



**Instituto Politécnico de Tomar**

**Escola Superior de Tecnologia de Tomar**

**João Paulo Lopes Agostinho**

# **Otimização e Compressão de Páginas Web para Sistemas Embebidos e desenvolvimento de Equipamentos IOT**

Relatório de Estágio

Orientado por:

Renato Eduardo da Silva Panda, Instituto Politécnico de Tomar

**Júri (caso seja conhecido) + Instituição**

Relatório de Estágio  
apresentada ao Instituto Politécnico de Tomar  
para cumprimento dos requisitos necessários  
à obtenção do grau de Mestre  
em Engenharia Informática – Internet das Coisas



## AGRADECIMENTOS

---

Quero agradecer à minha família e amigos, pelo apoio dado nos bons e maus momentos não só durante a vida académica, mas durante toda a minha vida.

Aos meus colegas de curso e professores pelos bons tempos que foram passados nas aulas deste Mestrado.

Quero agradecer igualmente ao meu orientador, o professor Renato Panda por ser meu orientador e estar sempre disponível para ajudar nesta última fase do Mestrado.

À empresa Captemp pela possibilidade de realizar o estágio para conclusão de mais uma etapa da minha vida.



## RESUMO

---

**Palavras chave:**



## ABSTRACT

---

**Key words:**



*"Persistence is the shortest path to success"*

— Charles Chaplin



# ÍNDICE

---

<b>Agradecimentos</b>	<b>iii</b>
<b>Resumo</b>	<b>v</b>
<b>Abstract</b>	<b>vii</b>
<b>Acrónimos</b>	<b>xiii</b>
<b>Índice de Figuras</b>	<b>xiii</b>
<b>Índice de Tabelas</b>	<b>xv</b>
<b>1 Introdução</b>	<b>1</b>
1.1 Contextualização . . . . .	1
1.2 A Empresa . . . . .	1
1.3 Motivação e Objetivos . . . . .	4
1.3.1 Nidus . . . . .	5
1.3.2 NB-Iot . . . . .	5
1.3.3 Kea Tracker . . . . .	5
1.3.4 dot.Tracker . . . . .	5
1.4 Problemas Identificados . . . . .	6
1.5 Organização do relatório . . . . .	8
<b>2 Estado da Arte</b>	<b>9</b>
2.1 Introdução . . . . .	9
2.2 Coletor de Dados - Nidus . . . . .	9
2.2.1 Páginas do Coletor de Dados Nidus . . . . .	10
2.3 NB-Iot & Digi Xbee 3 . . . . .	11
2.3.1 MicroPython . . . . .	13
2.3.2 NB-Iot/ LTE-M . . . . .	13
2.4 Kea Tracker . . . . .	15

2.4.1	Beacons BLE . . . . .	15
2.4.2	Ruuvi Beacons . . . . .	16
2.4.3	Apps Smartphones . . . . .	16
2.4.4	Beacons e gateway . . . . .	17
2.5	Soluções e Tecnologias Disponíveis . . . . .	17
2.5.1	Tecnologias Disponíveis . . . . .	17
2.5.2	Produtos Similares . . . . .	22
<b>3</b>	<b>Trabalho Desenvolvido</b>	<b>25</b>
3.1	Introdução . . . . .	25
3.2	Coletor de Dados - Nidus . . . . .	25
3.3	NB-Iot & Digi Xbee 3 . . . . .	25
3.3.1	Envio de dados para o portal . . . . .	25
3.3.2	Gestão de memória . . . . .	26
3.3.3	Sincronismo de Leitura e Envio . . . . .	29
3.3.4	Encriptação dos dados . . . . .	30
3.4	Kea Tracker . . . . .	31
3.5	dot.Tracker . . . . .	31
3.5.1	Portal Cloud - Front-End . . . . .	32
3.5.2	Portal Cloud - Back-end . . . . .	33
<b>4</b>	<b>Testes e Avaliação</b>	<b>35</b>
<b>5</b>	<b>Conclusões e Trabalho Futuro</b>	<b>36</b>
<b>Bibliografia</b>		<b>36</b>
<b>Apêndice</b>		<b>39</b>

## ACRÓNIMOS

---

# ÍNDICE DE FIGURAS

---

1.1	CapTemp SQL . . . . .	2
1.2	Coletor de Dados Nidus-C . . . . .	2
1.3	Universo Nidus . . . . .	3
1.4	TH3 e Airo . . . . .	3
1.5	Portal Senslive . . . . .	4
1.6	Programação com a ferramenta Scratch . . . . .	7
1.7	Data Logger iButton . . . . .	7
2.1	Layout página da Nidus IT no início do estágio . . . . .	11
2.2	Módulo Xbee 3 e placa de expansão desenvolvida pela Captemp . . . . .	11
2.3	Gráfico com relação Distancia vs Largura de Banda[1] . . . . .	14
2.4	BLE Broadcast packet[2] . . . . .	15
2.5	Funcionamento da Janela Deslizante . . . . .	18
2.6	Sequência não comprimida . . . . .	19
2.7	Sequência comprimida com LZ77 (apenas palavras) . . . . .	19
2.8	Sequência comprimida com LZ77(palavras e sequências) . . . . .	19
2.9	Posição utilizando o método Centroid com 3 e 4 receptores . . . . .	21
3.1	Estrutura do Pacote NB-IOT . . . . .	26
3.2	Comportamento da gestão de Memória . . . . .	27
3.3	Array Circular com leituras . . . . .	30

