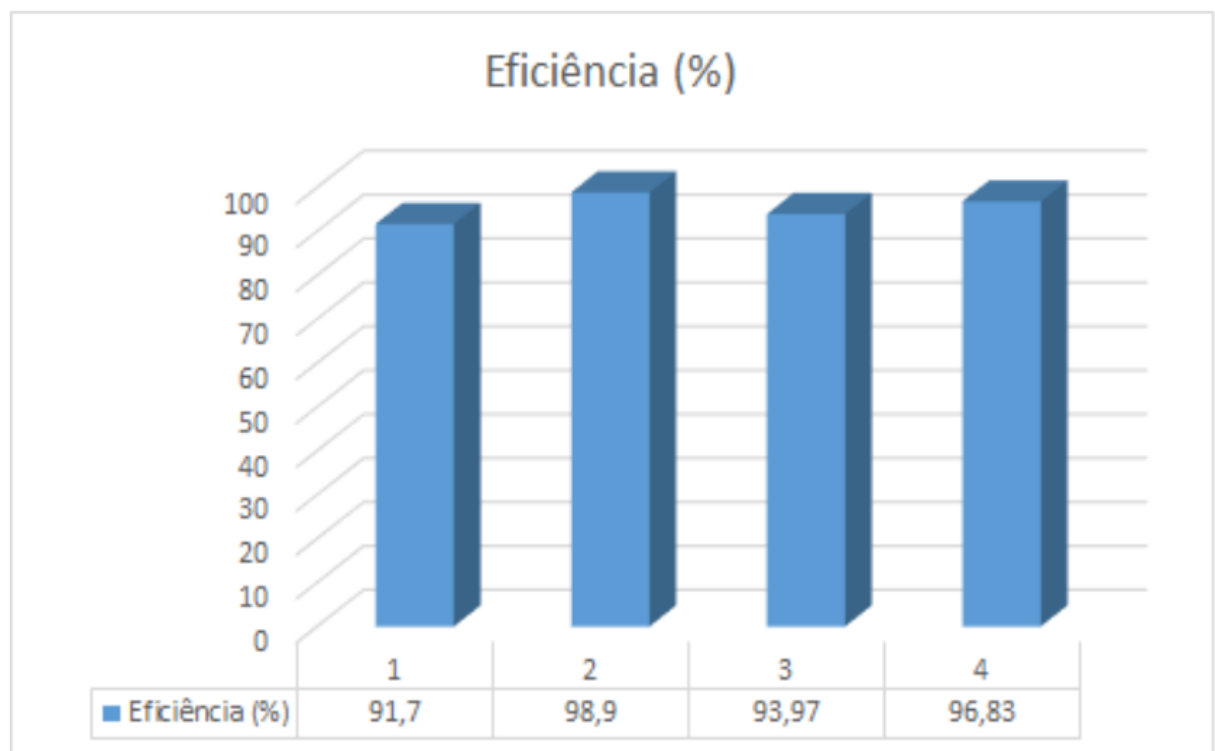


Figura 31: Nível de eficiência de envio e recebimento dos pacotes para cada nó. Fonte: O autor, 2018

4.3 Avaliar a taxa de transferência no envio de dados (Throughput)

O *throughput* é a quantidade de dados transferidos de um lugar a outro ou, em outras palavras, a quantidade de dados processados em um determinado espaço de tempo. Nesse experimento utilizou-se o *software* XCTU com objetivo de avaliar a transferência dos dados por cada nó sensor até o coordenador, demonstrado na Figura 32.

Conforme dito anteriormente, os nós 1 e 2 são *end device*, ou seja, a média de dados transferidos é menor, em comparação aos nós 3 e 4 que são *routers*.

