



# Comunicação em ambiente *IoT* recorrendo a *LoRa* e *Sigfox*

João Campelo | 35413  
Leandro Costa | 35327  
11 de junho 2019

Documento elaborado no âmbito da disciplina de Laboratório de Projeto Integrado, para especificação e testes das tecnologias de comunicação *LoRa* e *Sigfox*, pelos alunos de Lic. Eng. Informática João Campelo (35413) e Leandro Costa (35327) da Universidade Fernando Pessoa.

Porto, 2019

Para análise e correção de:

Orientadores:

Prof. Pedro Sobral ( [pmsobral@ufp.edu.pt](mailto:pmsobral@ufp.edu.pt) )

Prof. Rui Moreira ( [rmoreira@ufp.edu.pt](mailto:rmoreira@ufp.edu.pt) )

Docente da disciplina LPJI:

Prof. Paulo Rurato ( [prurato@ufp.edu.pt](mailto:prurato@ufp.edu.pt) )

## Agradecimentos

A realização deste projeto de licenciatura contou com importantes apoios e incentivos sem os quais não se teria tornado realidade e aos quais estaremos eternamente gratos.

Ao Professor Doutor Pedro Sobral e ao Professor Rui Silva Moreira, pela vossa orientação, total apoio, disponibilidade, pelo conhecimento transmitido, pelas opiniões e críticas, total colaboração para esclarecer dúvidas que foram surgindo ao longo da realização deste trabalho.

Ao grupo de trabalho do ISUS, pela vossa total colaboração e disponibilidade para esclarecimento de dúvidas que foram surgindo ao longo da realização deste trabalho e por todas as palavras de incentivo.

Por último, tendo consciência que nada disto teria sido possível sozinhos, dirigimos um agradecimento especial aos nossos pais, pelo seu apoio incondicional e amizade e total esforço na superação dos obstáculos que ao longo desta caminhada académica foram surgindo. A eles dedicamos este trabalho.

# Índice

1.	Resumo .....	7
2.	Definições e Abreviaturas .....	7
3.	Introdução .....	7
3.1.	Contextualização .....	8
3.2.	Objetivo.....	8
3.3.	Planeamento .....	9
3.4.	Referências .....	9
4.	Descrição geral .....	10
4.1.	Lora .....	10
4.2.	The things network.....	11
4.3.	Sreading Factor .....	13
4.4.	Sigfox.....	14
4.5.	Sigfox Back-end .....	14
4.6.	LORA VS SIGFOX.....	16
5.	Material e procedimentos de montagem .....	17
5.1.	Hardware utilizado .....	17
5.2.	Montagem do material .....	17
6.	Processo de desenvolvimento .....	18
6.1.	Biblioteca LoPy .....	18
6.2.	Configuração da Gateway LoRa .....	19
6.3.	Configuração do nó LoRa.....	21
6.4.	Configuração do nó Sigfox .....	24
6.5.	Envio do pacote .....	26
6.6.	Deep Sleep.....	29
7.	Prova de conceito .....	30
7.1.	Metodologia dos testes .....	30
7.2.	abordagem de testes .....	30
7.2.1.	Teste 1 LoRa (Santuário Nossa Senhora da Assunção – Pingo Doce St. Tirso).....	30
7.2.2.	Teste 2 LoRa (Santuário Nossa Senhora da Assunção – Esmoriz) .....	34
7.2.3.	Teste 3 LoRa (Hospital Escola Fernando Pessoa – Viaduto (perto do estádio do Dragão) .....	36

7.2.4.	Teste 4 Sigfox (Vila Nova de Gaia) .....	38
7.2.5.	Teste 5 Sigfox (Paços de Ferreira).....	39
7.3.	Análise de resultados.....	40
8.	Contexto de aplicações.....	42
8.1.	Cidades inteligentes.....	42
8.2.	Aplicação em contextos reais .....	42
8.2.1.	Pré-venda de peixe .....	42
8.2.2.	Zonas agrónomas .....	43
8.2.3.	Localização de gado .....	43
9.	Requisitos .....	44
9.1.	Requisitos funcionais.....	44
9.2.	Requisitos não funcionais.....	44
10.	Manual do Utilizador .....	45
10.1.	Instalação e configuração do IDE.....	45
10.2.	Login no TTN .....	46
10.3.	Estrutura da Plataforma.....	47
10.4.	Applications .....	48
10.4.1.	Menu de Applications .....	48
10.4.2.	Criar Applications .....	48
10.4.3.	Visualizar Applications .....	49
10.4.4.	Dispositivos .....	50
10.4.5.	Decode de Payloads .....	53
10.4.6.	Integrations .....	54
10.4.7.	Dados.....	55
10.4.8.	Definições.....	55
11.	Abordagem Técnica.....	56
11.1.	Arquitetura da Aplicação.....	56
12.	<i>Logbook</i> .....	57
13.	Bibliografia.....	59

## Índice de Figuras

Figura 1 – Especificações técnicas e legais da comunicação LoRa por região.....	11
Figura 2 – Plataforma TTN .....	12
Figura 3 – Mapa de gateways públicas LoRa registadas no TTN.....	12
Figura 4 – Mapa de cobertura de gateways Sigfox.....	15
Figura 5 – Plataforma Sigfox Back-End .....	15
Figura 6 – Montagem da antena no Lopy4 .....	17
Figura 7 – Montagem do Lopy no Pysense.....	17
Figura 8 – Dados sobre a mensagem recebida pela gateway.....	26
Figura 9 – Payload Decoder do TTN .....	27
Figura 10 – Dados enviados por um nó LoRa .....	27
Figura 11 – Mensagens recebidas pela gateway Sigfox .....	28
Figura 12 – Configuração do Callback do Sigfox Back-End .....	28
Figura 13 – Receção das informações das mensagens Sigfox via Email.....	29
Figura 14 – Vista do Santuário Nossa Senhora da Assunção – Santo Tirso.....	30
Figura 15 – Distância entre os dois pontos do teste 1.....	31
Figura 16 – Vista do local de teste para o Santuário Nossa Senhora da Assunção .....	31
Figura 17 – Distância entre os dois pontos do teste 2 .....	34
Figura 18 – Distância entre os dois pontos do teste 1 .....	34
Figura 19 – Distância entre os dois pontos do teste 3.....	36
Figura 20 – Menu inicial do Atom.....	45
Figura 21 – Instalação da package Pymark .....	45
Figura 22 – Estado após instalação da package Pymark .....	46
Figura 23 – Menu de autenticação da plataforma TTN .....	46
Figura 24 – Menu inicial da plataforma TTN.....	47
Figura 25 –Menu de <i>Applications</i> do TTN.....	48
Figura 26 – Menu para criar uma <i>Application</i> .....	48
Figura 27 – Informações sobre uma <i>Application</i> .....	49
Figura 28 – Dispositivos (nós) de uma <i>Application</i> .....	50
Figura 29 – Criar um dispositivo (nó) .....	50
Figura 30 – Informações sobre um dispositivo(nó) .....	51
Figura 31 – Menu de visualização de mensagens enviadas por um nó.....	51

Figura 32 – Definições de um nó .....	52
Figura 33 – Menu de filtragem de payloads das mensagens.....	53
Figura 34 – Menu de integrações.....	54
Figura 35 – Menu de visualização de mensagens recebidas pela gateway .....	55
Figura 36 – Definições de uma gateway .....	55
Figura 37 – Arquitetura utilizada para comunicação LoRa .....	56
Figura 38 – Arquitetura utilizada para comunicação Sigfox .....	56

## 1. Resumo

LoRa e Sigfox são tecnologias de comunicação que permitem comunicar a longas distâncias e com um baixo consumo energético. As longas distâncias referidas não consistem em uns míseros metros, ou um par de quilómetros, mas sim, na gama de >20km. O presente documento procura testar a capacidade destas tecnologias em ambientes reais, uma prova de conceito.

## 2. Definições e Abreviaturas

Abreviatura	Definição
LoRa	Long Range
TTN	The Things Network
SF	Spreading Factor
RSSI	Received Signal Strength Indication
BD	Base de Dados
LPWAN	Low Power Wide Area Network
OTAA	Over The Air Authentication
API	Application Programming Interface
SNR	Relação sinal-ruído

## 3. Introdução

Atualmente a comunicação entre dispositivos não constitui um problema, existem diversas possibilidades distintas de formas de comunicação. Por exemplo, conectamo-nos à internet nos nossos smartphones utilizando rede 4G, conseguimos reproduzir músicas dos nossos smartphones numa coluna através de conexão *bluetooth*, num café perguntamos a *password* do *wifi* e conseguimos acesso à internet gratuito, entre outros. Acabamos de mencionar as formas de comunicação mais comuns e mais utilizadas no dia-a-dia. Porém, todas estas formas de comunicação mencionadas ou, por um lado, possuem longo alcance (caso do 4G), ou, por outro, baixo consumo energético (caso do *bluetooth*), mas nunca há um equilíbrio perfeito entre estas duas vertentes. Daí o aparecimento das tecnologias *LoRa* e *SigFox*. Este tipo de tecnologia consegue combinar o longo alcance com o baixo consumo energético.



### 3.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

Sabe-se, através das leis da física, que com um maior alcance de comunicação, maior será a potência necessária. O equilíbrio aparentemente perfeito entre longo alcance baixo consumo energético não constitui um “milagre”, estas tecnologias respeitam, obviamente, todas as leis da física. Mas de que forma? Usando um baixo bit rate. Sendo assim, as utilizações de tecnologias deste tipo aplicam-se a casos específicos que não necessitem de atualização de dados com elevada frequência ou em tempo real. Podem então ser aplicados em alguns contextos de *IoT*. Concretamente, inicialmente foi idealizado o contexto de medições das condições ambientais para controlo de condições ideais. Utilizando sensores adequados espalhados em pontos estratégicos de, por exemplo, plantações, medem-se valores como a temperatura e humidade e é possível perceber as necessidades das plantações no momento. Isto evita as constantes deslocações ao local em questão para a verificação das plantações. Os valores lidos pelos sensores são apresentados ao utilizador utilizando uma *API* (tal como o The Things Network). Este contexto idealizado é apenas um exemplo de aplicação desta tecnologia, é importante salientar que as possibilidades de aplicação são incontáveis.

### 3.2. OBJETIVO

O objetivo principal deste trabalho é efetuar um estudo das capacidades destas tecnologias e implementar uma topologia de rede composta por equipamentos terminais e uma *gateway LoRa* (no caso de *LoRa*) com ligação à Internet. Para *Sigfox* não existe necessidade de configuração de uma *gateway*, uma vez que a *Sigfox* tem ao nosso dispor *gateways* espalhadas pelo território. A ideia é trabalhar com uma plataforma de hardware equipada com rádios *LoRa/Sigfox* para efetuar testes de conectividade e alcance e aplicar esta tecnologia num cenário *IoT*.

### 3.3. PLANEAMENTO

Tarefa	Duração	Início	Conclusão
Reunião com Coordenadores	30min	27/02/2019	27/02/2019
Recolha de informação sobre <i>LoRa</i>	10h	27/02/2019	7/02/2019
Recolha de <i>papers</i> relativos a <i>LoRa</i>	15h	27/02/2019	7/03/2019
Apresentação da informação recolhida aos Coordenadores	1h	7/03/2019	7/03/2019
Ajuste da proposta	3h	08/03/2019	10/03/2019
Estudo da tecnologia <i>LoRa</i>	8h	08/03/2019	28/03/2019
Definição de arquitetura	4h	28/03/2019	28/03/2019
Planeamento dos locais de teste	3h	29/03/2019	30/03/2019
Início do Relatório	18h	31/03/2019	11/04/2019
Implementação de código	20h	11/04/2019	21/04/2019
Registo dos dispositivos no TTN	2h	22/04/2019	23/04/2019
Implementação da BD	1h	23/04/2019	24/04/2019
Implementação de Código e Ajustes	20h	25/04/2019	16/05/2019
Reunião com Coordenadores	1h	16/05/2019	16/05/2019
Testes de <i>LoRa</i>	10h	16/05/2019	21/05/2019
Registo dos dispositivos no <i>Sigfox Back-end</i>	1h	06/06/2019	06/06/2019
Implementação de código para <i>Sigfox</i>	3h	20/05/2019	06/06/2019
Teste de <i>Sigfox</i>	2h	06/06/2019	09/06/2019
Continuação do relatório		11/06/2019	/06/2019

### 3.4. REFERÊNCIAS

K. Phung, H. Tran, Q. Nguyen, T. T. Huong and T. Nguyen, "Analysis and assessment of LoRaWAN," 2018 2nd International Conference on Recent Advances in Signal Processing, Telecommunications & Computing (SigTelCom), Ho Chi Minh City, 2018, pp. 241-246.

A. Lavric and V. Popa, "Internet of Things and LoRa™ low-power wide-area networks challenges," 2017 9th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI), Targoviste, 2017, pp. 1-4.

## 4. Descrição geral

### 4.1. LORA

*LoRa* (Long Range) é uma tecnologia de comunicação rádio que permite alcançar longas distâncias aliado a um baixo consumo energético. Esta tecnologia foi desenvolvida pelo *Cycleo of Grenoble* e adquirida pela *Samtech* em 2012.

O problema comum das tecnologias de comunicação a longa distância tende a ser o elevado consumo energético, pois, de facto, segundo as leis da física, para um maior alcance de uma onda rádio, maior terá de ser a energia de transmissão para que o sinal não seja degradado pelo caminho e se garanta receção do sinal.

Comparando com as tecnologias existentes que todos bem conhecemos e usamos, por exemplo, a rede 4G, *Bluetooth*, ou estações rádio AM, algumas destas tecnologias possuem relativamente bom alcance, como é o caso da rede 4G e estações de rádio AM, porém exigem um elevado consumo energético. Também existem comunicações com baixo consumo, tal como o *Bluetooth*, contudo esta apenas permite alcance de alguns metros.

*LoRa* propõe resolver esse paradigma juntando a comunicação a longa distância com o baixo consumo energético.

Este equilíbrio aparentemente perfeito tem obviamente uma explicação de acordo com as leis da física. Apesar de maior alcance de comunicação exigir maior potência de transmissão, existem outras variáveis que podem equilibrar esta fórmula. Para que seja possível o longo alcance e baixo consumo energético *LoRa* faz uso de uma pequena largura de banda. A diminuição da largura de banda diminui também a capacidade dos canais de comunicação, o que faz com que *LoRa* tenha um baixo *bit rate*. O facto de usar uma pequena largura de banda faz com que o dispositivo recetor apenas tenha de ouvir uma pequena zona do espectro e desta forma mitiga o efeito de ruído.

Este tipo de tecnologia de comunicação foi então pensado para contextos (*IoT*) específicos em que não seja necessária atualização de dados em tempo real, mas sim periodicamente.

*LoRa* é uma tecnologia completamente gratuita e *open source*, sem necessidade de um serviço pago de subscrições. Porém, para a implementação de uma topologia nossa é necessária posse de um dispositivo que funcione como *gateway*, configurada pelo utilizador.

A *gateway* depois de configurada irá receber dados dos dispositivos terminais (nós) e envia esses dados para um servidor, como por exemplo o *The Things Network* (TTN), que foi o escolhido no contexto deste projeto.