## ÍNDICE DE TABELAS

---

2.1	Especificações do Módulo RCM6760 . . . . .	10
2.2	Especificações do Módulo XBee 3 . . . . .	12
2.3	Comparação entre beacons [3][4][5] . . . . .	24
3.1	Requesitos da Solução . . . . .	32



# Capítulo 1

## Introdução

### 1.1 Contextualização

Atualmente a sociedade vive rodeada de tecnologias indispensáveis e de ambientes que se intitulam inteligentes (*smart*), mas nem sempre foi assim.

Desde cedo, mesmo antes de existir tecnologia, o homem tendeu a procurar e encontrar coisas que melhorassem a sua vida e bem-estar pessoal e da sociedade, mas para chegar a humanidade está hoje é necessário recuar na história algum tempo para marcos importantes da tecnologia.

Um dos marcos muito importantes para o desenvolvimento dos sistemas embebidos e de sistemas de monotorização foi a invenção dos processadores. Com o surgimento dos processadores começaram a surgir os primeiros sistemas embebidos e sistemas de monotorização. Com o passar dos anos até aos dias de hoje a tecnologia tem vindo a evoluir e por consequência os sistemas também se adaptaram para os padrões de atualmente.

Uma das partes mais importantes num sistema embebido é a sua interface disponível para o utilizador, as principais e mais usadas nos dias de hoje são a linha de comandos e a WEB, comuns para configurações á distância e as interfaces dos próprios equipamentos como os ecrãs com software proprietário.

### 1.2 A Empresa

A empresa CapTemp, Lda localizada em Pombal, Leiria é uma empresa, focada em desenvolvimento de soluções de monotorização, controlo, supervisão e de soluções à medida consoante os requisitos do cliente. Para criar um sistema de monotorização é necessário o sistema possuir sensores, atuadores, coletores de dados e software para analisar os dados provenientes dos sensores de modo a possuir capacidade de atuar com base nesses valores. A Captemp é responsável pelo desenvolvimento de todos estes componentes passando pelos sensores até ao *software* responsável por analisar e armazenar os dados.

## 1.2. A EMPRESA

Uma das subáreas da empresa é a disponibilização de um Registador de temperatura e respetivo *Software* certificado para Meteorologia Legal. A Meteorologia Legal é aplicada a todas as câmaras com uma volumetria superior a 10 metros cúbicos, onde a regulamentação indica que tem de existir um sistema certificado para o registo das temperaturas. Faz parte deste conjunto o *Software* “CapTemp SQL”, representado na figura 1.1, responsável por guardar os dados provenientes dos sensores ligados ao registador.

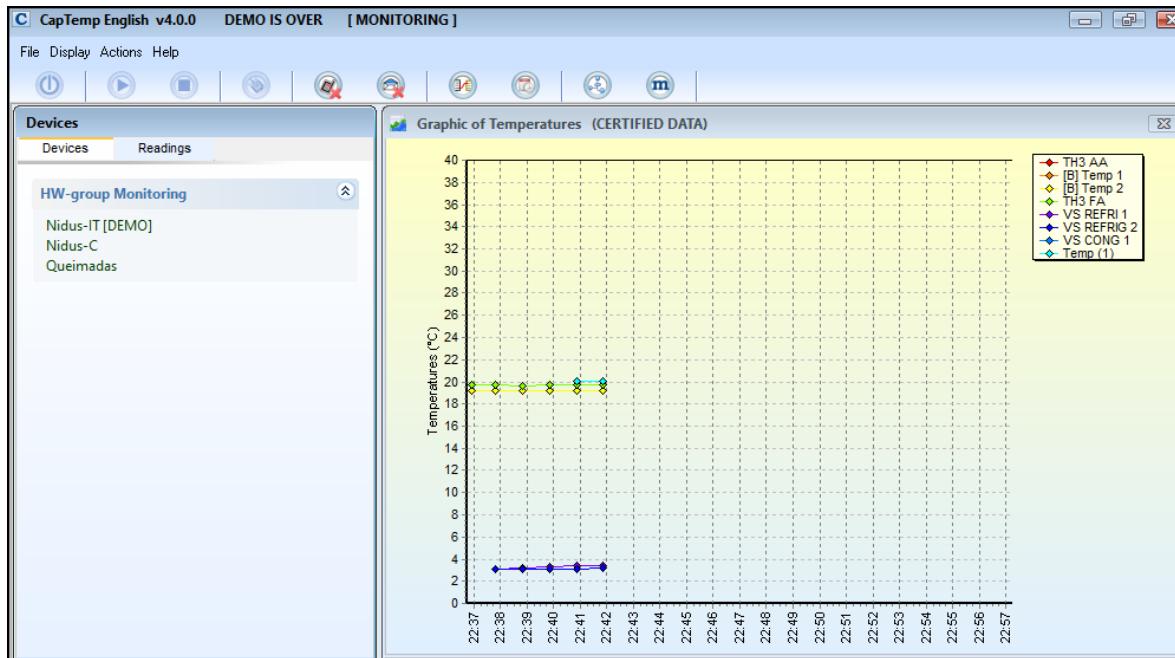


Figura 1.1: CapTemp SQL

O registador desenvolvido pela Captemp, representado na figura 1.2 denomina-se por Nidus-C, um registador que suporta até 32 sensores.