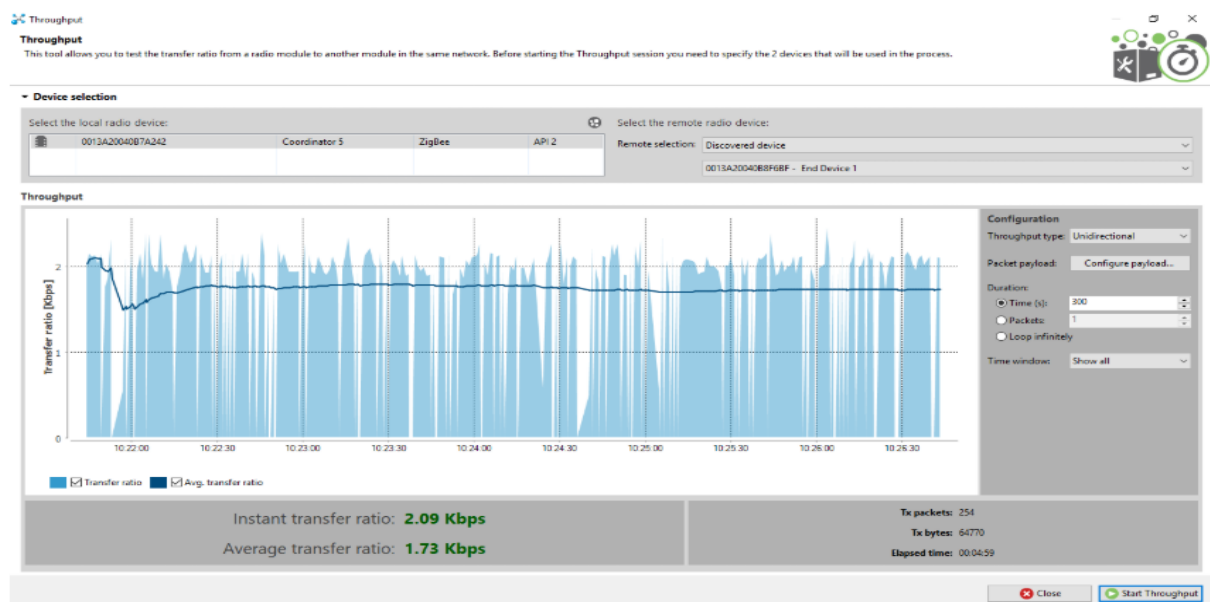


Figura 32: Taxa de transferência de dados por cada nó sensor até o coordenador pelo *software* XCTU.
Fonte: O autor, 2018

De acordo com os autores Tanenbaum (2011) e Kurose (2013), um pacote pode conter diversos *bytes*, o que pode variar é o meio de transporte. Desta forma, observa-se que, na Figura 33, os nós 1 e 2 enviam 254 e 266 pacotes, respectivamente, e os nós 3 e 4 enviam 392 e 429, respectivamente. Tais constatações nos permite ratificar o conceito dito anteriormente sobre os nós 3 e 4 serem *routers*, que tem como função, o envio dos dados, e também o encaminhamento dos dados recebidos de outros nós.

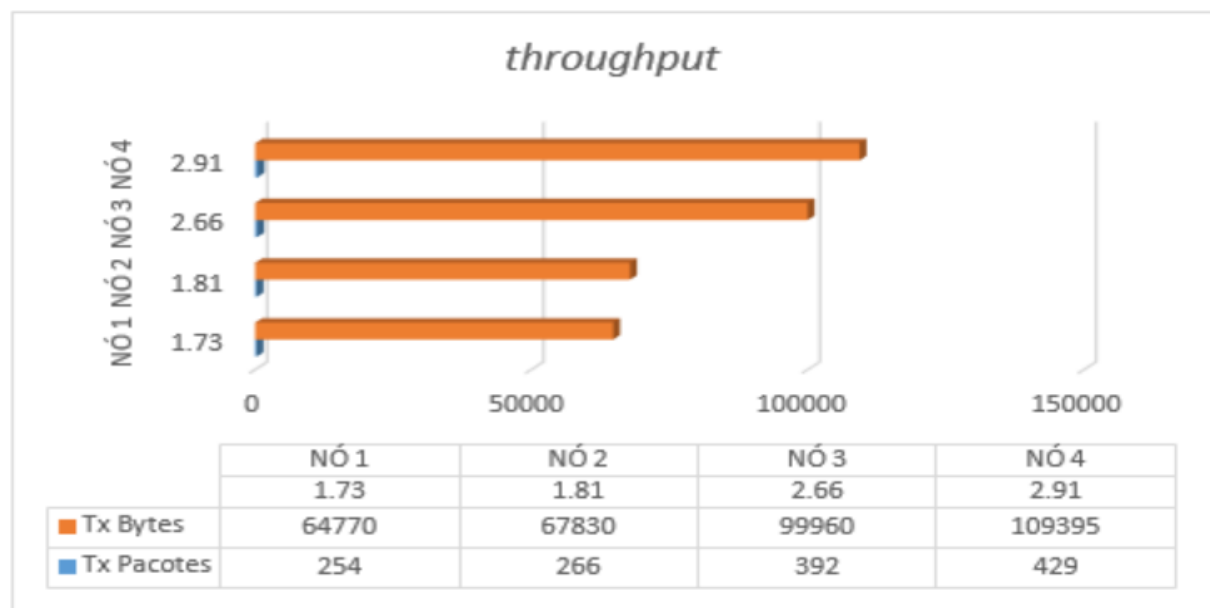


Figura 33: Teste da Transferência de dados por cada nó sensor até o coordenador pelo *software* XCTU.
Fonte: O autor, 2018

4.4 Avaliação do desempenho da RSSF em área aberta

Para a realização do teste da RSSF em área aberta foi escolhido o Parque do Cocó em Fortaleza por se tratar de um parque aberto e por possuir ambientes diferentes, entre eles: mata fechada, mata aberta, pequenos lagos e mangue, tornando propício à realização deste trabalho.