Especificações técnicas e legais da comunicação *LoRa* por região:

	Europe	North America	China	Korea	Japan	India
Frequency band	867-869MHz	902-928MHz	470-510MHz	920-925MHz	920-925MHz	865-867MHz
Channels	10	64 + 8 + 8	In definition by Technical Committee	In definition by Technical Committee	In definition by Technical Committee	In definition by Technical Committee
Channel BW Up	125/250kHz	125/500kHz				
Channel BW Dn	125kHz	500kHz				
TX Power Up	+14dBm	+20dBm typ (+30dBm allowed)				
TX Power Dn	+14dBm	+27dBm				
SF Up	7-12	7-10				
Data rate	250bps-50kbps	980bps-21.9kbps				
Link Budget Up	155dB	154dB	In definition by Technical Committee	In definition by Technical Committee	In definition by Technical Committee	In definition by Technical Committee
Link Budget Dn	155dB	157dB				

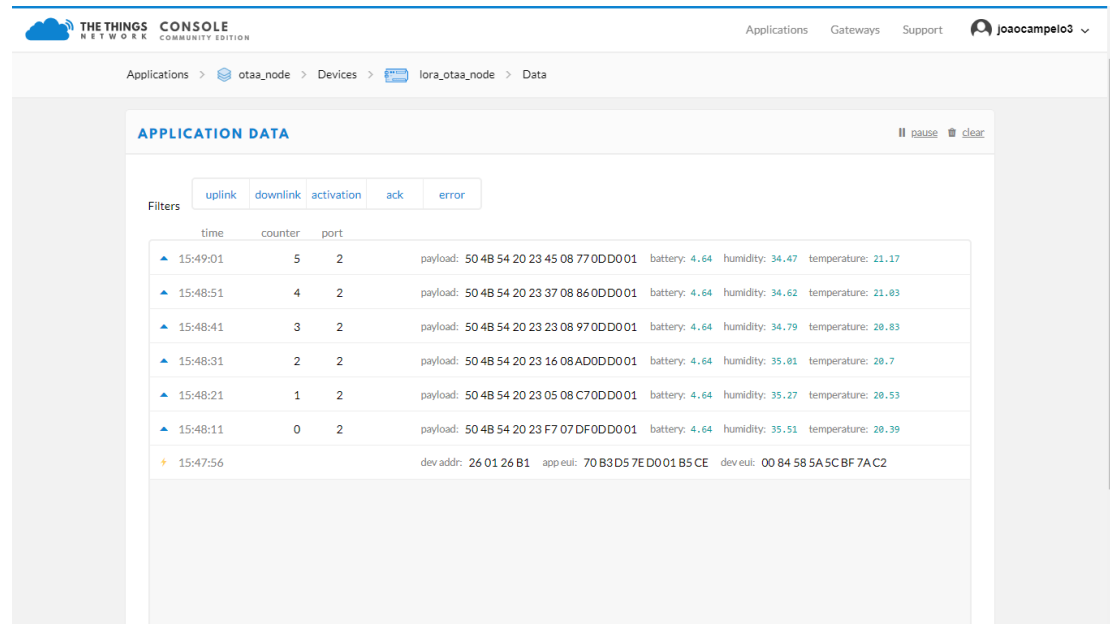
Figura 1 – Especificações técnicas e legais da comunicação *LoRa* por região

## 4.2. THE THINGS NETWORK

A plataforma *The Things Network* pode ser não só utilizada como servidor da nossa *gateway*, mas também funciona como uma comunidade onde é possível registarmos uma *gateway* e torná-la pública para que outros a possam utilizar. Porém, ao utilizar uma *gateway* pública, uma vez que pertence a um outro utilizador, não existem garantias de que o utilizador não a irá desligar a qualquer momento. Portanto, para haver garantia de disponibilidade por parte de uma *gateway* a única alternativa é configurar a nossa própria *gateway* e torná-la como privada, desta forma temos total controlo do seu funcionamento.

O TTN é uma plataforma excelente para quem faz uso da tecnologia *LoRa*, é possível registar os dispositivos, é possível criar o nosso próprio *decoder*

para a descodificação das mensagens enviadas, visualizar todos os dados enviados, reencaminhá-los para uma base de dados, etc.



**APPLICATION DATA** pause clear

Filters: uplink downlink activation ack error

time	counter	port	payload
15:49:01	5	2	payload: 50 4B 54 20 23 45 08 770DD001 battery: 4.64 humidity: 34.47 temperature: 21.17
15:48:51	4	2	payload: 50 4B 54 20 23 37 08 860DD001 battery: 4.64 humidity: 34.62 temperature: 21.83
15:48:41	3	2	payload: 50 4B 54 20 23 23 08 970DD001 battery: 4.64 humidity: 34.79 temperature: 20.83
15:48:31	2	2	payload: 50 4B 54 20 23 16 08 AD0DD001 battery: 4.64 humidity: 35.01 temperature: 20.7
15:48:21	1	2	payload: 50 4B 54 20 23 05 08 C70DD001 battery: 4.64 humidity: 35.27 temperature: 20.53
15:48:11	0	2	payload: 50 4B 54 20 23 F7 07 DF0DD001 battery: 4.64 humidity: 35.51 temperature: 20.39
15:47:56			dev addr: 26 01 26 B1 app eui: 70 B3 D5 7E D0 01 B5 CE dev eui: 00 84 58 5A 5C BF 7A C2

Figura 2 – Plataforma TTN

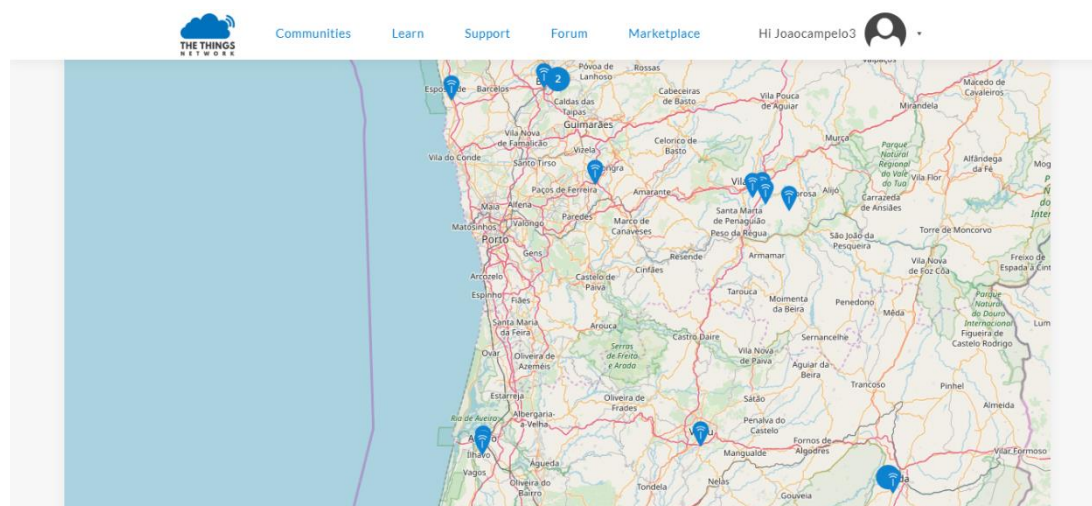


Figura 3 – Mapa de gateways públicas LoRa registadas no TTN

### 4.3. SPREADING FACTOR

A melhor qualidade de sinal ocorre quando o nó e a *gateway* estão próximos e sem obstáculos entre si. A atenuação aumenta à medida que a distância entre a *gateway* e nó aumenta, até que, eventualmente, o sinal recebido já não é mais perceptível.

Pode-se fazer uma analogia com duas pessoas a tentar falar uma com a outra. Imaginemos que estão numa festa barulhenta, a solução para que as duas pessoas consigam perceber o que a outra diz é falar mais devagar e claramente. Esta é também a abordagem utilizada por LoRa, através do Spreading Factor (SF). O SF varia entre 7 e 12, em que 7 é utilizado em casos em que a *gateway* esteja relativamente próxima, corresponde então à fala normal entre pessoas próximas, e à medida que se aumenta a distância, se o sinal já não for recetível com um SF de 7, aumenta-se este para 8. Um SF de 12 significa que os dispositivos vão “conversar” mais devagar, para que a mensagem seja perceptível. É importante salientar que é obviamente preferível um SF o menor possível, pois quando menor o SF, maior é o *data rate*, ou seja, mais rapidamente são enviadas/recebidas as mensagens.

#### 4.4. SIGFOX

*Sigfox* é uma tecnologia de comunicação que segue os mesmos princípios básicos de *LoRa* no que diz respeito ao objetivo comum de obter longas distâncias de comunicação aliadas a um baixo consumo. Segue então a mesma abordagem de reduzir a *bandwidth* utilizada tendo assim também um baixo bit rate, o que significa que as mensagens enviadas através desta tecnologia terão de ter um tamanho relativamente pequeno.

*Sigfox* é uma operadora de redes francesa fundada em 2009 por Ludovic Le Moan e Christophe Fourtet.

Esta tecnologia de comunicação faz uso de um serviço de subscrição em que nos garante acesso a uma quantidade de *gateways* ao nosso dispor espalhadas pelo mundo.

Para a criação de uma topologia apenas são necessários dispositivos terminais (nós), uma vez que as *gateways* são-nos fornecidas pela própria *Sigfox*.

Todos os dados enviados pelos nós podem ser visualizados numa plataforma chamada *Sigfox Back-end*, que possui um funcionamento semelhante ao TTN. Nesta plataforma é também possível visualizar as zonas de cobertura das *gateways Sigfox* e averiguar se estamos localizados numa zona de boa cobertura ou não.

#### 4.5. SIGFOX BACK-END

O *Sigfox Back-End* pode ser visto como o TTN para *Sigfox*. Esta plataforma permite também registar os dispositivos e visualizar as mensagens enviadas por estes, de forma semelhante ao TTN. No site oficial da *Sigfox* é possível visualizar o mapa de cobertura das *gateways Sigfox* e então verificar se numa certa área em questão é possível a comunicação usando *Sigfox*.

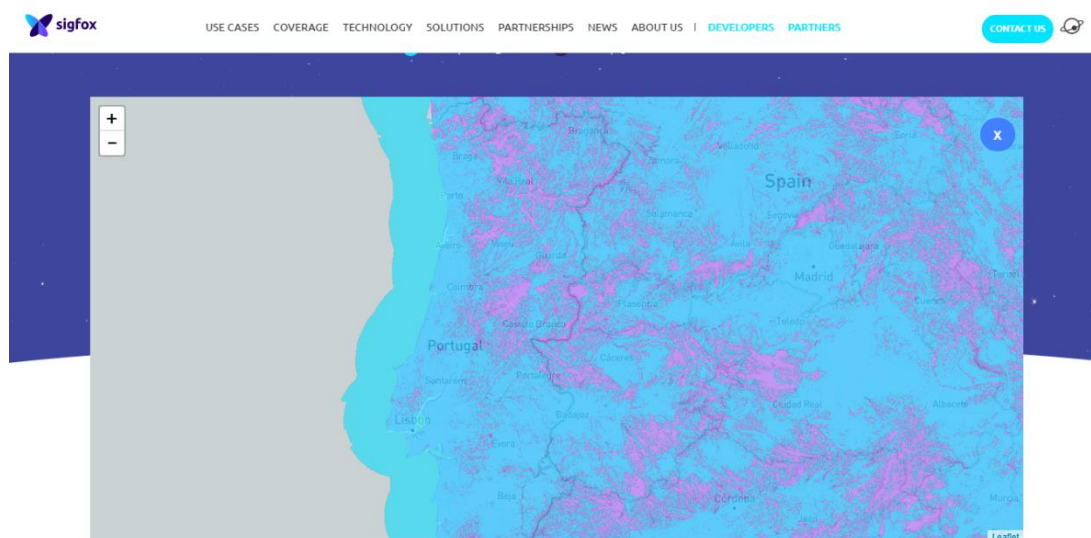


Figura 4 – Mapa de cobertura de gateways Sigfox

Time	Data / Decoding	LQI	Callbacks	Location
2019-06-09 18:40:46	0102030405060708090a0b0c	100	1	Location 1
2019-06-09 18:39:27	0102030405060708090a0b0c	100	1	Location 2
2019-06-09 18:39:11	0102030405060708090a0b0c	100	1	Location 3
2019-06-09 18:39:01	0102030405060708090a0b0c	100	1	Location 4
2019-06-09 18:37:47	0102030405060708090a0b0c	100	1	Location 5
2019-06-05 22:54:18	0102030405060708090a0b0c	100	1	Location 6

Figura 5 – Plataforma Sigfox Back-End



#### 4.6. LORA VS SIGFOX

*LoRa* e *Sigfox* são bastante semelhantes na sua essência. Ambas são *LPWAN* (*Low Power Wide Area Network*), ambas procuram obter longas distâncias de comunicação e baixo consumo energético utilizando o mesmo princípio, mas as diferenças verificam-se principalmente na forma de como se utilizam as *gateways*.

No caso de *LoRa*, é completamente gratuito, mas para haver garantia de disponibilidade de *gateways*, é necessário que o utilizador tenha posse da sua própria *gateway*. No caso de *Sigfox*, este é um serviço pago, mas temos acesso livre a *gateways* da própria *Sigfox*, não existe o incómodo de ser necessário colocar e configurar as nossa próprias *gateways* para todos os locais em que queiramos usar tecnologias *LPWAN*.

Pode-se então dizer que comparando estas duas tecnologias de comunicação, *LoRa* tem como vantagens o facto de ser gratuito e como desvantagens o facto de haver necessidade de configurar a nossa própria *gateway* em todos os locais de aplicação. *Sigfox* tem como vantagem o facto de existirem *gateways* ao nosso dispor em diversas localizações e de não termos de as configurar, e como desvantagens o facto de ser um serviço pago, e nos casos de estarmos numa zona sem cobertura não há muito mais a fazer, a solução seria usar uma *gateway LoRa* no local sem cobertura *Sigfox*.

## 5. Material e procedimentos de montagem

### 5.1. HARDWARE UTILIZADO

- Lopy4: é uma *development board* baseada num CPU ESP<sub>32</sub> e possui 4Mb de RAM e 8 Mb de Flash. Esta placa é a única ou das poucas placas que oferece 4 diferentes tipos de comunicação (LoRa, Sigfox, Wifi, Bluetooth);
- Pysense: é uma *expansion board* que fornece vários sensores, tais como sensor de luz ambiente, barómetro, acelerómetro, sensor de humidade e temperatura;
- Antena;
- Bateria.

### 5.2. MONTAGEM DO MATERIAL

Montagem da antena no Lopy4:

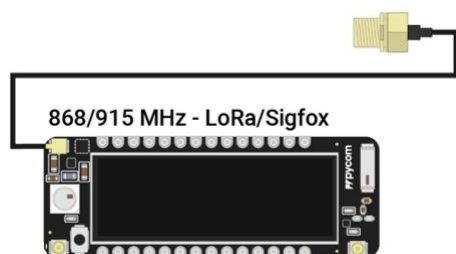


Figura 6 – Montagem da antena no Lopy4

Montagem do Lopy4 no Pysense:



Figura 7 – Montagem do Lopy no Pysense

## 6. Processo de desenvolvimento

### 6.1. BIBLIOTECA LOPY

Para a configuração dos dispositivos utilizados recorreu-se às bibliotecas fornecidas pela *Pycom*, fornecedor do *Lopy4* e *Pysense*.

Para comunicação *LoRa*, foram utilizadas as bibliotecas “nanogateway” para configurar a *gateway*.

Para ambas as comunicações, os nós utilizam as seguintes bibliotecas:

- “*deepsleep*”: permite ao nó consumir menor quantidade de energia durante um longo período de tempo;
- “*pysense*”: permite o nó aceder aos sensores do *Pysense*;
- “*pycoproc*”: biblioteca auxiliar da biblioteca *Pysense*;
- “*SI7006A20*”: permite a utilizar o sensor *SI7006A20* presente no *Pysense* e recolher informação deste sensor;

## 6.2. CONFIGURAÇÃO DA GATEWAY LORA

Ficheiro config.py:

```
""" Authors: João Campelo & Leandro Costa """

import machine
import ubinascii

WIFI_MAC = ubinascii.hexlify(machine.unique_id()).upper()

# definir a Gateway ID pelos primeiros 3 bytes do endereço MAC +
'FFFE' + os últimos 3 bytes do endereço MAC
GATEWAY_ID = WIFI_MAC[:6] + "FFFE" + WIFI_MAC[6:12]

SERVER = 'router.eu.thethings.network'
PORT = 1700

NTP = "pool.ntp.org"
NTP_PERIOD_S = 7300

WIFI_SSID = UFP-Wifi'
WIFI_PASS = '12345'

# for EU868
LORA_FREQUENCY = 868100000
LORA_GW_DR = "SF12BW125"
```

O ficheiro config.py foi utilizado para a declaração de variáveis (macros) a serem utilizadas no ficheiro main.py.