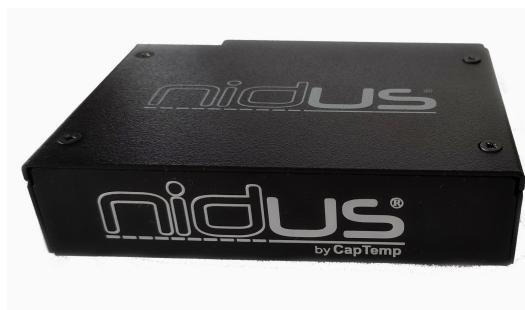


Figura 1.2: Coletor de Dados Nidus-C

Com a necessidade de mais funcionalidades, a Captemp criou diversas variantes da Nidus-C, representadas na Figura 1.3 para aplicar em outras áreas para além da Meteorologia Legal. Das quais surgiram a Nidus-C+, uma versão similar da Nidus-C acrescentando a possibilidade de adicionar sensores Wireless. A Nidus-IT e Nidus-IT+

duas versões com as funcionalidades da Nidus-C e Nidus-C+ respetivamente, acrescentando Inputs e Outputs ao sistema de monitorização. Para soluções exclusivamente Wireless nasce a Nidus-W suportando apenas sensores Wireless. Por último é desenvolvida a Nidus-R, baseada na Nidus-IT especialmente desenhada a pensar em ambientes IT com suporte para montagem em bastidores.



Figura 1.3: Universo Nidus

No setor dos sensores foi desenvolvido o TH3, um conversor RS485 permitindo às diversas Nidus, ligar por RS485 a sensores 1Wire além dos dois inputs possuídos no TH3. Nos sensores wireless, foi desenvolvido o Airo à semelhança do TH3 possui dois inputs, um ecrã e possibilita a ligação de sensores. Permite ainda a leitura de todos os Airo adicionados na Nidus ao mesmo tempo, tecnologia desenvolvida pela Captemp denominada por Captemp AST [6]. Ambos os sensores estão representados na Figura 1.4



Figura 1.4: TH3 e Airo

Em desenvolvimento encontram-se sensores com recurso a tecnologias NB-Iot, Beacon's BLE e Lora.

A Captemp desenvolve igualmente um portal Cloud denominado Senslive (Figura 1.5) que possibilita a centralização dos sistemas de monitorização numa plataforma

### 1.3. MOTIVAÇÃO E OBJETIVOS

Cloud.

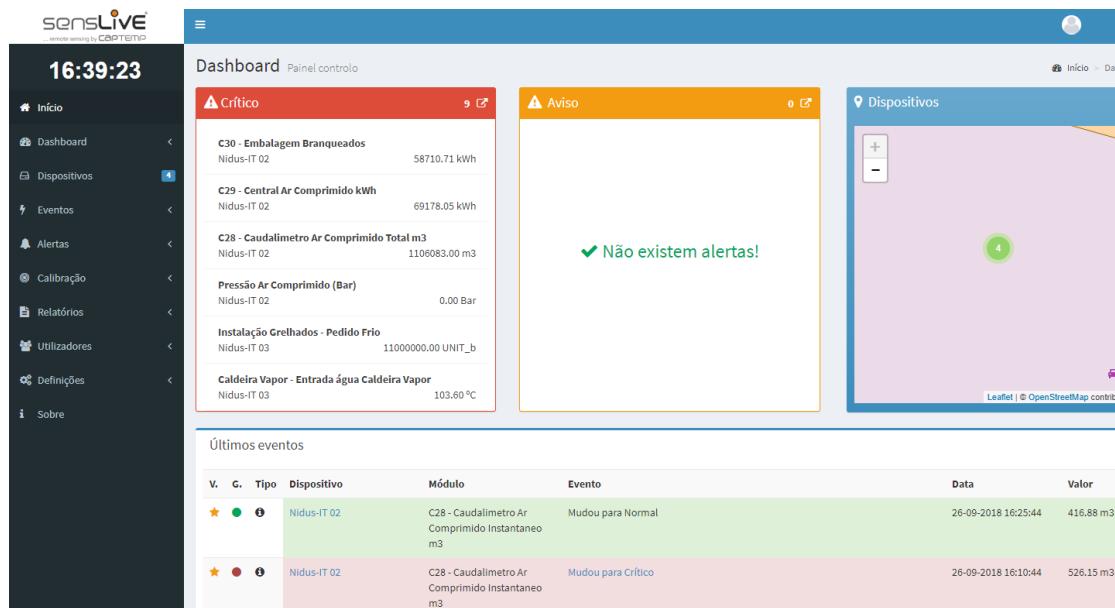


Figura 1.5: Portal Senslive

## 1.3 Motivação e Objetivos

O estágio é uma forma do estudante colocar numa situação de contexto profissional os conceitos adquiridos em contexto académico. A realização de um estágio é também uma mais valia pois possibilita o adquirir de experiência profissional que não é possível obter em contexto escolar.