Mediante a realização do teste em área aberta atingiu-se o alcance máximo do rádio entre os nós sensores e qualificou-se a rede para os diversos ambientes. No decorrer do teste foi também observado uma reação adversa: nos ambientes em que haviam copas de árvores o sinal se comportou muito melhor do que em áreas abertas. A Figura 34 demonstra o momento em que os nós sensores em área aberta perderam o sinal em curtas distâncias e nos locais fechados o sinal alcançou maiores distâncias.

Durante a realização do teste de campo, foram utilizados 3 nós roteadores e 1 coordenador. A partir disso, foi realizado o teste de alcance máximo do rádio mediante os obstáculos encontrados na natureza e replicado o teste com o objetivo de cobrir toda a área. O procedimento consistiu em fixar o coordenador e avançar os roteadores até se perder a conexão e, em seguida, eram recuados os roteadores para que o sinal se mantivesse adequado e sem perdas.



Figura 34: Ilustração dos pontos que marcam cada roteador utilizado para cobrir a trilha do parque do Cocó. Fonte: O autor, 2018

A Tabela 7 apresenta todos os pontos marcados pelos roteadores cobertos durante a trilha iniciada na Sebastião de Abreu e finalizada na Avenida Engenheiro Santana Júnior. O percurso da trilha no parque do Cocó possui 1,33 km. Para este percurso foram necessários 20 nós sensores e 1 coordenador, cujo objetivo foi alocar os nós sensores em pontos altos para que seja possível coletar com maior eficiência os dados do meio ambiente e para que não sofram com a ação dos animais e dos homens.

4.5 Avaliação do tratamento dos dados monitorados através de uma plataforma IoT

Para utilização da plataforma IoT, foram analisados os dados coletados pelos nós sensores por meio da rede desenvolvida. Mediante os resultados, foi estudada a recepção dos 3 nós e todos foram alocados em ambientes diferentes.

A rede foi submetida a um teste de envio de dados para a plataforma. O sistema permaneceu em pleno funcionamento durante 30 horas. Os gráficos (Figura 35 à 37) mostram, respectivamente, os dados coletados no meio ambiente: temperatura ($^{\circ}\text{C}$), umidade (%), gás (%) e fumaça (%).

Tabela 7: Geo-localização dos pontos que marcam cada roteador utilizado para cobrir a trilha do parque do Cocó

Pontos	Longitude e Latitude			
	Grau decimal(W)	Grau decimal(S)	Grau(W)	Grau(S)
Ponto 1	-3.752232	-38.482630	3°45'08.0"	38°28'57.5"
Ponto 2	-3.751977	-38.483093	3°45'07.1"	38°28'59.1"
Ponto 3	-3.751275	-38.483849	3°45'04.6"	38°29'01.9"
Ponto 4	-3.750894	-38.484400	3°45'03.2"	38°29'03.8"
Ponto 5	-3.750486	-38.484911	3°45'01.8"	38°29'05.7"
Ponto 6	-3.750185	-38.484940	3°45'00.7"	38°29'05.8"
Ponto 7	-3.749922	-38.484878	3°44'59.7"	38°29'05.6"
Ponto 8	-3.749851	-38.484688	3°44'59.5"	38°29'04.9"
Ponto 9	-3.749501	-38.484519	3°44'58.2"	38°29'04.3"
Ponto 10	-3.749035	-38.484281	3°44'56.5"	38°29'03.4"
Ponto 11	-3.748632	-38.484692	3°44'55.1"	38°29'04.9"
Ponto 12	-3.748434	-38.485271	3°44'54.4"	38°29'07.0"
Ponto 13	-3.748234	-38.485866	3°44'53.6"	38°29'09.1"
Ponto 14	-3.748079	-38.486506	3°44'53.1"	38°29'11.4"
Ponto 15	-3.747784	-38.487308	3°44'52.0"	38°29'14.3"
Ponto 16	-3.747589	-38.487993	3°44'51.3"	38°29'16.8"
Ponto 17	-3.747606	-38.488568	3°44'51.4"	38°29'18.8"
Ponto 18	-3.748303	-38.488898	3°44'53.9"	38°29'20.0"
Ponto 19	-3.748862	-38.489197	3°44'55.9"	38°29'21.1"
Ponto 20	-3.749019	-38.489550	3°44'56.5"	38°29'22.4"
Ponto 21	-3.748957	-38.489750	3°44'56.2"	38°29'23.1"

Para melhor compreensão e análise dos dados presentes nos gráficos, faz-se necessário ressaltar que o *ThingSpeak* permite acesso utilizando uma conta gratuita ou paga, e, para as referidas amostragens, foi utilizado a conta gratuita. Pode-se destacar as principais características da conta gratuita: o número de mensagens recebidas é de 3 milhões/ano ($\pm 8.200/\text{dia}$), o limite de intervalo de atualização de mensagens é de 15 segundos e o tempo limite de cálculo do MATLAB é de 20 segundos. Em posse de tais informações, apresentam-se os resultados:

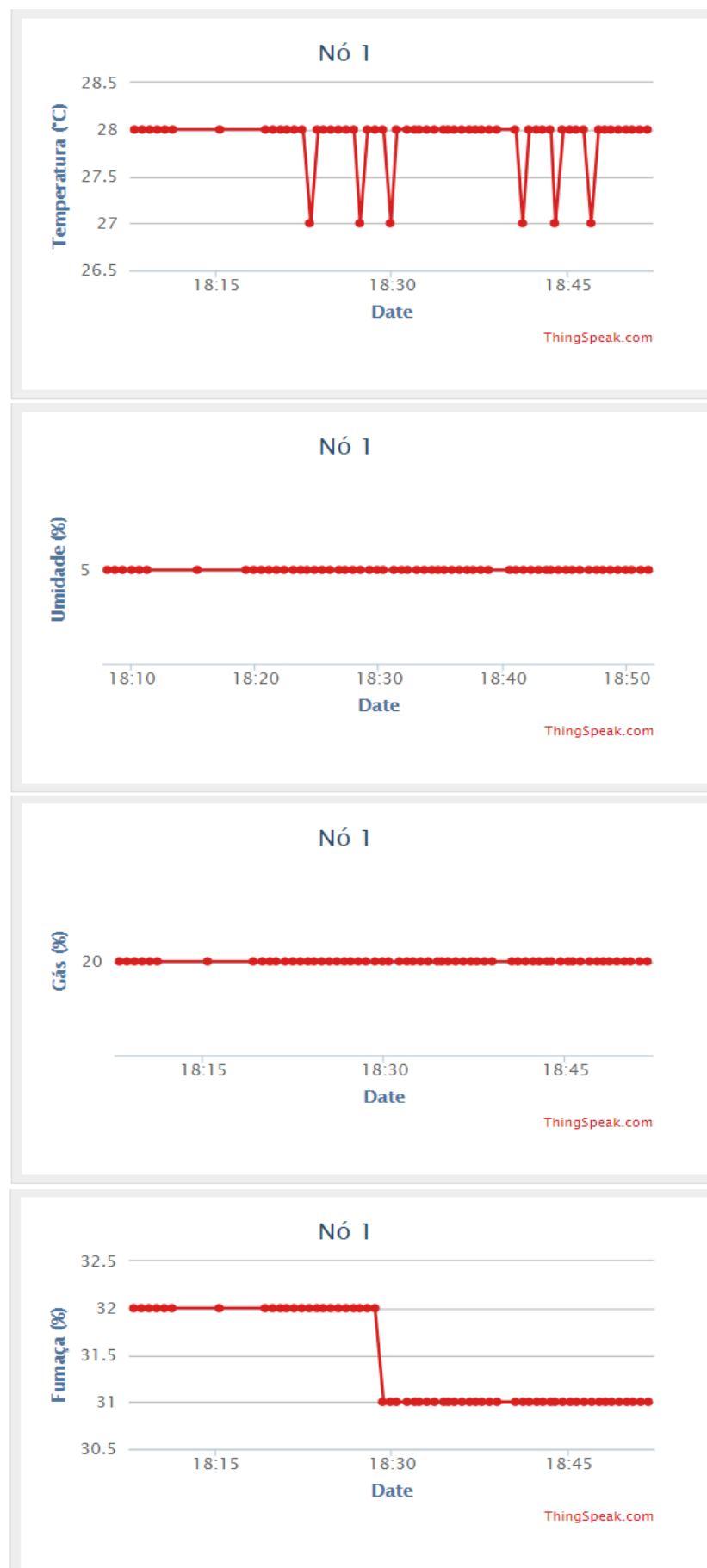


Figura 35: Teste de temperatura (grau Celsius), umidade, gás e fumaça do nó 1 em percentual. Fonte: O autor, 2018