Ficheiro main.py:

```
""" Authors: João Campelo & Leandro Costa """

import config
from nanogateway import NanoGateway

if __name__ == '__main__':
    nanogw = NanoGateway(
        id=config.GATEWAY_ID,
        frequency=config.LORA_FREQUENCY,
        datarate=config.LORA_GW_DR,
        ssid=config.WIFI_SSID,
        password=config.WIFI_PASS,
        server=config.SERVER,
        port=config.PORT,
        ntp_server=config.NTP,
        ntp_period=config.NTP_PERIOD_S
    )

    nanogw.start()
    nanogw._log('You may now press ENTER to enter the
    REPL')
    input()
```

Para inicializar a *gateway*, utilizou-se o ficheiro `nanogateway.py`, presente na biblioteca *Pycom*, para criar uma instância de `NanoGateway` usando as variáveis declaradas no ficheiro `config.py`.

### 6.3. CONFIGURAÇÃO DO NÓ LORA

Ficheiro config.py:

```
""" Authors: João Campelo & Leandro Costa """

import machine
import binascii

WIFI_MAC =
binascii.hexlify(machine.unique_id()).upper()

# for EU868
LORA_FREQUENCY = 868100000
LORA_NODE_DR0 = 0
LORA_NODE_DR1 = 1
LORA_NODE_DR2 = 2
LORA_NODE_DR3 = 3
LORA_NODE_DR4 = 4
LORA_NODE_DR5 = 5
```

Neste ficheiro, declararam-se as variáveis a utilizar no ficheiro main.py. Sendo “LORA\_FREQUENCY” a variável que determina a frequência do sinal a emitir pelo nó e “LORA\_NODE\_DRx” a variável que determina o *data rate* do sinal a emitir, sendo que x varia entre os valores 0 e 12 (ver a tabela abaixo).

Value	Data Rate	Configuration	Spreading Factor
0	DR_0	SF12BW125	12
1	DR_1	SF11BW125	11
2	DR_2	SF10BW125	10
3	DR_3	SF9BW125	9
4	DR_4	SF8BW125	8
5	DR_5	SF7BW125	7

## Ficheiro main.py:

```
""" Authors: João Campelo & Leandro Costa """
from network import LoRa
from pysense import Pysense
from SI7006A20 import SI7006A20
import socket
import binascii
import struct
import time
import config
import pycom

py = Pysense()
si = SI7006A20(py)
pycom.heartbeat(False)
pycom.rgbled(ox7foooo) # red

# definir a ligação LoRa do tipo LoRaWAN
lora = LoRa(mode=LoRa.LORAWAN, region=LoRa.EU868)

# cria parametros para autenticação OTAA
dev_eui = binascii.unhexlify('    (1)    ')
app_eui = binascii.unhexlify('    (1)    ')
app_key = binascii.unhexlify('    (1)    ')

# definir 3 canais de comunicação com a mesma frequência
lora.add_channel(0, frequency=config.LORA_FREQUENCY, dr_min=0, dr_max=5)
lora.add_channel(1, frequency=config.LORA_FREQUENCY, dr_min=0, dr_max=5)
lora.add_channel(2, frequency=config.LORA_FREQUENCY, dr_min=0, dr_max=5)

# definir o spreading factor/data rate para 125kHz de largura de banda
SF=config.LORA_NODE_DRo

while True:

    # cria ligação à gateway e servidor usando OTAA
    lora.join(activation=LoRa.OTAA, auth=(dev_eui, app_eui, app_key), timeout=0, dr=SF)

    # espera até o módulo esteja conetado à internet
    while not lora.has_joined():
        time.sleep(2.5)
        print('Not joined yet...')

    pycom.rgbled(oxoo7foo) # green
```

(1) -> credenciais únicos fornecidos pelo TTN

```

    # remove todos os canais não utilizados
for i in range(3, 16):
    lora.remove_channel(i)
# cria uma socket para LoRa
s = socket.socket(socket.AF_LORA, socket.SOCK_RAW)
# definir a LoRaWAN com o data rate anteriormente estabelecido
s.setsockopt(socket.SOL_LORA, socket.SO_DR, SF)
# definir o socket como non-blocking
s.setblocking(False)

time.sleep(5.0)

while (True):
    t_ambient=si.temperature()
    humidity= si.humidity()
    pkt=b"+int((t_ambient-7)*100).to_bytes(2, 'little')+int(humidity *100).to_bytes(2, 'little')
    print('Sending:', pkt)
    #socket envia a mensagem criada
    s.send(pkt)

    time.sleep(5)

    pycom.heartbeat(True)
    pycom.heartbeat(False)
    # coloca o módulo em modo deepsleep
    py.setup_sleep(7200)
    py.go_to_sleep()
    pycom.heartbeat(True)
    pycom.heartbeat(False)
    pycom.rgblcd(0x007foo)

```

Inicialmente, declarou-se uma instância da classe *Pysense* e outra da *SI7006A20* que permite o dispositivo recolher dados através do sensor *SI7006A20* do *Pysense*. Seguidamente, configurou-se a ligação que o nó irá estabelecer entre este nó e a sua *gateway* / suas *gateways*. Esta ligação será do tipo *LoRaWan* e configurada com a região EU868. Esta região define a frequência do sinal como 868MHz e limitando o SF entre 7 e 12, consequentemente, limitando o *data rate* do sinal. Como o nó se encontra registado no TTN, declarou-se 3 variáveis que contém informação para permitir o nó autenticar-se e estabelecer uma ligação entre ele e a *gateway*. De seguida, estabeleceu-se o SF pretendido e a ligação entre o nó e a *gateway* cuja autenticação é OTAA, passando os parâmetros de autenticação e definindo o SF pretendido. Por fim, foi criado um *socket* da família *LoRa* e non-blocking, sendo o seu *data rate* igual ao *data rate* estabelecido na ligação *LoRa*.



#### 6.4. CONFIGURAÇÃO DO NÓ SIGFOX

```
from network import Sigfox
from pysense import Pysense
from SI7006A20 import SI7006A20
import socket
import binascii
import struct
import time
import pycom

py = Pysense()
si = SI7006A20(py)

# definir a ligação Sigfox para RCZ1 (Europa)
sigfox = Sigfox(mode=Sigfox.SIGFOX, rcz=Sigfox.RCZ1)

# cria uma socket para Sigfox
s = socket.socket(socket.AF_SIGFOX, socket.SOCK_RAW)

# definir o socket como non-blocking
s.setblocking(False)

# configurar o socket apenas para uplink
s.setsockopt(socket.SOL_SIGFOX, socket.SO_RX, False)

for i in range(5):
    t_ambient=si.temperature()
    humidity= si.humidity()
    pkt=b"+int((t_ambient-7)*100).to_bytes(2, 'little')+int(humidity *100).to_bytes(2, 'little')
    s.setblocking(60)
    s.setblocking(True)
    print('Sending:', pkt)
    s.send(pkt)
    time.sleep(5)

# coloca o módulo em modo deepsleep
py.setup_sleep(7200)
py.go_to_sleep()
```

A configuração do nó *Sigfox* é muito semelhante à configuração do nó *LoRa*, existindo apenas pequenas diferenças. A ligação que este nó vai estabelecer é do tipo *Sigfox RCZ1*:

	Frequency range (MHz)	Radio Configuration	Zones
Zone 1	862-876	RCZ1	Europe, Oma and South Africa

```
# definir a ligação Sigfox para RCZ1 (Europa)
sigfox = Sigfox(mode=Sigfox.SIGFOX, rcz=Sigfox.RCZ1)
```

Seguidamente, criou-se um *socket* da família *Sigfox* e do tipo *Sigfox*. O *socket* foi definido como non-blocking e configurado apenas para enviar mensagens.

```
# cria uma socket para Sigfox
s = socket.socket(socket.AF_SIGFOX, socket.SOCK_RAW)

# definir o socket como non-blocking
s.setblocking(False)

# configurar o socket apenas para uplink
s.setsockopt(socket.SOL_SIGFOX, socket.SO_RX, False)
```

## 6.5. ENVIO DO PACOTE

```
for i in range(5):
    t_ambient=si.temperature()
    humidity= si.humidity()
    pkt=b"+int((t_ambient-7)*100).to_bytes(2, 'little')+int(humidity *100).to_bytes(2, 'little')
    s.setblocking(60)
    s.setblocking(True)
    print('Sending:', pkt)
    s.send(pkt)
    time.sleep(5)
```

Para qualquer tipo de nós, *LoRa* ou *Sigfox*, enviam a mesma informação para as suas *gateways*. Neste caso, os nós recolhem informações dos sensores do *Pysense* e essas informações são recolhidas, agregadas numa *string* e enviadas a partir do respetivo *socket*.

Na comunicação *LoRa*, os nós, ao enviar a informação recolhida nos seus sensores, também enviam a informação dos indentificadores para a *gateway*. De seguida, a *gateway* irá transmitir essa informação juntamente com os dados relativos receção da mensagem (RSSI,SNR,Tempo,etc...) para o servidor.

```
5  "lora": {
6      "spreading_factor": 12,
7      "bandwidth": 125,
8      "air_time": 1482752000
9  },
10 "coding_rate": "4/5",
11 "timestamp": "2019-06-10T14:49:01.842Z",
12 "rssi": -36,
13 "snr": 6,
14 "dev_addr": "260126B1",
15 "frequency": 868100000
```

Figura 8 – Dados sobre a mensagem recebida pela gateway

O TTN permite filtrar a mensagem enviada pela *gateway* ao servidor com recurso ao *decoder* de *payloads*, obtendo assim a informação enviada pelo nó à *gateway*. Tal como podemos observar nas imagens abaixo:

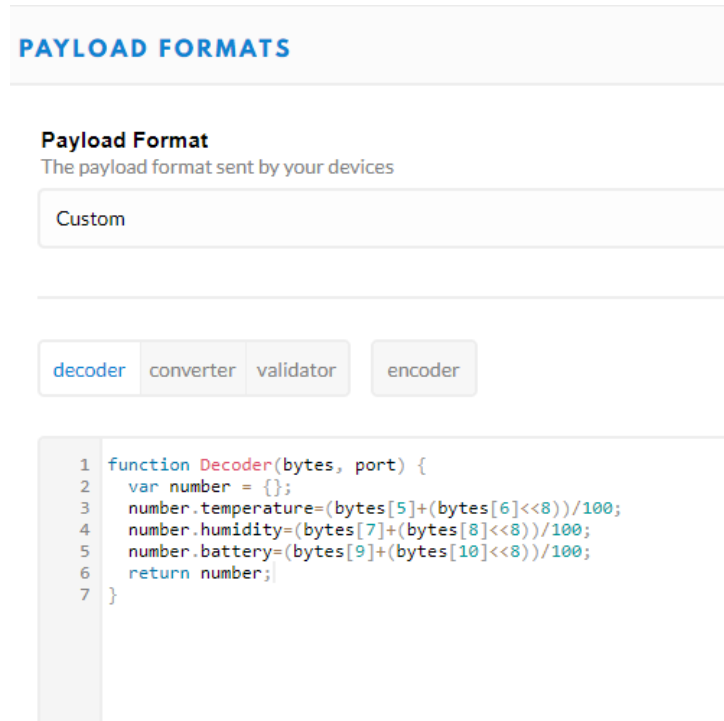



Figura 9 – Payload Decoder do TTN

THE THINGS  
NETWORK

CONSOLE  
COMMUNITY EDITION

ApplicationsGatewaysSupport

Applications > otaa\_node > Devices > lora\_otaa\_node > Data

APPLICATION DATA

pause

Filters

uplink

downlink

activation

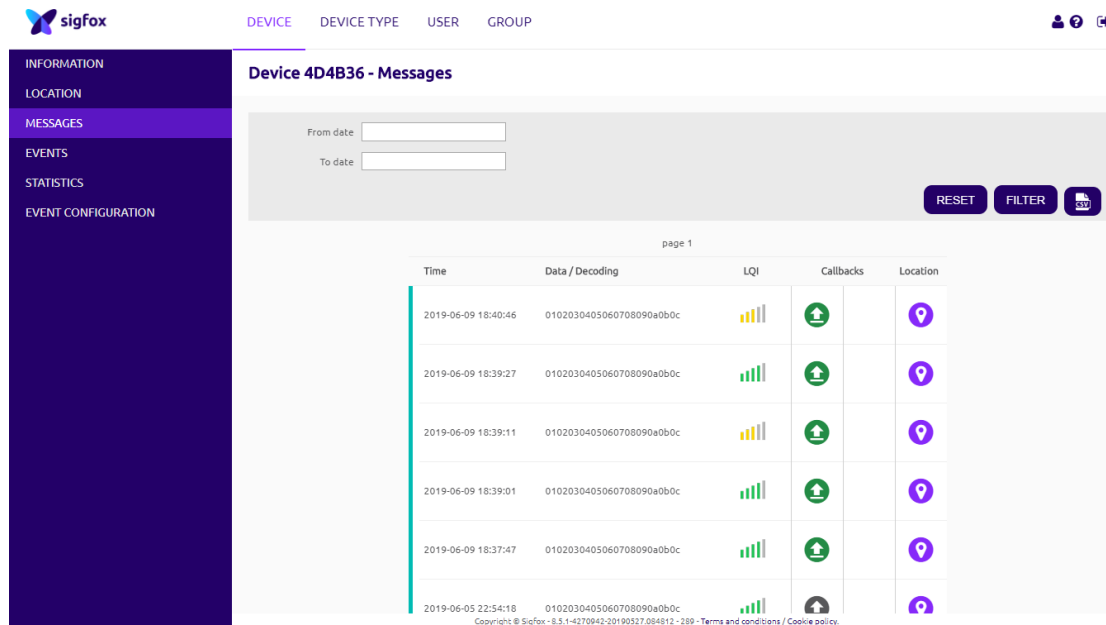
ack

error

	time	counter	port	
▲	15:49:01	5	2	payload: 50 4B 54 20 23 45 08 77 0DD001 battery: 4.64 humidity: 34.47 temperature: 21.17
▲	15:48:51	4	2	payload: 50 4B 54 20 23 37 08 86 0DD001 battery: 4.64 humidity: 34.62 temperature: 21.03
▲	15:48:41	3	2	payload: 50 4B 54 20 23 23 08 97 0DD001 battery: 4.64 humidity: 34.79 temperature: 20.83
▲	15:48:31	2	2	payload: 50 4B 54 20 23 16 08 AD 0DD001 battery: 4.64 humidity: 35.01 temperature: 20.7
▲	15:48:21	1	2	payload: 50 4B 54 20 23 05 08 C7 0DD001 battery: 4.64 humidity: 35.27 temperature: 20.53
▲	15:48:11	0	2	payload: 50 4B 54 20 23 F7 07 DF 0DD001 battery: 4.64 humidity: 35.51 temperature: 20.39
⚡	15:47:56			dev addr: 26 01 26 B1 app eui: 70 B3 D5 7E D0 01 B5 CE dev eui: 00 84 58 5A 5C BF 7A C2

Figura 10 – Dados enviados por um nó LoRa

A comunicação *Sigfox* apenas deve-se focar na comunicação entre nó e *gateway* que é idêntica à comunicação entre nó e *gateway* de *LoRa*. Pois, a comunicação entre *gateway* e servidor é um encargo da empresa *Sigfox*.