A Captemp com os projetos a desenvolver pretende melhorar constantemente os seus equipamentos e as suas interfaces, por questões de *Marketing* quer pelo próprio evoluir da tecnologia e necessidade de novas funcionalidades e o seu desenvolvimento requer a alocação de mais recursos como por exemplo a memória, estes limitados nestes tipos de equipamentos e onde é preciso fazer uma correta escolha de soluções e de implementação.

Ao longo do estágio, o objetivo será estudar variados mecanismos que permitam adotar recursos web modernos nos equipamentos de baixos recursos. Serão aplicados vários conhecimentos adquiridos durante o percurso académico de modo a melhorar a interface para o utilizador, técnicas de otimização de código, compressão de ficheiros, manipulação de imagens de modo a ocupar o mínimo de espaço permitindo futuros desenvolvimento e melhorias, dando continuidade ao suporte do projeto Nidus, igualmente serão criados três novos projetos de desenvolvimento de novos equipamentos e soluções que tiram partido de novas tecnologias como o NB-IoT e Beacon's BLE onde

é necessário devido á escassses de recursos fazer a correta gestão dos mesmos.

Nas seguintes secções são apresentadas uma breve descrição de cada projeto, dos equipamentos já existente e desenvolvido, e as funcionalidades a desenvolver em cada projeto.

### **1.3.1 Nidus**

O projeto "Nidus" tem como objetivo dar suporte ao Front-end das Nidus já existentes para correções de bugs encontrados em versões anteriores, otimização de código, de modo a ocupar o mínimo espaço, possibilitando deixar memória livre para desenvolvimentos futuros, desenvolver versões customizadas com layouts a pedido do cliente com funcionalidades específicas, ou simplesmente melhorar a página seguindo a tendência de equipamentos concorrentes.

### **1.3.2 NB-Iot**

Com o surgimento da nova tecnologia NB-Iot surgiu a necessidade de serem criados equipamentos que tirem partido dessa tecnologia e as suas vantagens. Para tal durante o estágio será desenvolvido um dos equipamentos que tira partido da tecnologia. Este projeto tem como por objetivo criar uma versão de raiz, simplificada e mais barata de um outro equipamento de NB-Iot em desenvolvimento pela Captemp, através do módulo Xbee da DIGI e da sua programação em Micropython. Durante o projeto será necessário garantir a correta gestão de memória, gestão de Logs internos, comunicação com os sensores físicos, comunicação bidirecional e encriptação com o portal Senslive.

### **1.3.3 Kea Tracker**

O "Kea Tracker" é um projeto de Beacon's BLE que comunicam com o smartphone, onde é possível definir alertas locais no smartphone e envio dos dados obtidos dos sensores das beacon's e envio para a plataforma Senslive. Tal como o projeto anterior será necessário além de criar uma aplicação para smartphone, criar Firmware específico para as beacon's que na ausência de comunicação com o smartphone devem armazenar em Log as leituras dos sensores e quando este está ao alcance descarregar para o smartphone.

### **1.3.4 dot.Tracker**

A pedido de um cliente foi solicitado o desenvolvimento de uma plataforma para localização de pessoas e objetos em ambientes interiores. O cliente pretende ter uma

plataforma onde seja capaz de ver em tempo real a posição de pessoas e objetos definidos previamente, definir zonas de alerta, e consultar o histórico de movimentos. Neste projeto iram ser usadas beacon's BLE e um gateway BLE que dispõe de vários receptores BLE colocados estratégicamente no edifício e responsáveis por receber os broadcasts das beacons que por sua vez transmitem para o gateway que implementa um cliente de MQTT onde são disponibilizadas as mensagens recebidas pelos receptores BLE. O projeto é constituído pelo desenvolvimento da plataforma de gestão e visualização, pelo receptor dos pacotes provenientes do Broker MQTT e respetivos cálculos segundo o algoritmo a adotar.

### 1.4 Problemas Identificados

Foram identificados diversos problemas em cada um dos projetos a desenvolver durante o estágio. Uma breve descrição é apresentada de seguida.

A página WEB da nidus desde a sua criação já sofreu muitas alterações para seguir os padrões e tendências da concorrência e, portanto, está em constante atualização. Hoje em dia com a mundialização quase todas as pessoas sabem inglês, mas existem algumas pessoas que ou não sabem ou preferem usar a língua nativa. Para tal a Captemp pretende desenvolver uma página WEB com um sistema de tradução e diversas línguas que seja possível de alojar na memória do equipamento, devido ao problemas já referidos para o utilizador escolher a linguagem e assim cativar mais clientes e expandir a Captemp para outros países. Com o acréscimo do serviço de internalização surge o problema de uma interface com necessidade de mais armazenamento. Terão de ser estudadas otimizações que se possam implementar no código já existente. Existe a necessidade de estudar o melhor método de compressão da página mantendo o GZIP utilizado atualmente ou migrar para outro mais recente como o Brotli e a compressão de imagens migrando as imagens existentes para imagens SVG, possibilitando outras soluções para a página com sistemas mais interativos e ocupando o menor espaço disponível. Além dos problemas referidos anteriormente poderão surgir novas funcionalidades, a pedido de clientes, como por exemplo páginas com layout específicos ou novos sensores e a simples correção de possíveis bugs encontrados.