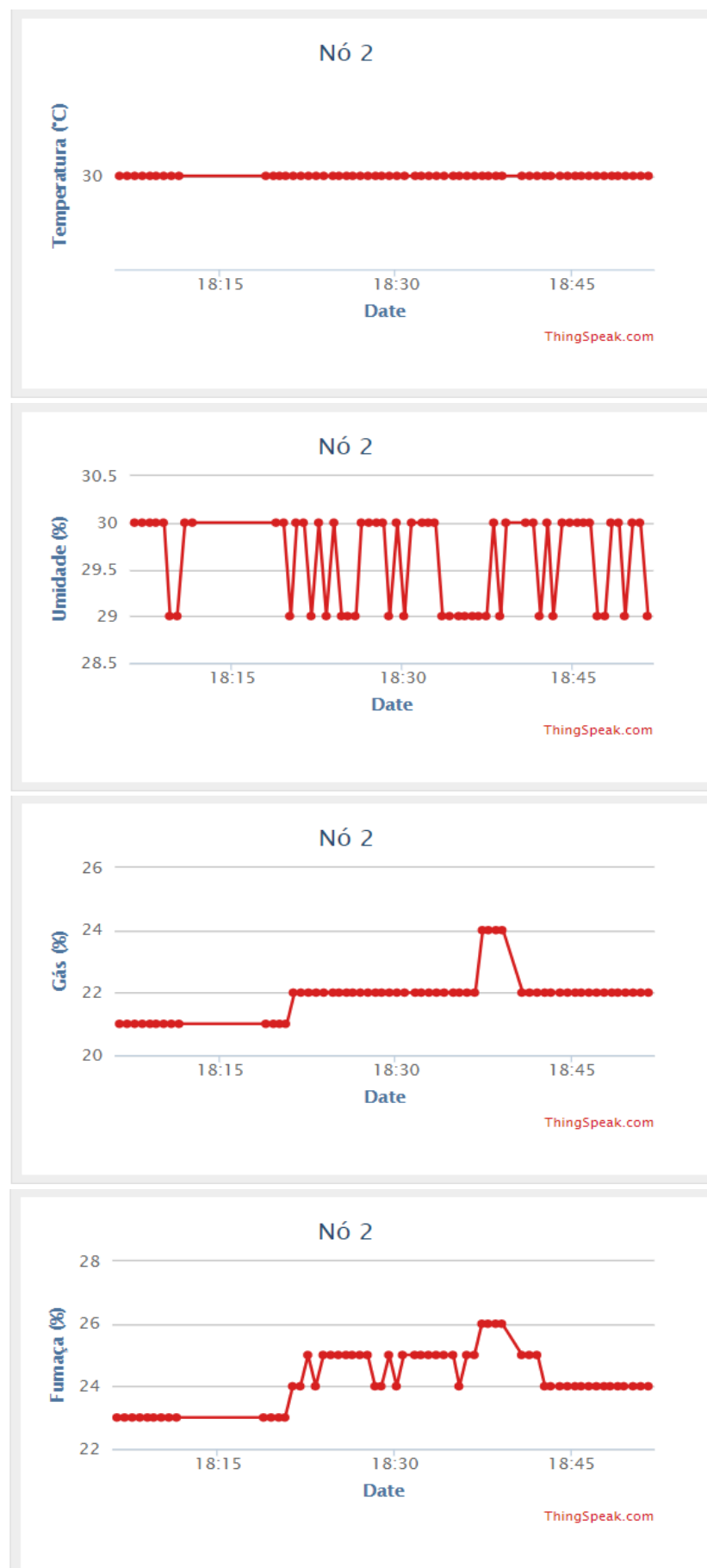


Figura 36: Teste de temperatura (grau Celsius), umidade, gás e fumaça do nó 2 em percentual. Fonte: O autor, 2018