Device 4D4B36 - Messages

From date  To date

RESET FILTER

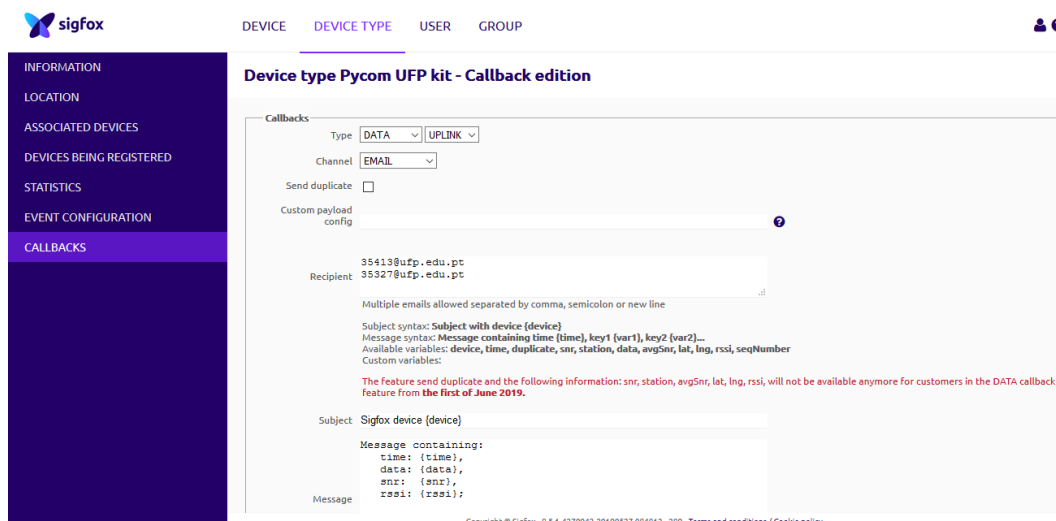
page 1

Time	Data / Decoding	LQI	Callbacks	Location
2019-06-09 18:40:46	0102030405060708090a0b0c	5		
2019-06-09 18:39:27	0102030405060708090a0b0c	4		
2019-06-09 18:39:11	0102030405060708090a0b0c	5		
2019-06-09 18:39:01	0102030405060708090a0b0c	4		
2019-06-09 18:37:47	0102030405060708090a0b0c	4		
2019-06-05 22:54:18	0102030405060708090a0b0c	4		

Copyright © Sigfox - 8.5.1-4270942-20190327.084812 - 289 - Terms and conditions / Cookie policy.

Figura 11 – Mensagens recebidas pela gateway Sigfox

A semelhança do TTN, o *Sigfox Back-end* permite recolher a informação pretendida, que neste caso foi escolhida via email.



Device type Pycom UFP kit - Callback edition

Callbacks

Type:

Channel:

Send duplicate: ☐

Custom payload config:

Recipient: 35413@ufp.edu.pt  
35527@ufp.edu.pt

Multiple emails allowed separated by comma, semicolon or new line

Subject syntax: Subject with device {device}

Message syntax: Message containing time {time}, key1 {var1}, key2 {var2}...

Available variables: device, time, duplicate, snr, station, data, avgSnr, lat, lng, rssi, seqNumber

Custom variables:

The feature send duplicate and the following information: snr, station, avgSnr, lat, lng, rssi, will not be available anymore for customers in the DATA callback feature from the first of June 2019.

Subject: Sigfox device {device}

Message containing:

```
time: {time},
data: {data},
snr: {snr},
rssi: {rssi};
```

Copyright © Sigfox - 8.5.1-4270942-20190327.084812 - 289 - Terms and conditions / Cookie policy.

Figura 12 – Configuração do Callback do Sigfox Back-End

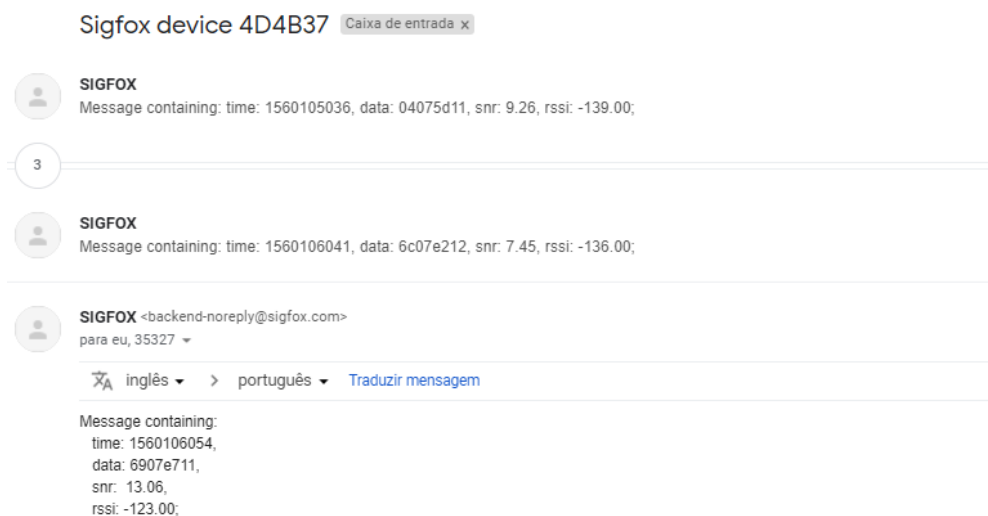


Figura 13 – Receção das informações das mensagens Sigfox via Email

## 6.6. DEEP SLEEP

O *deepsleep* é um modo que permite o Lopy4 reduzir o seu consumo drasticamente durante um longo período, quando este se encontra num período de inatividade. Neste caso, após o nó enviar a sua mensagem para a *gateway*, este entra no modo *deepsleep* pois não se pretende enviar uma outra mensagem no intervalo de 2 horas.

```
# coloca o módulo em modo
deepsleep
py.setup_sleep(7200)
py.go_to_sleep()
```

## 7. Prova de conceito

### 7.1. METODOLOGIA DOS TESTES

Após todas as configurações acima mencionadas, passamos à fase de realização de testes. A metodologia escolhida para a realização de testes *LoRa* foi aumentar gradualmente a distância entre *gateway* e nós e para todos os casos enviar 5 mensagens com SF de 7 a 12, enviando medições de temperatura e humidade. Estes testes permitem analisar diversas variáveis, tal como o RSSI, SNR e então tirar conclusões relativamente ao funcionamento destas tecnologias de comunicações em condições variáveis. No caso de *Sigfox*, testes de distância não fariam sentido, uma vez que as *gateways* pertencem à *Sigfox*. A metodologia de testes *Sigfox* foi verificar a conectividade numa grande cidade e numa pequena cidade.

### 7.2. ABORDAGEM DE TESTES

Os testes foram realizados em ambientes distintos com condições distintas. Desta forma é possível tirar conclusões relativamente a comunicações LPWAN em meio rural e em meio urbano, e também com e sem linha de vista entre dispositivos.

#### 7.2.1. Teste 1 LoRa (Santuário Nossa Senhora da Assunção – Pingo Doce St. Tirso)

Começamos por testes em ambiente rural, um elemento do grupo deslocou-se ao Santuário Nossa Senhora da Assunção, localizado num pico em Monte Córdova, e ficou responsável pela *gateway*.



Figura 14 – Vista do Santuário Nossa Senhora da Assunção – Santo Tirso



O outro elemento, com o nó, deslocou-se para um local que fica a 4,22km:



Figura 15 – Distância entre os dois pontos do teste 1

Neste caso trata-se de um ambiente rural com ampla linha vista, sendo possível ver o santuário a partir do local onde o nó se encontra:

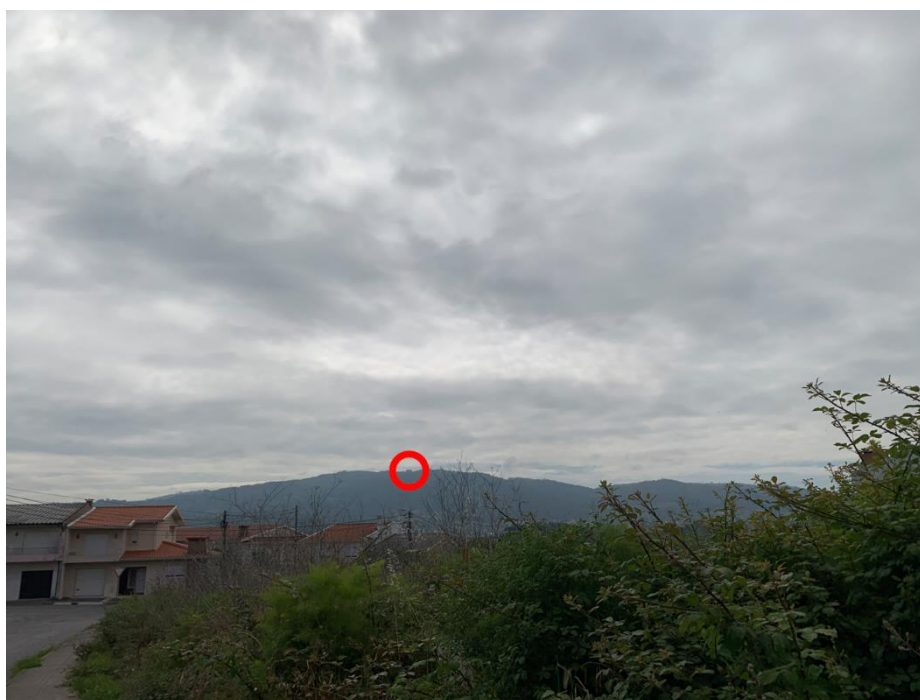


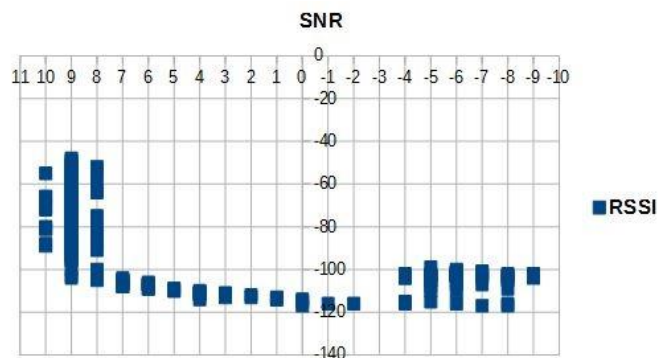
Figura 16 – Vista do local de teste para o Santuário Nossa Senhora da Assunção



Foram enviadas 5 mensagens à *gateway* para cada SF (7 a 12) com os valores medidos de temperatura e humidade. Obtivemos a seguinte tabela de resultados:

Time	SNR	RSSI	SF	Size	Temp.	Humid.	Qualidade
2019-05-23T08:53:39.676140Z	6	-94	12	24	19,3	42,2	Excelente
2019-05-23T08:53:49.690260Z	5	-96	12	24	19,3	42,1	
2019-05-23T08:53:59.703281Z	6	-97	12	24	19,3	42,1	
2019-05-23T08:54:09.717297Z	6	-96	12	24	19,1	42,0	
2019-05-23T08:54:19.731294Z	8	-96	12	24	19,1	42,1	
2019-05-23T08:59:15.133788Z	7	-106	11	24	16,5	47,9	Normal
2019-05-23T08:59:25.149771Z	7	-108	11	24	16,7	48,1	
2019-05-23T08:59:35.161785Z	6	-108	11	24	16,9	48,1	
2019-05-23T08:59:45.174765Z	5	-106	11	24	17,2	48,0	
2019-05-23T08:59:55.186798Z	-4	-118	11	24	17,4	47,8	
2019-05-23T09:05:39.30068Z	6	-101	10	24	16,8	48,8	Normal
2019-05-23T09:05:49.44025Z	6	-100	10	24	16,9	48,5	
2019-05-23T09:05:59.56033Z	7	-102	10	24	16,9	48,3	
2019-05-23T09:06:09.70030Z	4	-110	10	24	16,9	48,2	
2019-05-23T09:06:19.82031Z	1	-114	10	24	16,9	48,2	
2019-05-23T09:08:51.809629Z	8	-95	9	24	17,7	47,2	Normal
2019-05-23T09:09:01.823605Z	7	-102	9	24	17,8	47,3	
2019-05-23T09:09:11.837561Z	1	-113	9	24	17,9	47,3	
2019-05-23T09:09:21.849579Z	-4	-119	9	24	17,8	47,2	
2019-05-23T09:09:31.863591Z	-1	-115	9	24	17,8	46,9	
2019-05-23T09:12:03.155728Z	5	-108	8	24	17,7	50,5	Normal
2019-05-23T09:12:13.167768Z	8	-94	8	24	17,9	49,0	
2019-05-23T09:12:23.181758Z	7	-94	8	24	17,9	48,0	
2019-05-23T09:12:33.192593Z	8	-96	8	24	17,7	47,2	
2019-05-23T09:14:03.333720Z	1	-114	8	24	17,4	46,8	
2019-05-23T09:16:02.538423Z	7	-98	7	24	19,0	44,8	Boa
2019-05-23T09:16:12.550567Z	6	-95	7	24	19,6	45,2	
2019-05-23T09:16:22.564544Z	7	-95	7	24	20,4	45,5	
2019-05-23T09:16:32.576580Z	6	-96	7	24	20,9	44,5	
2019-05-23T09:16:42.590619Z	0	-113	7	24	20,8	43,4	

A “medição” da qualidade do sinal foi feita interpretando os valores de RSSI e SNR, usando como referência a seguinte tabela:



Como é possível perceber através da análise da tabela de resultados, todas as mensagens foram enviadas e recebidas com sucesso e com qualidade a variar entre normal e excelente. Uma vez que se trata de uma distância relativamente pequena (tendo em conta que estamos a utilizar *LoRa*), as mensagens foram todas recebidas independentemente do SF, em casos limiares entre SFs os valores de RSSI seriam mais conclusivos.

### 7.2.2. Teste 2 LoRa (Santuário Nossa Senhora da Assunção – Esmoriz)

O próximo teste realizado foi em condições bastante semelhantes, com a diferença de o nó se encontrar ao dobro da distância do primeiro teste realizado. O nó estava localizado a 8,68km da *gateway*, continuando a existir linha de vista entre a *gateway* e nó:



Figura 17 – Distância entre os dois pontos do teste 2



Figura 18 – Distância entre os dois pontos do teste 1

A metodologia de testes foi exatamente a mesma, enviou-se 5 mensagens para cada SF:

Time	SNR	RSSI	SF	Size	Temp.	Humid.	Qualidade
2019-05-23T09:59:52.877459Z	5	-106	12	24	25,1	32,9	Normal
2019-05-23T10:00:02.891686Z	5	-109	12	24	24,9	33,3	
2019-05-23T10:00:12.905611Z	4	-109	12	24	24,8	33,7	
2019-05-23T10:00:22.917622Z	4	-108	12	24	24,7	34,1	
2019-05-23T10:00:32.929609Z	4	-109	12	24	24,9	34,4	
2019-05-23T10:03:58.795030Z	9	-101	11	24	25,4	32,4	Normal
2019-05-23T10:04:08.809049Z	8	-103	11	24	25,5	32,4	
2019-05-23T10:04:18.823058Z	7	-106	11	24	25,5	32,4	
2019-05-23T10:04:28.835049Z	7	-108	11	24	25,4	32,5	
2019-05-23T10:04:38.849099Z	6	-106	11	24	25,4	32,4	
2019-05-23T10:06:50.511186Z	4	-106	10	24	24,9	33,1	Normal
2019-05-23T10:07:00.525224Z	5	-109	10	24	24,9	33,3	
2019-05-23T10:07:10.539339Z	5	-110	10	24	24,8	33,6	
2019-05-23T10:07:20.551356Z	4	-108	10	24	24,8	33,8	
2019-05-23T10:07:30.563365Z	4	-106	10	24	24,9	34,0	
2019-05-23T10:09:20.53399Z	5	-106	9	24	24,6	33,9	Normal
2019-05-23T10:09:30.67376Z	5	-106	9	24	24,8	34,0	
2019-05-23T10:09:40.79408Z	5	-108	9	24	25,0	34,0	
2019-05-23T10:09:50.91402Z	6	-108	9	24	25,2	33,9	
2019-05-23T10:10:00.103243Z	4	-108	9	24	25,5	33,8	
2019-05-23T10:11:22.321899Z	4	-109	8	24	26,1	32,1	Boa
2019-05-23T10:11:32.335922Z	4	-106	8	24	26,1	32,0	
2019-05-23T10:11:42.347920Z	6	-105	8	24	26,1	32,0	
2019-05-23T10:11:52.361792Z	5	-105	8	24	26,1	32,1	
2019-05-23T10:12:02.373931Z	5	-105	8	24	26,3	32,2	
2019-05-23T10:13:52.919338Z	4	-108	7	24	25,9	31,7	Normal
2019-05-23T10:14:02.933916Z	4	-109	7	24	25,9	31,8	
2019-05-23T10:14:12.945203Z	4	-106	7	24	25,8	31,9	
2019-05-23T10:14:22.959346Z	4	-108	7	24	25,7	32,1	
2019-05-23T10:14:32.971346Z	4	-108	7	24	25,6	32,3	



Neste teste a qualidade do sinal já não chega a ser excelente, porém, os resultados são bastantes semelhantes ao teste anterior. Com isto é possível concluir que em ambiente rural com linha de vista a única variável importante de salientar é unicamente a distância a que os aparelhos se encontram. Com base nos testes realizados neste ambiente, arriscamos em dizer que talvez se poderia triplicar a distância e continuar a existir trocas de mensagens com sucesso com SF de 12 (e talvez com outros SF). Infelizmente não foi possível realizar mais testes de distância devido ao tempo disponível, e também porque aumentar a distância em, supondo, 10km em linha reta, corresponderia à volta de 15/20km em termos de distância percorrida de automóvel, o que é um inconveniente.