Outro problema a resolver detetado pelo feed-back recebido dos clientes é a complexidade para a criação de eventos, ações e reações, que controlam o Sistema Nidus. Para isso a Captemp pretende reformular a estrutura de gestão de eventos para um sistema mais visual e atual similar ao Scratch, um software utilizado atualmente para ensinar a crianças as bases da programação e elas mesmos criarem alguns programas sem saber nenhuma linguagem de programação. Na figura 1.6 é apresentado um exemplo de pro-

gramação usando a ferramenta Scratch, onde o utilizador com um sistema de blocos pode criar condições e eventos a despoletar consoante algumas condições. Outros

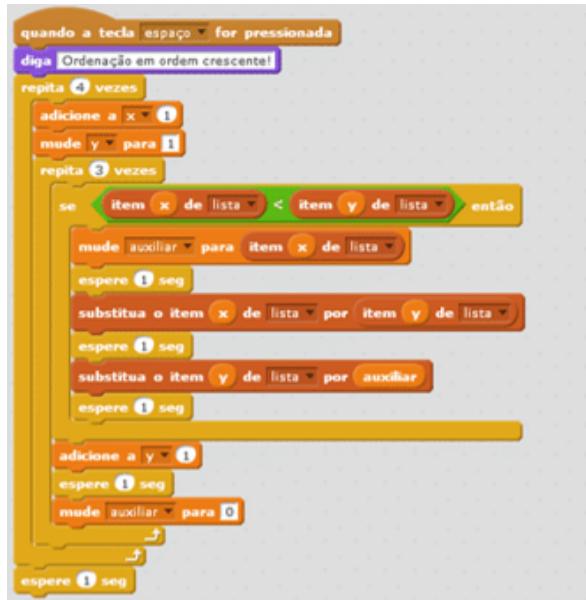


Figura 1.6: Programação com a ferramenta Scratch



Figura 1.7: Data Logger iButton

problemas existentes, a resolver durante o estágio, são a criação de sistemas low-cost, de outros equipamentos CapTemp, para o cliente que não necessita de tantas funcionalidades com a introdução da alternativa para NB-IoT com recurso ao módulo Xbee da Digi, e a substituição de produtos antigos descontinuados, os data-logger(Figura 1.7) e sua substituição por similares com as mesmas funções e mais tipos de sensores disponíveis, uma necessidade também já requisitada pelos clientes que pretendem monitorizar mais grandezas além da temperatura, mas com os padrões e tecnologias dos dias de hoje e com suporte para o novo Portal da Captemp o Senslive. Ou simplesmente o desenvolvimento de novos produtos a pedido dos clientes.

Em resumo os problemas a solucionar durante o estágio podem ser encontrados na seguinte lista:

- Melhorar a compressão da página WEB da Nidus;
- Melhorar a compressão das imagens presentes na página WEB da Nidus;

## *1.5. ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO*

---

- Correção de Bugs da página Web da Nidus;
- Melhorar o processo de criação de eventos;
- Criação de uma página com sistema de tradução automático;
- Versões customizadas da página WEB a pedido do cliente;
- Seguir as tendências da concorrência;
- Criação de soluções/equipamentos de baixo custo;
- Substituição de produtos descontinuados;
- Desenvolvimento de produtos à medida do cliente.

### **1.5 Organização do relatório**

Este presente relatório está dividido em 5 capítulos. O primeiro capítulo faz a introdução ao tema e é apresentado os objetivos, o enquadramento do estágio e alguns aspectos iniciais a considerar.

No capítulo seguinte é apresentada a tecnologia e hardware pesquisado com fim a dar suporte a este mesmo estágio e uma pequena pesquisa sobre projetos/produtos similares quer na finalidade quer nas tecnologias usadas.

O capítulo 3 apresenta o trabalho desenvolvido durante o estágio na empresa para a resolução dos problemas identificados. Este capítulo apresenta os detalhes técnicos das soluções escolhidas.

No capítulo 4 são descritos os resultados dos testes efetuados às soluções propostas e desenvolvidas no capítulo 3.

Por fim no capítulo 5 é apresentada uma breve conclusão de todo o trabalho, dificuldades e algumas sugestões para futuras implementações.

# Capítulo 2

## Estado da Arte

### 2.1 Introdução

Nesta secção é apresentado o estado da arte dos projetos realizados durante o estágio na empresa CapTemp. Nessa ordem é apresentado o funcionamento do sistema do Nidus desenvolvido pela empresa CapTemp e a sua página de configuração e visualização. Na secção 2.2.1 são apresentadas também as metodologias e tecnologias que o sistema implementa atualmente para a compressão das páginas que dão suporte ao sistema. Na secção 2.3, 2.4 e ?? irá ser introduzido o plano inicial dos projetos a desenvolver e a base já existente tal como as tecnologias que estes irão utilizar. Na secção 2.5 será abordado as soluções e tecnologias existentes na comunidade científica e alguns produtos similares, já existentes para os projetos anteriormente referidos.