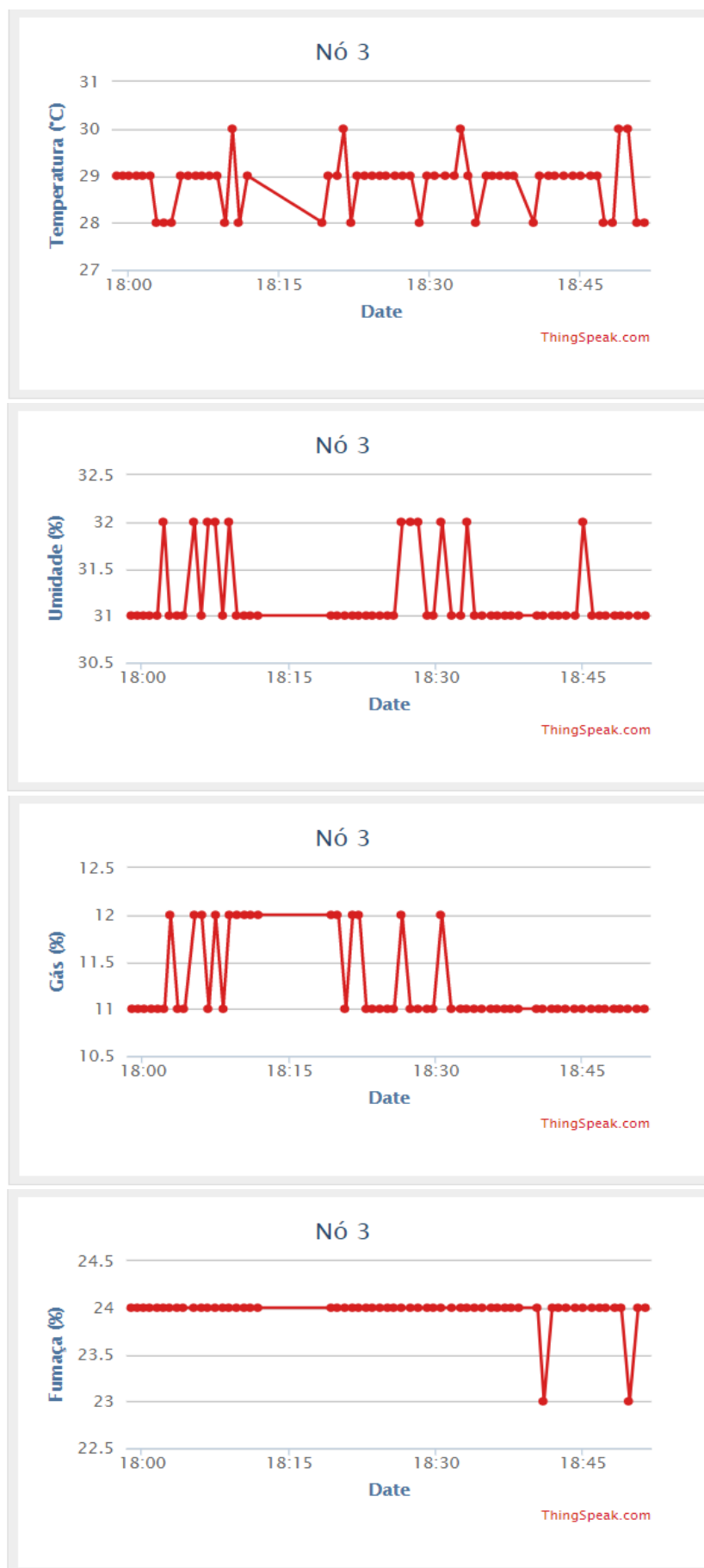


Figura 37: Teste de temperatura (grau Celsius), umidade, gás e fumaça do nó 3 em percentual. Fonte: O autor, 2018

Durante os testes realizados os nós 1, 2 e 3 receberam 7.679 (respectivamente, 3141, 2364, 2174) amostragens. Não houve interrupção do sistema, porém a comunicação GPRS do coordenador com a plataforma foi reiniciada algumas vezes, porém o tempo não ultrapassou 5 minutos sem o envio de dados. Foi realizado também o teste do sistema de alerta através das mensagens via SMS utilizando a tecnologia GSM. A Figura 38 mostra algumas dessas mensagens recebidas.

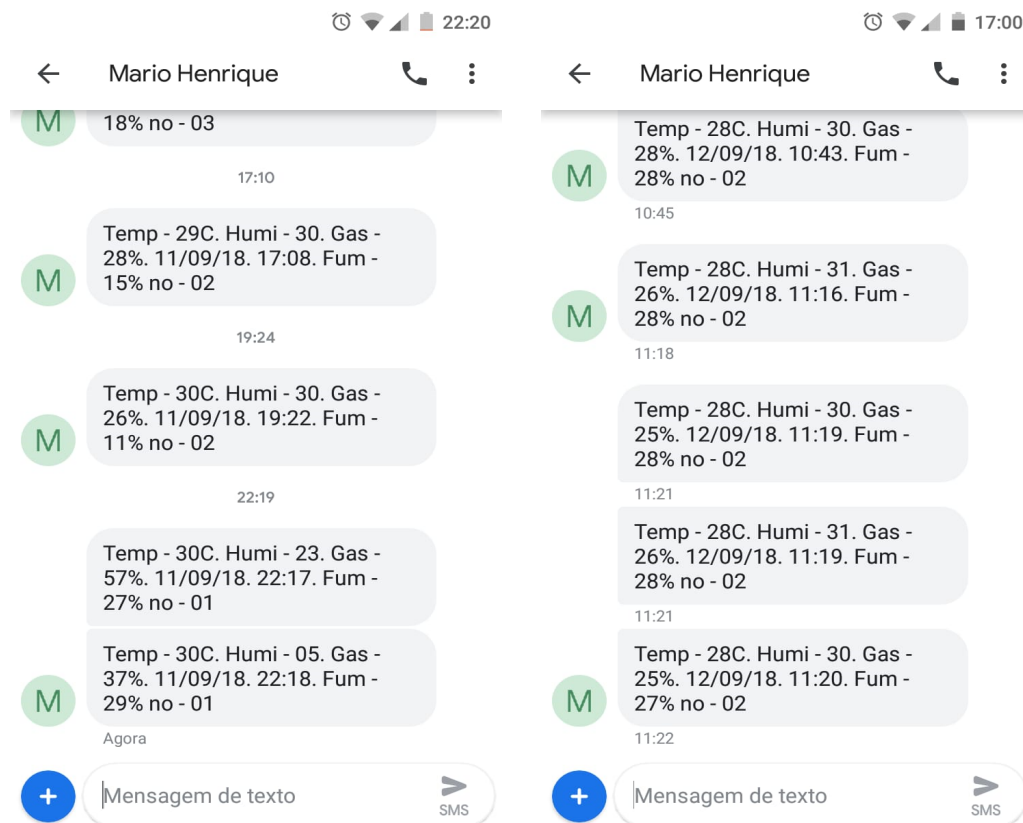


Figura 38: Teste do alerta - SMS. Fonte: O autor, 2018

4.6 Conclusão

Neste capítulo foram realizados experimentos de forma controlada para verificar a eficiência do sistema através da recepção dos seguintes dados: gases, temperatura, umidade, fumaça, *radio range test*, *throughput*, testes de rede em ambiente com e sem barreira. Além do teste realizado em campo, foi analisado também o envio de dados para a plataforma IoT e da rede móvel.

CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Neste trabalho foi apresentado um sistema para prevenir os incêndios florestais e monitoramento através de plataforma IoT.

Conforme os objetivos descritos nesta dissertação, o sistema foi projetado desde a escolha dos componentes até a programação do código existente no microcontrolador; foi desenvolvida uma mecânica de coleta de dados do meio ambiente, assim como também a metodologia adotada pelo coordenador para tratamento dos dados; o sistema foi testado, aplicado em laboratório e no ambiente proposto.

O uso do sistema GSM/GPRS apresentou-se como uma solução viável para a premissa de que não existe uma rede cabeada ou rede sem fio no meio da floresta. O GSM que fica acoplado ao coordenador ficará mais próximo de uma região que exista cobertura móvel e, dessa forma, enviará os dados coletados eficazmente.

Vale ressaltar que cada nó sensor foi desenvolvido com componentes de baixo custo, supondo-se que o sistema precisaria de uma grande quantidade de nós para poder cobrir toda a região. Outra solução para redução de custos com o sistema seria a utilização de uma tecnologia integrada e/ou dedicada, que dispensaria os componentes que não seriam utilizados e otimizaria o protótipo para uma versão comercializável.

Nos ensaios de laboratório, o protótipo funcionou como esperado, permitindo a aquisição de um grande conjunto de dados, que foram enviados via rede móvel para um dispositivo celular e para a plataforma IoT. A partir da análise dos dados obtidos e dos alertas, pode-se realizar procedimentos preventivos, corretivos e evasivos. Uma calibragem sensível foi feita nos sensores MQ-2 e MQ-135 para que sempre capturem a presença de gases e fumaça.

Os testes realizados em cada sensor corresponderam ao esperado; o teste de *radio* e *throughput* em campo aberto conseguiu um alcance maior chegando até 100 metros, onde, em local com barreira, o sinal sofria interferências acima de 40 metros, manteve a média de dados entre 1.73 a 2.91 kbps; a comunicação GSM/GPRS não apresentou falhas; não houve a realização dos testes com as baterias e as placas fotovoltaicas, uma vez que não

havia recursos; e, finalmente, a plataforma IoT *thingspeak* permaneceu por mais de 30 horas recebendo amostragens, não ficando mais de que 5 minutos sem receber dados. Desta forma, a plataforma correspondeu as expectativas.

Com base nos resultados obtidos, concluiu-se que o sistema de prevenção aos incêndios florestais apresenta uma ótima resposta, sendo capaz de se tornar um fator ímpar no combate a essas catástrofes ambientais. Com a rapidez do sistema GSM e atualmente o seu baixo custo, o protótipo executa seu objetivo como esperado.

5.1 Trabalho Futuros

Durante a elaboração, desenvolvimento e execução do projeto foram encontrados diversos problemas e possíveis soluções de melhoria. Uma problemática encontrada no decorrer do desenvolvimento do projeto e durante a realização dos testes, foi o uso de uma tecnologia com maior alcance de captura de dados e transmissão através do rádio. Devido a área de monitoramento normalmente ser grande, necessitaria de muitos nós sensores para cobrir toda essa região.

Através de um estudo prévio, podemos apontar como hipótese a utilização do LoRa. O LoRa é uma tecnologia de radiofrequência que permite comunicação a longas distâncias (em áreas urbanas 3 - 4 Km de alcance, e em áreas rurais, até 12 Km ou mais), com consumo mínimo de energia.

Suas principais aplicações são sistema de IoT (internet das coisas) como sensores e monitores remotos (pressão, luz, *on - off*, temperatura, . . .), sobretudo aqueles operados a bateria, de mensagens curtas e em alguns casos em locais de difícil acesso.

Fazendo uso do LoRaWAN, que é o protocolo que define a arquitetura do sistema, bem como os parâmetros de comunicação utilizando a tecnologia LoRa®.

O protocolo LoRaWAN implementa os detalhes de funcionamento, segurança, qualidade do serviço, ajustes de potência com o objetivo de maximizar a duração da bateria dos módulos e os tipos de aplicações, tanto do lado do módulo quanto do servidor.

Um segundo caso a ser implementado seria a utilização de um módulo GPS para auxiliar na geolocalização do nó sensor e agilizar a ação do corpo de bombeiros.