Passamos então para a realização de testes em meio citadino.

### 7.2.3. Teste 3 LoRa (Hospital Escola Fernando Pessoa – Viaduto (perto do estádio do Dragão))

O terceiro e último teste *LoRa* realizado foi feito em condições diferentes às dos testes anteriores. Neste caso a *gateway* e nó encontram-se na cidade do Porto, um meio citadino com todo o tipo de obstáculos e interferências. O nó foi colocado num viaduto (perto do estádio do Dragão) e a *gateway* no último piso do Hospital Escola Fernando Pessoa. Existe apenas linha de vista parcial e a distância entre os dispositivos é de 3,77km:



Figura 19 – Distância entre os dois pontos do teste 3

A metodologia de testes foi novamente a mesma:

Time	SNR	RSSI	SF	Size	Temp.	Humid.	Qualidade
2019-05-30T16:06:15.736935Z	3	-111	12	24	32,9	15,4	Normal
2019-05-30T16:06:25.751103Z	3	-111	12	24	33,3	15,2	
2019-05-30T16:06:35.764997Z	3	-111	12	24	33,8	14,9	
2019-05-30T16:06:45.779100Z	3	-111	12	24	34,2	14,7	
2019-05-30T16:06:55.793091Z	2	-111	12	24	34,7	14,5	
2019-05-30T16:11:22.602139Z	-6	-122	11	24	36,2	13,1	Frac
2019-05-30T16:11:32.616158Z	-9	-123	11	24	35,7	13,2	
2019-05-30T16:11:42.630123Z	-9	-123	11	24	35,3	13,3	
2019-05-30T16:12:02.658143Z	-11	-126	11	24	35,3	13,6	
2019-05-30T16:23:54.946512Z	-6	-120	10	24	36,0	15,8	Normal
2019-05-30T16:24:04.960523Z	-4	-118	10	24	35,9	15,9	
2019-05-30T16:24:14.974527Z	-2	-115	10	24	35,8	16,0	
2019-05-30T16:24:24.988522Z	-6	-120	10	24	35,7	16,1	
2019-05-30T16:24:35.2571Z	-6	-120	10	24	35,6	16,1	
2019-05-30T16:26:28.156395Z	-3	-118	9	24	34,7	17,0	Frac
2019-05-30T16:26:38.170377Z	-3	-118	9	24	34,6	17,1	
2019-05-30T16:26:48.184530Z	-3	-118	9	24	34,6	17,1	
2019-05-30T16:26:58.198456Z	-2	-116	9	24	34,6	17,1	
2019-05-30T16:27:08.212448Z	-8	-123	9	24	34,6	17,1	
2019-05-30T16:29:23.965691Z	-8	-124	8	24	33,7	17,8	Frac
2019-05-30T16:29:33.979839Z	-7	-124	8	24	33,6	17,8	
2019-05-30T16:29:43.993831Z	-9	-125	8	24	33,6	17,8	
2019-05-30T16:29:54.7843Z	-4	-119	8	24	33,6	17,7	
2019-05-30T16:30:04.21841Z	-8	-124	8	24	33,6	17,8	
2019-05-30T16:18:30.528351Z	-11	-126	7	24	33,6	17,9	Má
2019-05-30T16:18:37.865210Z	-4	-117	7	24	33,9	13,4	

Neste teste existiram falhas de mensagens com SF de 7 e 11. Este ambiente de testes, apesar de ter sido com uma distância inferior aos testes anteriores, é mais propício a falhas e a pior qualidade de sinal. As interferências devido a obstáculos e outros sinais têm um grande peso em tecnologias de comunicação *LoRa*, como é possível observar na tabela de resultados, em que a qualidade do sinal variou entre normal e má.

#### 7.2.4. Teste 4 Sigfox (Vila Nova de Gaia)

Os testes de *Sigfox* baseiam-se na verificação de conectividade com *gateways* da *Sigfox*.

Começamos por testar conectividade com o nó localizado em Vila Nova de Gaia, um meio citadino. A conectividade verificou-se e obtiveram-se os seguintes resultados:

Time	Data	SNR	RSSI
1560105036	04075d11	9,26	-139
1560105049	E906c010	12,60	-136
1560105061	B5068110	10,70	-138
1560105073	b1068b10	18,04	-95
1560106041	6c07e212	7,45	-136
1560106054	6907e711	13,06	-123

Usando como referência para a “medição” da qualidade do sinal a seguinte tabela:

RSSI	Número de Estações	Qualidade
$-122 < \text{RSSI}$	3	Excelente
$-135 < \text{RSSI} \leq -122$	3	Boa
$-122 < \text{RSSI}$	1 ou 2	Boa
$-135 < \text{RSSI} \leq -122$	1 ou 2	Satisfaz
$\text{RSSI} \leq -135$	Qualquer	Limite

Podemos afirmar que a qualidade do sinal em V.N. Gaia situa-se no satisfaz e está, de facto, numa zona de cobertura das *gateways Sigfox*.

#### 7.2.5. Teste 5 Sigfox (Paços de Ferreira)

Para o último teste, testamos conectividade *Sigfox* numa pequena cidade, Paços de Ferreira. Novamente enviamos mensagens de teste e estas foram recebidas por uma *gateway*:

Time	Data	SNR	RSSI
1560105467	0102030405060708090a0b0c	15,69	-128
1560105541	0102030405060708090a0b0c	18,02	-122
1560105551	0102030405060708090a0b0c	16,36	-131
1560105567	0102030405060708090a0b0c	18,22	-128
1560105646	0102030405060708090a0b0c	18,07	-122

Tal como para o teste anterior recorreremos à mesma tabela para “medição” da qualidade do sinal, constatamos que este também se encontra no nível satisfaz.

Independentemente de estarmos localizados numa grande cidade como V. N. Gaia, ou numa pequena cidade como Paços de Ferreira, a qualidade de sinal foi sensivelmente a mesma.



### 7.3. ANÁLISE DE RESULTADOS

Relativamente aos testes *LoRa*, é possível concluir que em ambientes rurais com linha de vista o único fator decisivo é a distância entre dispositivos. Uma vez que nestes ambientes a interferência do sinal devido a obstáculos e outros sinais é pouco notável, a única variável que poderá atenuar o sinal será mesmo o número de quilómetros entre *gateway* e nós.

Apesar de o teste de distância máxima realizado nestas condições tenha sido de 8,77km, é possível perceber através dos valores de RSSI obtidos que a distância poderia ser bem maior e continuaria a haver conectividade entre dispositivos, apenas não foi testado devido a falta de disponibilidade.

É possível constatar que *LoRa* permite que exista comunicação em zonas sem qualquer tipo de infraestrutura, apenas com dois dispositivos é possível a troca de mensagens numa grande área. Estas características especiais desta tecnologia faz com que seja ideal a sua aplicação em certos contextos onde não seja possível comunicação via outras tecnologias. Alguns possíveis contextos de aplicação serão referidos mais adiante no presente documento.

Relativamente aos testes *LoRa* realizados num ambiente citadino, verificou-se que, apesar de termos testado a uma distância relativamente pequena, existiu interferência no sinal e falha de mensagens. Quando não existe linha de vista e existe interferência devido a obstáculos e outros sinais, o sinal é bastante atenuado. Isto não significa que este tipo de tecnologia não se deve aplicar a meios citadinos, apenas foi testado num contexto em que somente tínhamos uma *gateway*, para “resolver” a atenuação do sinal poderiam ser implementadas mais *gateways* em locais estratégicos para mitigar a atenuação do sinal. Apesar de tudo, foi possível a troca de mensagens com qualidade normal usando um SF de 12 a uma distância de quase 4km num meio citadino, o que é algo impensável para qualquer outra tecnologia comunicação que estamos habituados a lidar.

Pode-se afirmar que *LoRa* é perfeitamente implementável quer seja num meio citadino com linha de vista parcial, ou num meio rural onde não exista qualquer infraestrutura, mas claro, as distâncias alcançáveis nestes dois ambientes será diferente e necessitará de diferentes abordagens.

No caso dos testes *Sigfox*, foi possível constatar que a qualidade do sinal se manteve relativamente constante quer estivéssemos localizados numa grande cidade como o Porto, ou numa pequena cidade como Paços de Ferreira. Em ambientes citadinos a utilização de *Sigfox* poderá ter vantagens sobre *LoRa*. Por exemplo, se quiséssemos contruir uma rede de dispositivos a comunicar entre si num raio de 20km na cidade do Porto, usando *LoRa* teríamos de usar e configurar 2 ou 3 *gateways*, o que implicaria a posse de no mínimo 3 ou 4 dispositivos para construir a nossa rede. Enquanto que com *Sigfox*, como o Porto se encontra numa área de cobertura das *gateways* da *Sigfox*, apenas nos precisávamos de preocupar com os nós, pois sabemos que as *gateways* ao nosso dispor irão receber as mensagens pois existem bastantes na zona em questão.

No entanto, se formos por exemplo para uma zona sem cobertura *Sigfox*, não temos outra solução que não usarmos *LoRa* e configurarmos a nossa própria *gateway*.

## 8. Contexto de aplicações

### 8.1. CIDADES INTELIGENTES

Devido ao facto destas tecnologias mencionadas ao longo do presente documento possuírem características únicas, estas aplicam-se a contextos que provavelmente nenhuma outra tecnologia de comunicação serviria. Estas tecnologias poderão ser implementadas em inúmeros cenários *IoT* onde é necessária monitorização, medições, envio de dados periodicamente e muito mais, sem que seja necessária deslocação física durante possivelmente anos, devido ao seu baixíssimo consumo energético.

Ao utilizar *LoRa* ou *Sigfox* para conectar serviços de uma cidade como iluminação, lugares de estacionamento, contentores de lixo, e muito mais, as cidades ficarão bastante mais otimizadas e automatizadas, poupando-se tempo e dinheiro.

### 8.2. APLICAÇÃO EM CONTEXTOS REAIS

#### 8.2.1. Pré-venda de peixe

Num cenário de pesca em alto mar, como o tempo de pesca é longo, poder-se-ia pensar na venda de peixe antes deste chegar ao seu ponto de venda. Para tal, enviar-se-ia informação sobre o peixe (espécie, peso, tamanho, etc...) para o seu ponto de venda (vendedor mostra a informação do peixe recebida ao cliente, ou através de uma plataforma online que mostra a informação do peixe e possibilite a venda do peixe antes deste chegar à costa). Como as comunicações móveis, *wifi* ou *bluetooth* não são úteis devido à escassa cobertura de rede em alto mar e ao seu pequeno alcance, tornam *LoRa* e *Sigfox* as tecnologias ideais para comunicar a longas distâncias numa zona sem qualquer tipo de obstáculos, trazendo também a vantagem de um baixo consumo energético.

Nestas duas tecnologias, *LoRa* será a técnica mais vantajosa pois não necessita de qualquer tipo de cobertura de rede entre nó e *gateway*, ao contrário de *Sigfox* que é limitada pela localização/coberturas das suas *gateways*.

### 8.2.2. Zonas agrónomas

No nosso país existem plantações com milhares de hectares, que tornam disfuncional a deslocação física a certas plantações para verificar as suas condições.

Utilizando por exemplo, *LoRa*, uma vez que as plantações normalmente tratam-se de locais sem grandes obstáculos e/ou interferências por outros sinais, estes dispositivos usufruirão do seu alcance máximo, cobrindo uma enorme área de terreno. Desta forma possibilita-se o controlo das plantações colocando os sensores necessário nos nós, sem que haja a necessidade de deslocações físicas periódicas para a sua monitorização.

### 8.2.3. Localização de gado

Num cenário de criação de gado, a sua localização constitui um grande problema. No Brasil, os criadores de gado com milhares cabeça de gado libertam os seus animais pela floresta Amazónia. Estes criadores de gado têm dificuldades em encontrar o seu gado pois a floresta é densa e de grandes dimensões.

Ao colocar dispositivos de comunicação *LoRa* ou *Sigfox* em algumas cabeças de gado, seria possível localizar o grupo de animais mais facilmente, e um único dispositivo cobriria uma grande área. Tornam-se assim, novamente, tipos de tecnologias ideias para mais um cenário.

É importante salientar que estes são apenas alguns exemplos de possíveis implementações em contextos reais destas tecnologias, e foram referidas situações em que estas tecnologias poderiam ser as únicas capazes de solucionar este tipo de problemas. Existem também diversos outros contextos em que outras tecnologias já resolvem os problemas, porém, poderia ser preferível usar uma tecnologia deste tipo que, ao contrário de tantas outras, tem um baixíssimo consumo energético.

## 9. Requisitos

### 9.1. REQUISITOS FUNCIONAIS

URF001	Implementação e configuração um dispositivo <i>gateway LoRa</i> .	Obrigatório
URF002	Implementação e configuração um dispositivo nó <i>LoRa</i> .	Obrigatório
URF003	Deve ser assegurada conectividade entre nó e <i>gateway LoRa</i> .	Obrigatório
URF004	Realização de testes de comunicação <i>LoRa</i> para diferentes distâncias variando o SF.	Obrigatório
URF005	Realização de testes de alcance para a comunicação <i>LoRa</i> .	Obrigatório
URF006	Realização de testes de comunicação <i>LoRa</i> em ambientes rurais e em ambientes citadinos.	Desejável
URF007	Realização de testes de comunicação <i>LoRa</i> com linha de vista e sem linha de vista entre dispositivos.	Obrigatório
URF008	Implementação e configuração um dispositivo nó <i>Sigfox</i> .	Obrigatório
URF009	Realização de testes de comunicação <i>Sigfox</i> em ambientes rurais e em ambientes citadinos.	Desejável

### 9.2. REQUISITOS NÃO FUNCIONAIS

URNF001	O dispositivo nó <i>LoRa</i> deverá enviar informações de temperatura e humidade local para a <i>gateway</i> mais próxima.	Desejável
URNF002	Os nós devem consumir menor quantidade de energia durante o intervalo de mensagens programadas - usar o funcionalidade <i>deepsleep</i> .	Obrigatório
URNF003	O nó e <i>gateway LoRa</i> devem ajustar o SF acordado entre eles automaticamente.	Desejável

## 10. Manual do Utilizador

### 10.1. Instalação e configuração do IDE

Para possibilitar a configuração dos dispositivos é necessário um IDE. Neste caso, é essencial instalar um dos seguintes IDE's: “Atom” ou “Visual Studio Code”.