### 2.2 Coletor de Dados - Nidus

O sistema Nidus, apesar das suas diversas versões de hardware partilha entre todas as versões o mesmo centro de processamento o módulo RCM6760 da Rabbit. O sistema Nidus é composto por dois módulos principais, o Back-end que gere toda a parte de leitura de sensores, de atuação e envio de alertas, log entre as demais funcionalidades e o Front-end, duas páginas WEB Single-Application de modo a não sobrecarregar o módulo com a interface e mover o processamento da interface para o browser do cliente. Na primeira página é possível visualizar os valores obtidos pelo Back-end com atualização em tempo real. Na segunda página é possível carregar as configurações para realizar alterações nas mesmas. A comunicação entre os dois componentes é feita através de XML. Para consultar os valores na primeira página o Front-end acede ao ficheiro values.xml gerado pelo Back-end onde contém todos os valores necessários. Na página de configurações á semelhança da primeira página os valores são carregados por um ficheiro XML o ficheiro setup.xml, incluindo a particularidade de aceitar pedidos POST de modo a alterar as configurações do equipamento.

A Nidus dispõe de base para o utilizador variadas funcionalidades tais como, leitura

de sensores TH3 e Airo, INPUTS digitais, OUTPUTS digitais e analógico, leitura de sensores SNMP e MODBUS, envio de alertas via GSM e E-mail, programação de eventos, envio automático para um portal Cloud e Log Interno. Outras funcionalidades estão disponíveis mediante o pedido do cliente tais como sensores específicos, leitura de sensores por RS232 ou protocolos de comunicação específicos. Na tabela 2.1 são apresentadas as principais características do módulo RCM6760 da Rabbit.

Tabela 2.1: Especificações do Módulo RCM6760

Microprocessor	Rabbit 6000
Frequencia do Microprocessor	200 MHz
Flash Memory	4 MB (Código e Sistema de Ficheiros)
SRAM	1 MB
Power	260 mA 3.3V - Ethernet ON

### 2.2.1 Páginas do Coletor de Dados Nidus

O código desenvolvido de modo a chegar á fase de produção é comprimido e compilado de modo a que ocupe o mínimo espaço e possa ser armazenado na memória do módulo e coabitar com o Firmware de Back-end, segue os seguintes passos de desenvolvimento:

1. Desenvolvimento/ alteração do código JavaScript necessário;
2. Compressão das Imagens necessárias com recurso a ferramentas online tais como o TinyPNG[7] e posterior conversão em Base64 para incluir no JavaScript a imagem e o mesmo poder fazer a gestão da apresentação
3. Compilação/compressão do JavaScript num ficheiro único com recurso ao Google Clousure Platform, nesta etapa para cada versão de hardware é compilado consoante os ficheiros a incluir, poupando o espaço não necessário como o código referente aos Inputs e Outputs na Nidus C, C+ e W, ou o código referente ao módulo wireless nas versões não Wireless.
4. Geração do minificado do código HTML
5. Compressão de cada ficheiro para o seu respetivo GZIP

Após estes passos fica disponível uma nova versão da página pronta a ser carregada na Nidus. Na imagem 2.1 é apresentado o estado e layout de uma página da Nidus IT no momento do início do estágio.