Referências Bibliográficas

ABNT. **NBR 15526**. 3. ed. Rio de Janeiro - RJ, 2012.

ALMEIDA, Marco Antônio FR de. Introdução ao lte–long term evolution. 2013.

AZEVEDO, T. **Roteamento ZigBee**. Rio de Janeiro - RJ: Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.

BARONTI, P.; PILLAI, P.; CHOOK, V. W. C.; CHESSA, S.; GOTTA, A.; HU, Y. F. *Wireless sensor networks: A survey on the state of art and the 802.15.4 and zigbee standards*. **Computer communication**, Elsevier, Elsevier, v. 30, n. 7, p. 1655–1695, 2007.

CARVALHO, F. B. S. de. **Implementação da Comunicação entre Sensores Sem Fio para Aplicações em Agricultura de Precisão**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Campina Grande - PB, Campina Grande, 2012.

CARVALHO, F. B. S. de; LEAL, B. G.; FILHO, J. V. S.; BAIOCCHI, O. R.; LOPES, W. T.; ALENCAR, M. S. Aplicações ambientais de redes de sensores sem fio. **Revista de Tecnologia da Informação e Comunicação**, RTIC, v. 2, n. 1, p. 14–19, 2012.

CRUZ, M. M. **Climaduino: Sistema Embarcado de Climatização para Edifícios Inteligentes**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Ceará - CE, Quixadá, 2013.

CULLER, David; HILL, Jason; HORTON, Mike. Mica: The commercialization of microsensor motes. 2002.

ESCHNER, R. H. **Sistema de Automação Residencial Baseado em Sensores ZigBee**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul - RS, Porto Alegre, 2011.

GARCIA, F. P. **EPMOST: um sistema de monitoramento passivo energeticamente eficiente para redes de sensores sem fio**. Fortaleza: [s.n.], 2014.

GASPARETTI, A. C. **Sensores de gás de dióxido de estanho**. Dissertação (Mestrado) — Universidade São Judas Tadeu, São Paulo, 2004.

IBAMA. **Investigação de Incêndios Florestais**. 2. ed. Brasília/DF, 2010.

INPE. **Banco de dados de Queimadas**. 2018. Disponível em: <<http://www.inpe.br/queimadas/bdqueimadas>>. Acesso em: 17-09-2018.

LICZNERSKI, B. *Thick-film gas microsensors based on tin dioxide*. **International Association of Hydrological Sciences Red Book**, BULLETIN OF THE POLISH ACADEMY OF SCIENCES TECHNICAL SCIENCES, v. 52, n. 1, p. 11–17, 2004.

MCROBERTS, M. **Beginning Arduino**. New York, USA: Apress, 2010.

MONSIGNORE, F. **Sensoriamento de ambiente utilizando o padrão**. São Carlos: [s.n.], 2007.

MORO, B. **Automação de sistema de irrigação de pastagem**. Cascavel: [s.n.], 2015.

NATIONAL SCIENCE FOUNDATION. **Sensors and Sensor Networks (Sensors)**. 2004. Disponível em: <<https://www.nsf.gov/pubs/2004/nsf04522/nsf04522.htm>>. Acesso em: 14-09-2018.

PENGEL, B. E.; KRZHIZHANOVSKAYA, V. V.; B., Melnikova N.; S., Shirshov G.; R., Koelewijn A.; PYAYT, A. L.; MOKHOV, I. I. *Flood Early Warning System: Sensors and Internet*. **International Association of Hydrological Sciences Red Book**, IAHS, v. 357, p. 445–453, 2013.

RUIZ, L. B. **Maná: uma arquitetura para gerenciamento de redes de sensores sem fio**. Belo Horizonte: [s.n.], 2003.

RUIZ, L. B.; CORREIA, L. H. A.; VIEIRA, L. F. M.; MACEDO, D. F.; NAKAMURA, E. F.; FIGUEIREDO, C. M. S.; VIEIRA, M. A. M.; BECHELANE, E. H.; CAMARA, D.; LOUREIRO, A. A. F. [et al]. *Arquiteturas para redes de sensores sem fio*. UFMG, 2004.

SANTOS, B. P.; SILVA, L. A. M.; CELES, C. S. F. S.; NETO, J. B. B.; PERES, B. S.; M., VIEIRA M. A.; M., VIEIRA L. F.; GOUSSEVSKAIA, O. N.; LOUREIRO, A. F. L. [et al]. *Internet das coisas: da teoria à prática*. UFMG, 2016.

SOLARBOTICS. **Arduino USB Board**. 2018. Disponível em: <<https://solarbotics.com/product/50450>>. Acesso em: 24-09-2018.

ZIGBEE. **ZigBee Wireless Networks**. 2010. Disponível em: <<http://zigbee.pbworks.com/w/page/25465049/ZigBeeStarNetwork>>. Acesso em: 17-09-2018.