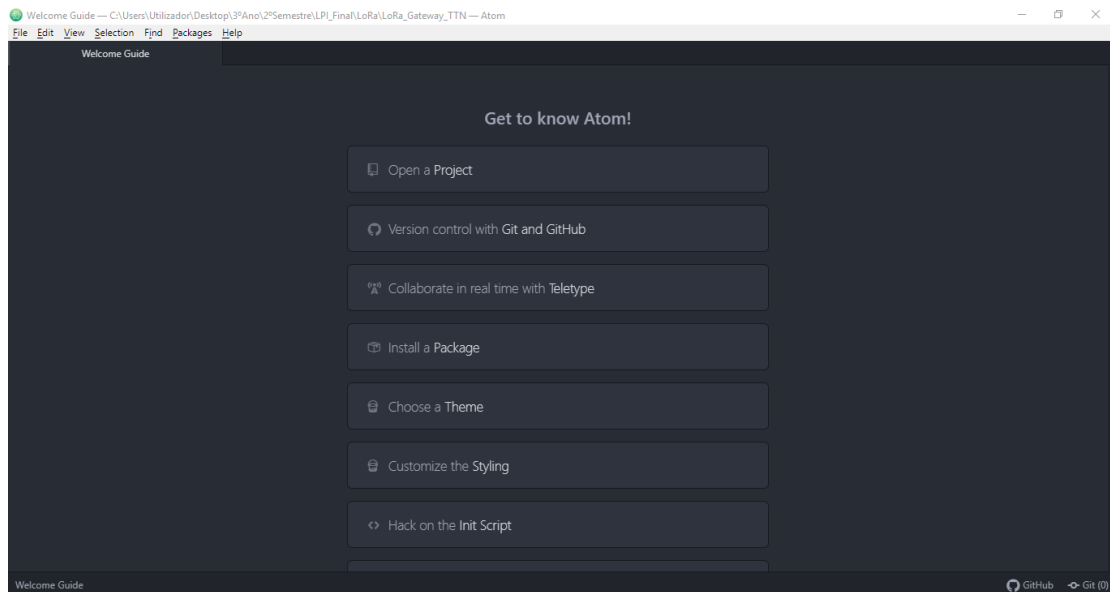


Figura 20 – Menu inicial do Atom

Seguidamente, configura-se o IDE escolhido, instalando uma package fornecida pela Pycom (opção “Install a Package”->”Open Installer”).

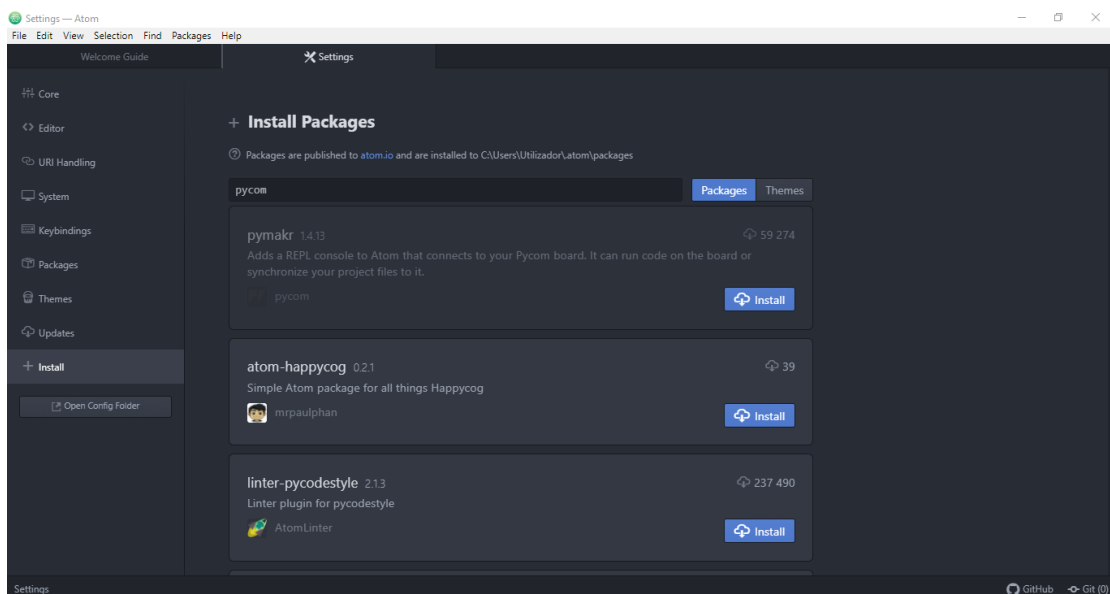


Figura 21 – Instalação da package Pymark

Após escolher a opção “Install”, o estado final será o seguinte:

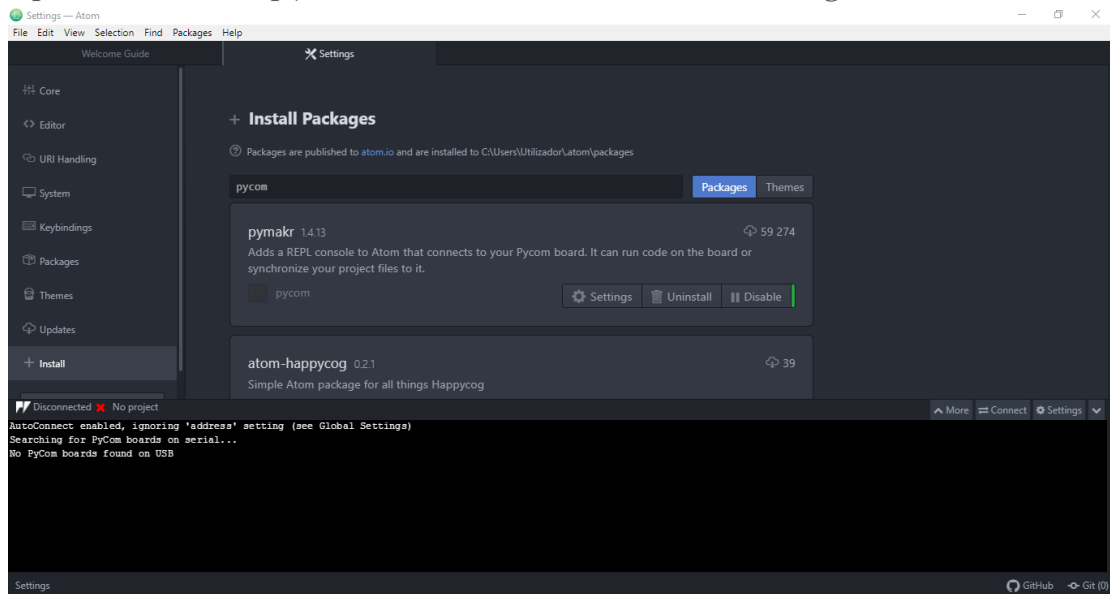


Figura 22 – Estado após instalação da package Pymark

## 10.2. Login no TTN

Para poder utilizar a plataforma TTN, o cliente deverá estar registrado. Após o registo, o acesso à aplicação web é feita através do seguinte endereço: <https://account.thethingsnetwork.org/users/login>

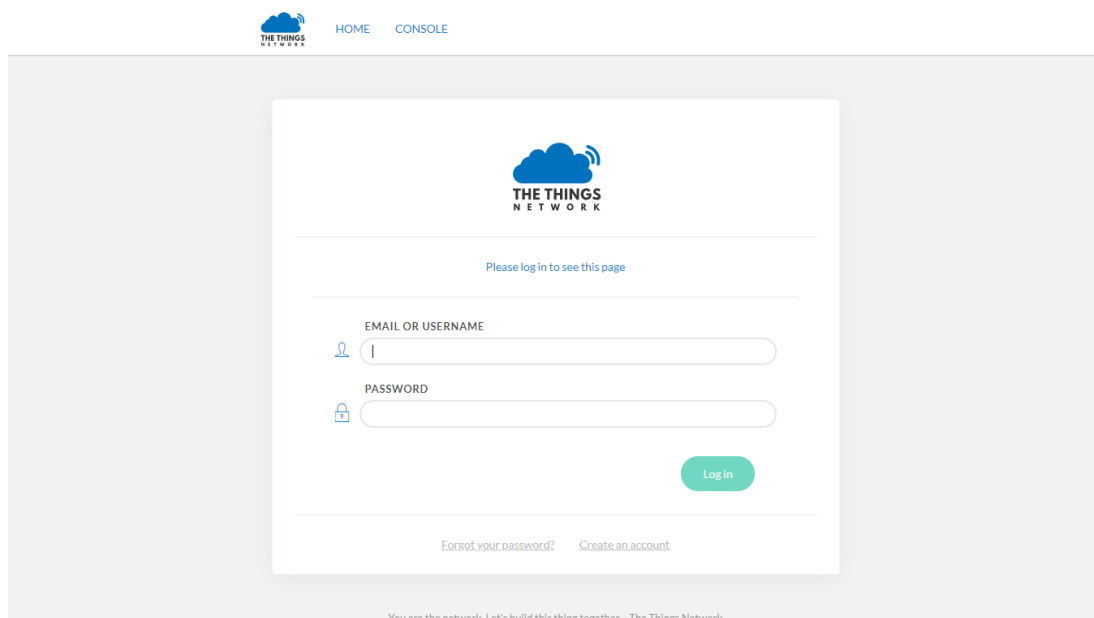


Figura 23 – Menu de autenticação da plataforma TTN

Para entrar na plataforma é necessário introduzir as credenciais de acesso criadas durante o registo:

- Email
- Password

### 10.3. Estrutura da Plataforma

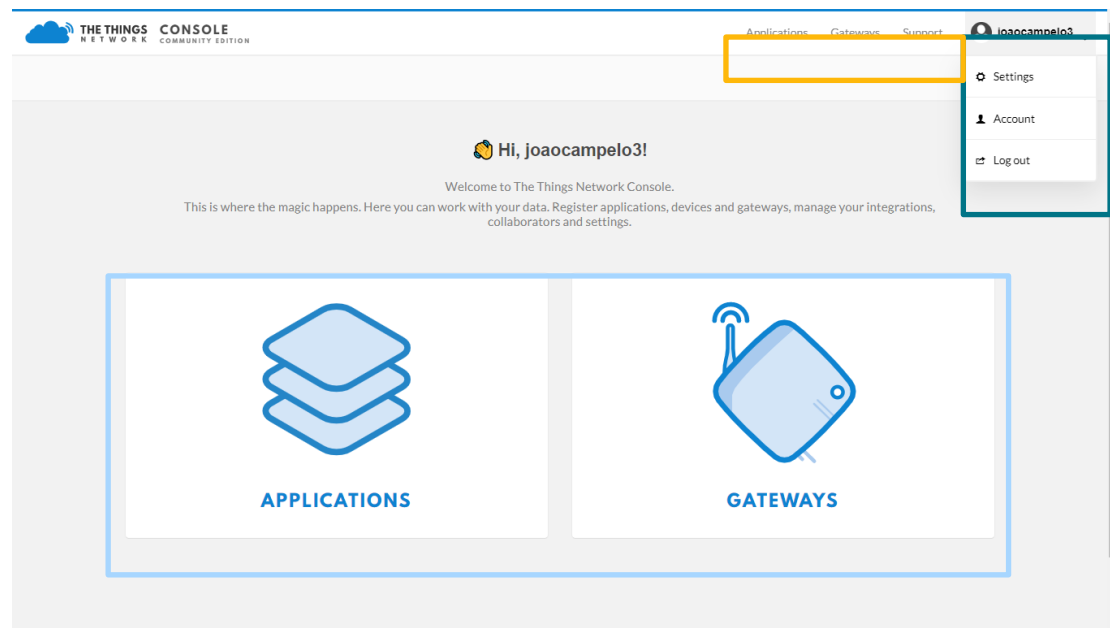





Figura 24 – Menu inicial da plataforma TTN

-  → Menu Lateral: Acesso a informações relacionadas com o utilizador/cliente. Este menu encontra-se na barra superior da página e apenas o nome do utilizador se encontra visível ao utilizador.
-  → Menu Superior: Acesso às tarefas necessárias para a gestão de dispositivos. Este menu encontra-se na barra superior da página e está sempre visível.
-  → Seção de Seleção: Local onde todos grupos de dispositivos são apresentados (“Applications” - grupo de nós; “Gateways”- grupo de gateways). Tem o mesmo objetivo que o menu superior.



## 10.4. Applications

### 10.4.1. Menu de Applications

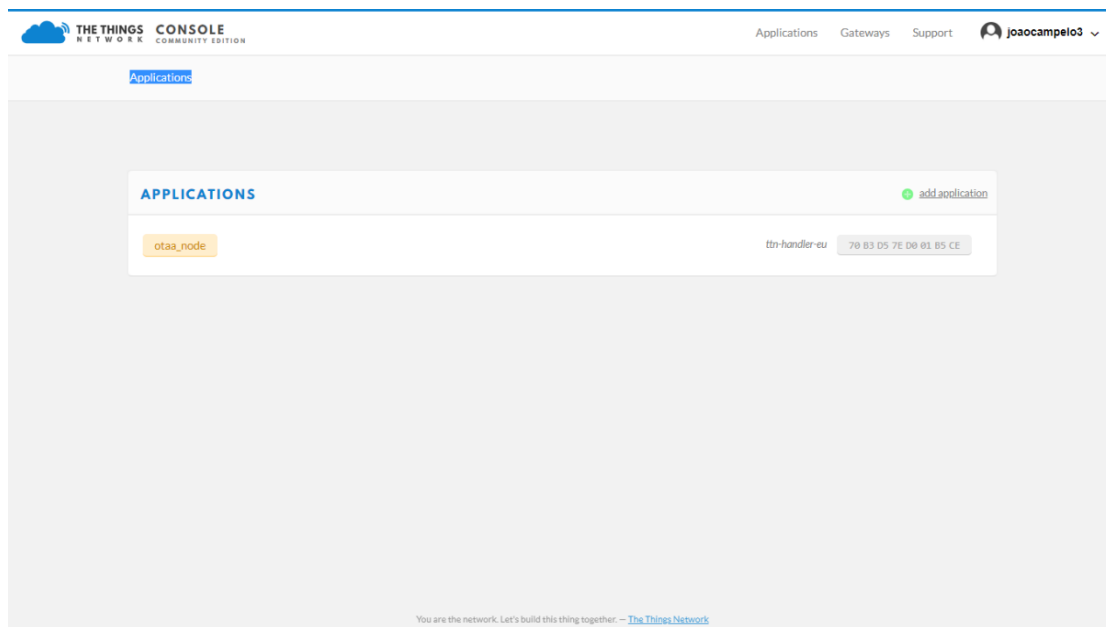


Figura 25 –Menu de Applications do TTN

Uma *Application* é um grupo de nós *LoRa* que tem em comum a sua finalidade -enviam a mesma informação.