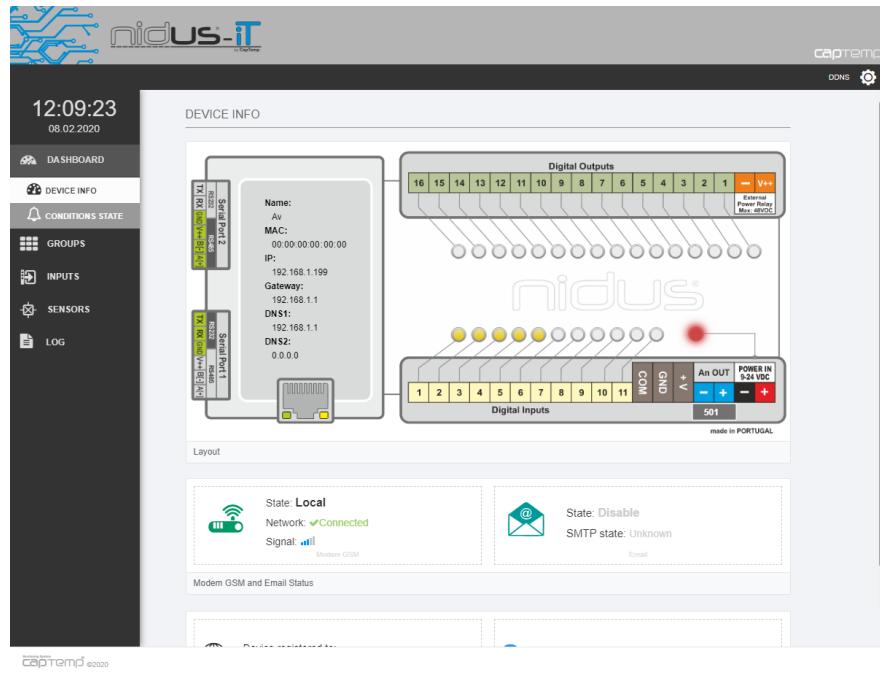


Figura 2.1: Layout página da Nidus IT no início do estágio

## 2.3 NB-Iot & Digi Xbee 3

Os módulos Xbee 3 representado na figura 2.2 da DIGI dispõe recentemente de uma versão NB-Iot/ LTE. Ideal para projetos com baixo volume de transmissão de dados e com baixo consumo de energia. O módulo inclui também um compilador de Micropython, contudo a versão Micropython desenvolvida pela DIGI e incluída no módulo XBee, não inclui todas as funcionalidades do Micropython tais como por exemplo a biblioteca de gestão de Arrays e o módulo de "\_thread" pois o mesmo não tem suporte para multithread. Na tabela 3.1 são apresentadas as principais características do módulo XBee 3 da Digi[8].

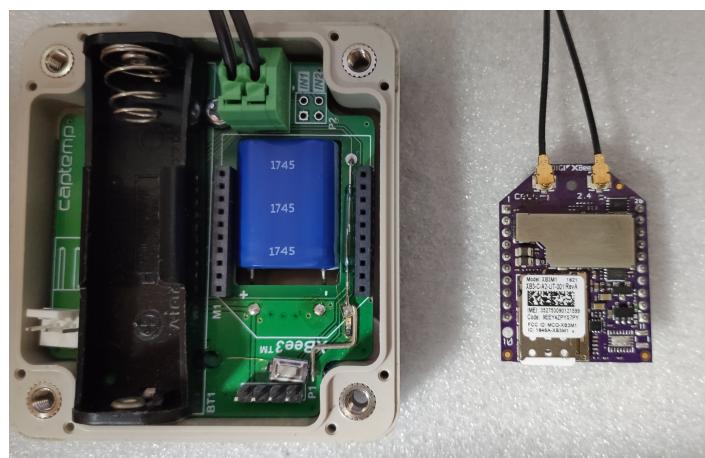


Figura 2.2: Módulo Xbee 3 e placa de expansão desenvolvida pela Captemp

Tabela 2.2: Especificações do Módulo Xbee 3

Chipset	U-blox SARA-R410M-02B
Dimensões	24.38 mm x 32.94 mm
Temperatura de Funcionamento	-40º C to +85º C
Tipo de SIM	4FF Nano
Interfaces	UART, SPI, USB
Programação MicroPython	32 KB Flash / 32 KB RAM
I/O	4 ADC (10-bit), 13 I/O digitais, USB, I2C
Bluetooth	BLE Ready
Potencia de Transmissão	Até 23 dBm
Sensibilidade de Recepção (LTE-M)	-105 dBm
Sensibilidade de Recepção (NB-IoT)	-113 dBm
Velocidade Downlink/Uplink(LTE-M)	Até 375 kb/s
Velocidade Downlink/Uplink(NB-IoT)	Até 27.2 kb/s Downlink, 62.5kb/s Uplink
Alimentação	3.3-4.3VDC
Pico corrente na transmissão	550mA - Bluetooth OFF 610mA - Bluetooth ON
Corrente média de transmissão (LTE-M)	235mA
Corrente média de transmissão (NB-IoT)	190mA
Modo Power Save	20uA
Modo Deep Sleep	10uA

A Captemp pretende, através da utilização deste módulo e de uma placa de expansão desenvolvida pela própria, apresentada anteriormente na figura 2.2, desenvolver uma versão do seu outro equipamento de Nb-Iot, mais simples representando numa opção de menor custo para o cliente. Será necessário desenvolver todo o código referente à gestão interna de Logs para guardar informação quando não existe cobertura para envio, o agendamento do envio e leituras, otimização da memória e bateria e implementação de comunicação bidirecional com encriptação com o portal Senslive. Sempre com recurso á programação em MicroPython. A placa de expansão inclui um módulo de RTC, um conversor 1Wire para possibilitar a leitura de sondas já desenvolvidas pela Captemp, um sistema de alimentação para possibilitar a alimentação por pilha ou por alimentação externa. Ao desenvolver todo o equipamento a empresa tem o controlo total sobre o Firmware e sobre a estrutura de envio e a vantagem de tornar o equipamento compatível com todos os sensores que já possui.

### **2.3.1 MicroPython**

O MicroPython[9], lançado em 2014, é um compilador e interpretador que implementa a linguagem Python3 e otimiza o seu funcionamento em microcontroladores. Escrito em C e disponibilizado em Open-Source é possível adaptar o mesmo para os diversos equipamentos.

É suportado por diversas arquiteturas de processadores tais como:

- x86
- x86-64
- ARM
- ARM Thumb
- Xtensa

Em microcontroladores que suportem Multi-thread , não sendo o caso do módulo usado está disponível ao programador o módulo de " \_thread"para criar processamento paralelo. Disponibiliza a programação de interrupções físicas, uteis em microcontroladores, tem disponível um "Garbage collector"para gerir a memória do microcontrolador e bibliotecas tais como "usocket"para criação e gestão de sockets, "network"para gerir a comunicação com o módulo específico de cada microcontrolador, ou a biblioteca para gerir o módulo de Bluethooth denominada por "ubluetooth". As bibliotecas disponíveis encontram-se no Site oficial da documentação[10].