### 10.4.2. Criar Applications

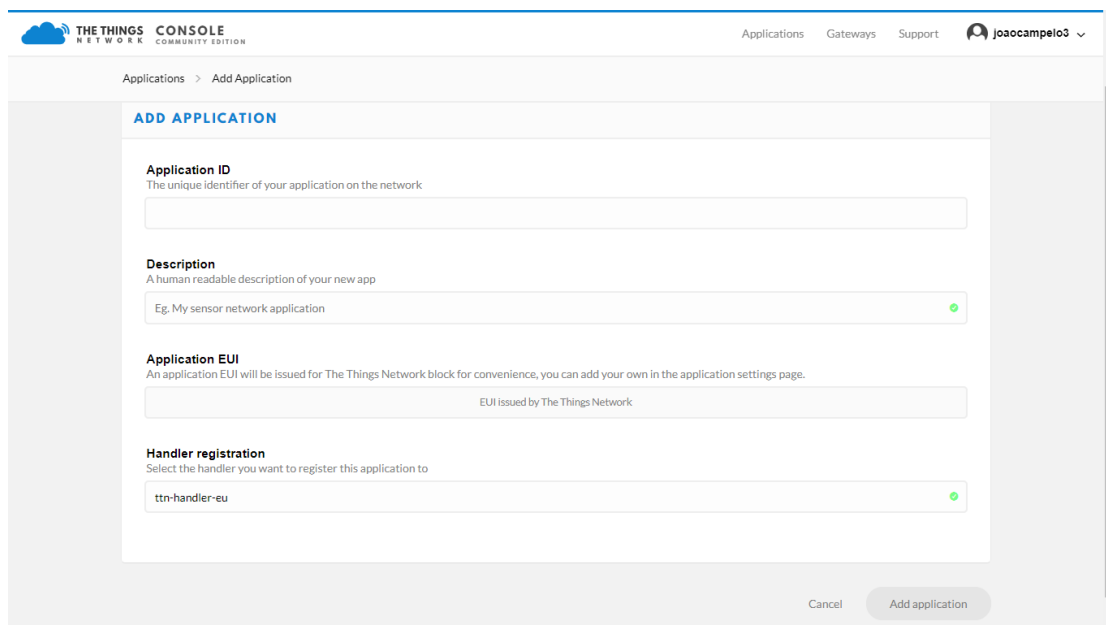


Figura 26 – Menu para criar uma Application

### 10.4.3. Visualizar Applications

The screenshot displays the 'The Things Console' interface for the 'otaa\_node' application. The top navigation bar includes 'Applications', 'Gateways', 'Support', and a user profile 'joacampelo3'. The breadcrumb trail shows 'Applications > otaa\_node'. A secondary navigation bar contains tabs for 'Overview', 'Devices', 'Payload Formats', 'Integrations', 'Data', and 'Settings', with 'Overview' currently selected.

The main content area is divided into several sections:

- APPLICATION OVERVIEW:** Displays the 'Application ID' as 'otaa\_node' (with a 'documentation' link), a 'Description' field, 'Created' as '2 months ago', and 'Handler' as 'ttn-handler-eu (current handler)'.
- APPLICATION EUIs:** Includes a 'manage euis' link and a text input field with a code icon and a copy icon.
- DEVICES:** Features a 'register device' link (with a green checkmark) and a 'manage devices' link. It shows '1 registered device' with a device icon.
- COLLABORATORS:** Includes a 'manage collaborators' link and a list of two users: 'leandrocosta' and 'joacampelo3'. Each user has 'devices' and 'settings' links. 'joacampelo3' also has 'collaborators', 'delete', and 'devices' links.
- ACCESS KEYS:** Includes a 'manage keys' link and a 'default key' section. The key is displayed as a masked string '.....' with a 'base64' label and a copy icon. 'devices' and 'messages' links are also present.

At the bottom, a footer message reads: 'You are the network. Let's build this thing together. — The Things Network'.

Figura 27 – Informações sobre uma Application

#### 10.4.4. Dispositivos

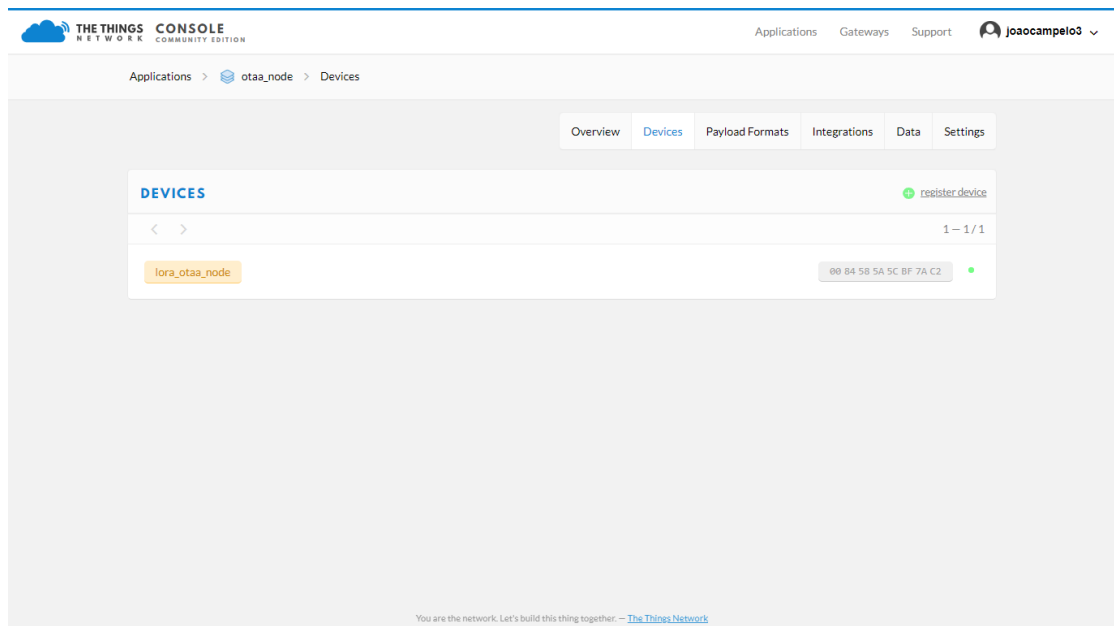


Figura 28 – Dispositivos (nós) de uma *Application*

Aqui estão presentes todos os dispositivos existentes numa determinada *Application*. Neste caso, a *Application* escolhida foi “otaa-node”.

#### Registo de dispositivos:

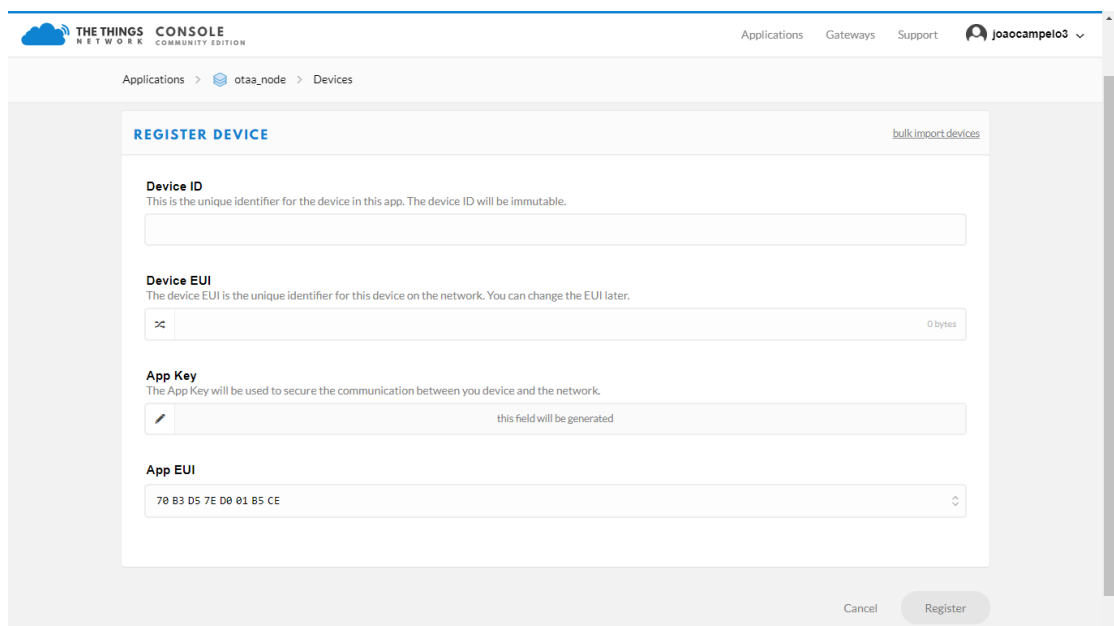


Figura 29 – Criar um dispositivo (nó)

## Informação do Dispositivo:

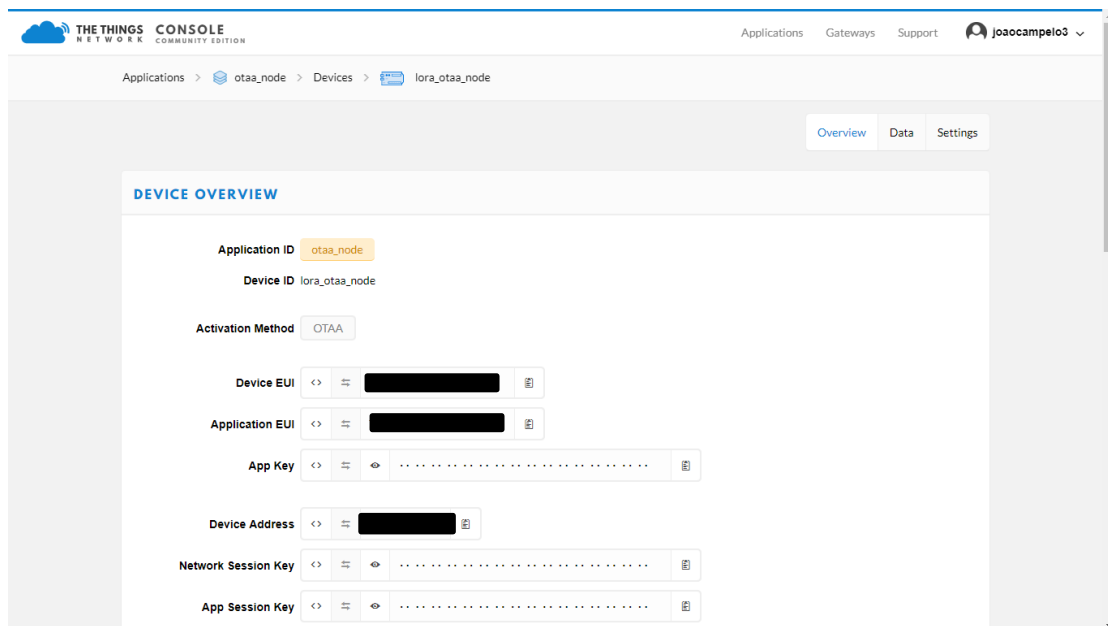


Figura 30 – Informações sobre um dispositivo(nó)

## Dados enviados pelo dispositivo:

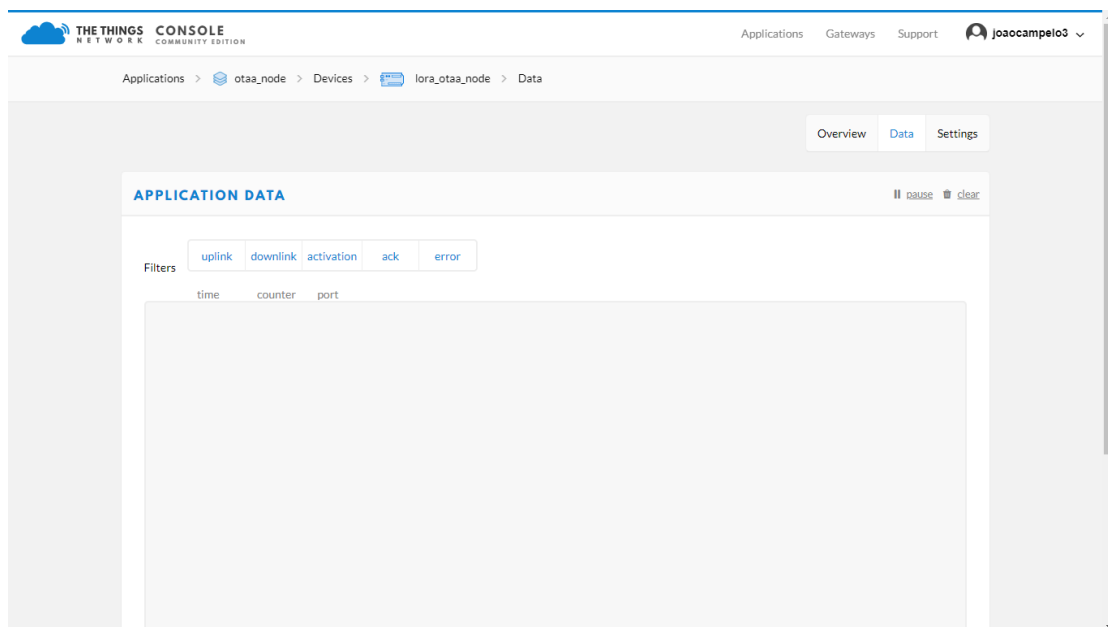


Figura 31 – Menu de visualização de mensagens enviadas por um nó

Aqui podemos observar todas as mensagens enviadas por um determinado dispositivo (neste caso, dispositiva “lora\_otaa\_node”). As mensagens só serão apresentadas durante um intervalo de tempo.

## Definições do dispositivo:

Nesta área é possível definir todos os identificadores de um dispositivo da *Application*. Sendo que o identificador “Device EUI” é gerado aleatoriamente pelo TTN e “App key” é fornecido pelo TTN que representa “chave autenticadora” que o dispositivo precisa para confirmar a sua identidade à *Application*.

The screenshot shows the 'Settings' page for a device in the The Things Network Console. The breadcrumb trail is: Applications > otas\_node > Devices > lora\_otas\_node > Settings. The page has three tabs: Overview, Data, and Settings (selected). On the left, under 'DEVICE SETTINGS', the 'General' tab is selected. The main 'SETTINGS' panel contains the following fields:

- Description:** A human-readable description of the device. (Empty text field)
- Device EUI:** The serial number of your radio module, similar to a MAC address. (8 bytes, masked with black)
- Application EUI:** (Masked with black)
- Activation Method:** Radio buttons for OTAA (selected) and ABP.
- App Key:** The key your device will use to set up sessions with the network. (16 bytes, masked with black)
- Frame Counter Width:** Radio buttons for 16 bit (selected) and 32 bit.
- Frame Counter Checks:** A checked checkbox.

At the bottom, there are three buttons: 'Delete Device' (red), 'Cancel', and 'Save' (disabled).

Figura 32 – Definições de um nó

### 10.4.5. Decode de Payloads

No *Payload Formats*, pode-se definir o decoder de payloads de uma determinada *Application*.

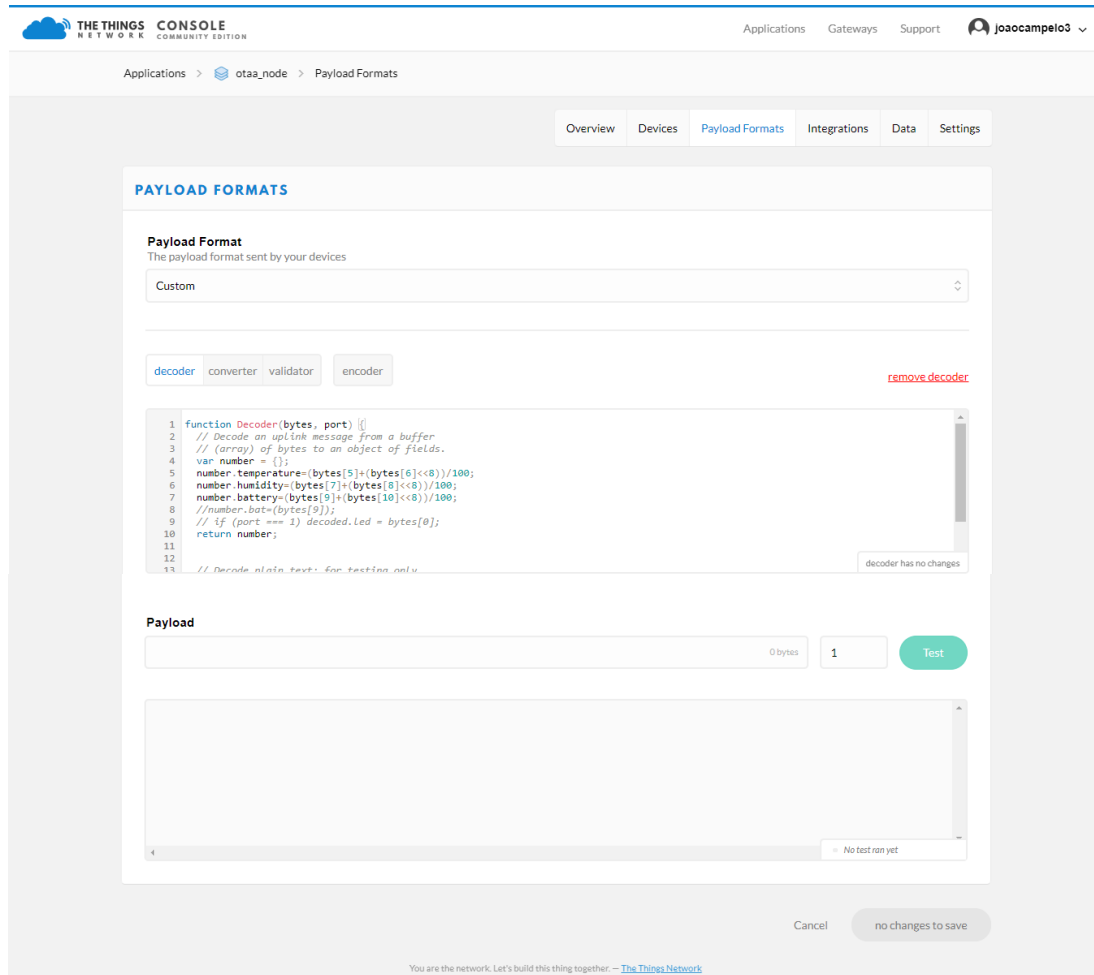


Figura 33 – Menu de filtragem de payloads das mensagens

#### 10.4.6. Integrations

Como os dados enviados pelos dispositivos são temporários, podemos integrar algumas funcionalidades à *Applicaton* na área *Integration*. Neste caso, foi entregue, opcionalmente, uma base de dados que permite gravar dados durante 7 dias.

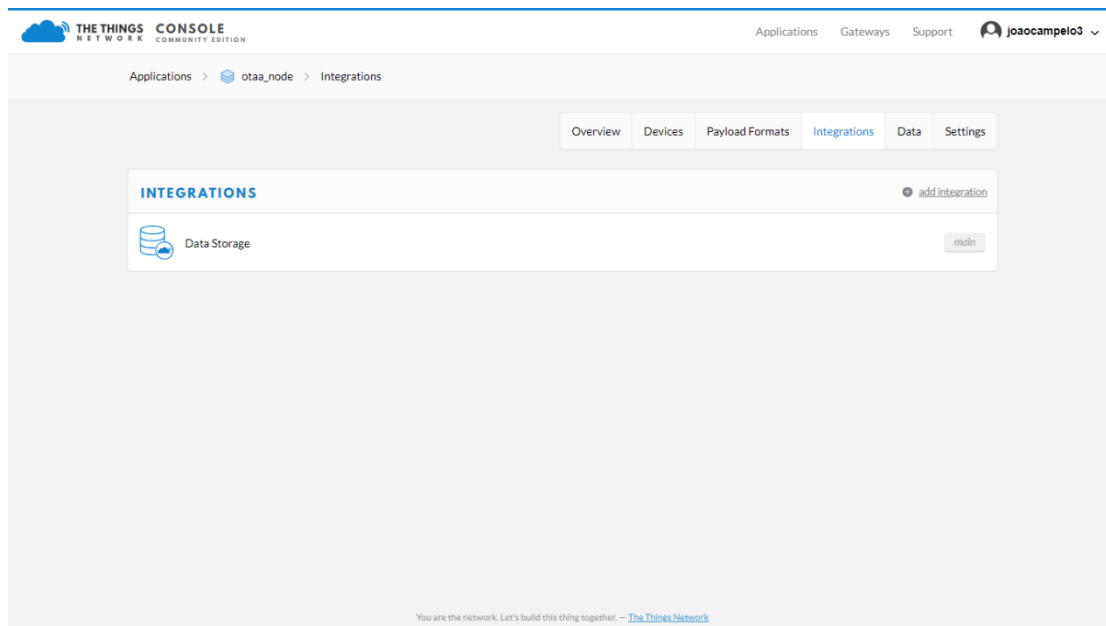


Figura 34 – Menu de integrações

#### 10.4.7. Dados

Aqui podemos observar todos os dados enviados pelos dispositivos que fazem parte de uma determinada *Application*.

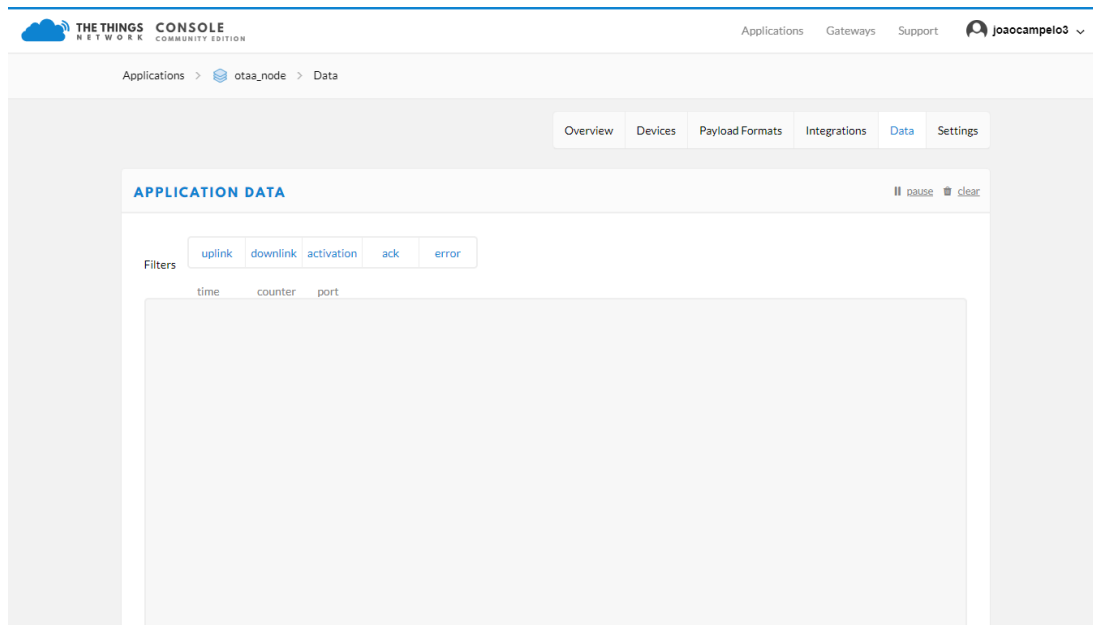


Figura 35 – Menu de visualização de mensagens recebidas pela gateway

#### 10.4.8. Definições

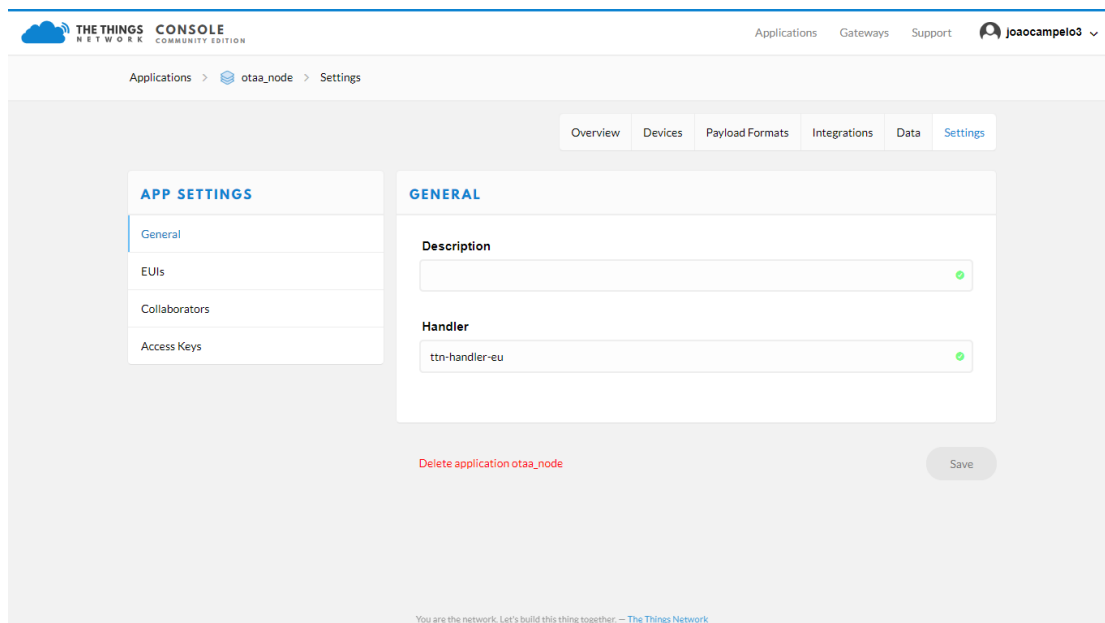


Figura 36 – Definições de uma gateway



## 11. Abordagem Técnica

### 11.1. ARQUITETURA DA APLICAÇÃO

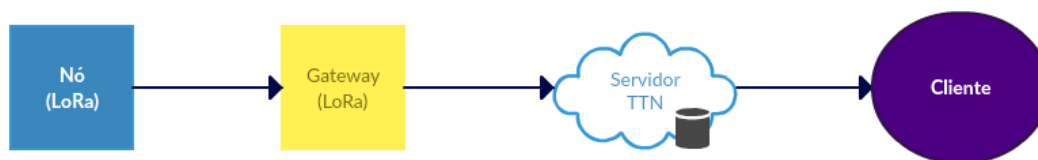


Figura 37 – Arquitetura utilizada para comunicação LoRa

Para esta arquitetura, é possível usar vários nós a comunicar para mesma *gateway* sendo o número limite de nós não deverá ultrapassar os 100 dispositivos. Para abranger mais que 100 dispositivos, pode-se aumentar o número de *gateways* e dividir o número de nós entre as *gateways*.

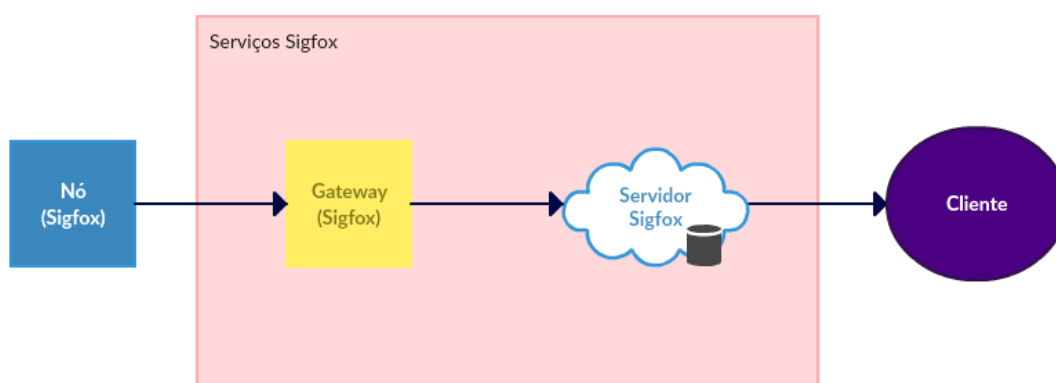


Figura 38 – Arquitetura utilizada para comunicação Sigfox

Para esta arquitetura, é possível usar vários nós a comunicar pois o cliente não tem de se preocupar com o número de *gateways* mas sim da cobertura da rede *Sigfox*.

## 12. Logbook

Semana	Início	Fim	Descrição
1	27/02/2019	27/02/2019	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Reunião com os orientadores para explicação da proposta de trabalho</li> <li>✓ Elaboração de um esboço de planeamento</li> <li>✓ Definição da metodologia de trabalho</li> </ul>
2	05/03/2019	11/03/2019	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Pesquisa de informações sobre a tecnologia de comunicação LoRa</li> <li>✓ Recolha e análise de papers</li> <li>✓ Apresentação da informação recolhida aos professores orientadores</li> <li>✓ Ajuste da proposta de trabalho</li> </ul>
3	12/03/2019	18/03/2019	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Definição da arquitetura</li> <li>✓ Continuação da pesquisa sobre LoRa</li> </ul>
4	19/03/2019	25/03/2019	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Início da elaboração do relatório</li> <li>✓ Pesquisa sobre MicroPython</li> </ul>
5	26/03/2019	01/04/2019	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Continuação da pesquisa e aprendizagem de MicropPython</li> </ul>
6	02/04/2019	08/04/2019	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Testes em microcontroladores ESP32</li> <li>✓ Continuação do relatório</li> </ul>
7	15/04/2019	22/04/2019	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Investigação das bibliotecas do LoPy</li> <li>✓ Registo dos dispositivos no TTN</li> <li>✓ Implementação do código da gateway LoRa</li> </ul>
8	23/04/2019	29/04/2019	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Implementação do código do nó LoRa</li> <li>✓ Teste de comunicação entre dispositivos LoRa</li> <li>✓ Implementação de uma BD</li> </ul>
9	30/04/2019	06/05/2019	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Ajustes no código</li> <li>✓ Implementação do deep sleep</li> <li>✓ Testes de funcionamento do deep sleep</li> </ul>

10	07/05/2019	13/05/2019	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Planeamento estratégico dos locais de teste</li> <li>✓ Reunião com os orientadores e discussão sobre ambientes dos testes</li> </ul>
11	14/05/2019	20/05/2019	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Realização de testes de alcance com LoRa em meio rural</li> <li>✓ Realização de testes em meio citadino</li> <li>✓ Análise dos resultados obtidos</li> </ul>
12	21/05/2019	27/05/2019	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Estudo e pesquisa sobre Sigfox</li> <li>✓ Estudo das diferenças entre LoRa e Sigfox</li> </ul>
13	28/05/2019	03/06/2019	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Continuação do relatório</li> <li>✓ Pesquisa sobre código a implementar no nó Sigfox</li> </ul>
14	04/06/2019	10/06/2019	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Registo dos dispositivos no Sigfox Back-end</li> <li>✓ Elaboração de testes Sigfox</li> <li>✓ Análise dos resultados</li> </ul>
15	11/06/2019	19/06/2019	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Conclusão do relatório</li> </ul>

## 13. Bibliografia

Ramon Sanchez-Iborra; Jesus Sanchez-Gomez; Juan Ballesta-Viñas; Maria-Dolores Cano; Antonio F. Skarmeta (2018). "Performance Evaluation of LoRa Considering Scenario Conditions". *Sensors*.

K. Phung, H. Tran, Q. Nguyen, T. T. Huong and T. Nguyen, "Analysis and assessment of LoRaWAN," 2018 2nd International Conference on Recent Advances in Signal Processing, Telecommunications & Computing (SigTelCom), Ho Chi Minh City, 2018, pp. 241-246.  
URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8325799&isnumber=8325768>

H. Lee and K. Ke, "Monitoring of Large-Area IoT Sensors Using a LoRa Wireless Mesh Network System: Design and Evaluation," in *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 67, no. 9, pp. 2177-2187, Sept. 2018.  
URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8326735&isnumber=8430491>

A. Lavric and V. Popa, "Internet of Things and LoRa™ low-power wide-area networks challenges," 2017 9th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI), Targoviste, 2017, pp. 1-4.  
URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8166405&isnumber=8166382>

A. Lavric and V. Popa, "LoRa™ wide-area networks from an Internet of Things perspective," 2017 9th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI), Targoviste, 2017, pp. 1-4.  
URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8166397&isnumber=8166382>

S. Devalal and A. Karthikeyan, "LoRa Technology - An Overview," 2018 Second International Conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA), Coimbatore, 2018, pp. 284-290.  
URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8474715&isnumber=8474542>

H. Mroue, A. Nasser, S. Hamrioui, B. Parrein, E. Motta-Cruz and G. Rouyer, "MAC layer-based evaluation of IoT technologies: LoRa, SigFox and NB-IoT," 2018 IEEE Middle East and North Africa Communications Conference (MENACOMM), Jounieh, 2018, pp. 1-5.

URL:

<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8371016&isnumber=8370996>

Y. Chung, J. Y. Ahn and J. Du Huh, "Experiments of A LPWAN Tracking(TR) Platform Based on Sigfox Test Network," 2018 *International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC)*, Jeju, 2018, pp. 1373-1376.

URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8539697&isnumber=8539346>