### **2.3.2 NB-Iot/ LTE-M**

O NB-Iot ou Narrowband Iot e o LTE-M são tecnologias de Low Power Wide Area. São indicadas para sistemas Smart em diversas áreas como a monotorização, a agricultura, localizadores entre outras áreas. Similar ao funcionamento da rede móvel, onde cada equipamento possui um cartão SIM e se liga á rede fornecida pelo operador, mas utilizado em equipamentos com menor transmissão de dados e que não tem acesso a fontes de alimentação fixas e requerem de baterias, o NB-Iot promete autonomias das baterias a rondar os 10 anos[11].Devido ao baixo volume de dados o plano de dados é possível apenas com pequeno investimento obter anos e até décadas de transmissões de dados.

De entre as vantagens podem-se destacar:

- Baixo Consumo

- Longo alcance e boa penetração
- Baixo custo de desenvolvimento na implementação da cobertura
- Custo reduzido pelas transmissões
- Sem necessidade de Roaming

A cobertura da rede está a ser implementada pelas operadoras de telecomunicações que já possuem cobertura da rede GSM e infraestrutura de ligação á rede Internet desenvolvida e apenas necessitam de disponibilizar cobertura nas antenas de rede móvel, normalmente já existe compatibilidade de Hardware e basta atualizações de Firmware. É aconselhado pelas operadoras que se utilize o Nb-Iot para equipamentos fixos e o LTE-M para equipamentos em movimento.

#### 2.3.2.1 Low Power Wide Area

As redes Low Power Wide Area são redes usadas frequentemente no IOT quando é necessário enviar dados a distâncias longas. Combinam a largura de banda e o consumo de bateria presente em redes como BLE e Zigbee, com alcance igual ou superior às redes de comunicação GSM. São caracterizadas por ter longo alcance, um baixo custo de transmissão e baixo consumo, onde simples baterias podem fornecer alimentação na ordem das décadas. Este alcance pode ser conseguido por exemplo por redes multihop ou modulações específicas que privilegiam o consumo energético e o alcance. A comunicação 2G e 3G pode ser usada em comunicação M2M mas as mesmas tem uma largura de banda superior ao necessário o que resulta em consumo de bateria excessivo onde não é tirado proveito da largura de banda disponível. Alguns exemplos de redes Low Power Wide Area, ou simplesmente denominadas por LPWAN, são o DASH7, o SigFox, LoRa, Ingenu, Telensa ou o NarrowBand Iot.[12]

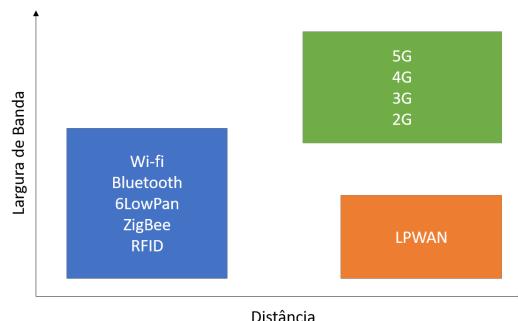


Figura 2.3: Gráfico com relação Distancia vs Largura de Banda[1]

## 2.4 Kea Tracker

O Projeto Kea Tracker utiliza Beacon's da Ruuvi, uma Beacon open-source[13], que disponibiliza de forma open-source tanto o Firmware para alterações, como as aplicações para Android e IOS. Será desenvolvida uma aplicação baseada na aplicação fornecida e o Firmware para disponibilizar a funcionalidade de data-logger.

### 2.4.1 Beacons BLE

O Bluetooth Low Energy ou simplesmente BLE foi desenvolvido a pensar nos novos equipamentos IOT, onde os utilizadores querem vários equipamentos ligado ao mesmo tempo. Para tal foi desenvolvido o BLE que permite mais ligações ao mesmo tempo comparando com o Bluetooth clássico. Como é indicado no nome, o principal fator diferenciador nesta versão, utilizada muitas vezes em equipamentos IOT, é o baixo consumo de aproximadamente metade relativamente ao Bluetooth normal. Outras características melhoradas a visar os equipamentos de IOT no BLE são a baixa largura de banda e o baixo tempo de transmissão.

Com o desenvolver do BLE foram criados, novos tipos de equipamentos, nomeadamente as beacons, equipamentos quase sempre alimentados por pilhas, que comunicam através de BLE, tornando o equipamento portátil. As beacons são caracterizadas por transmitir pequenas quantidades de informação em Broadcasting. Existem dois tipos de beacons as beacons não conectáveis e as conectáveis[2]. Como indicado no nome as beacons conectáveis permitem que um equipamento (como um smartphone) se conecte á beacons e esta fica preparada para receber dados. As não conectáveis apenas permitem o broadcasting dos dados, poupano energia pois apenas é necessário ter o módulo acordado para fazer o broadcast e o restante do tempo podem estar num estado sleep. Na figura 2.4 é apresentado o pacote que é transmitido em broadcast para os outros equipamentos ao alcance.

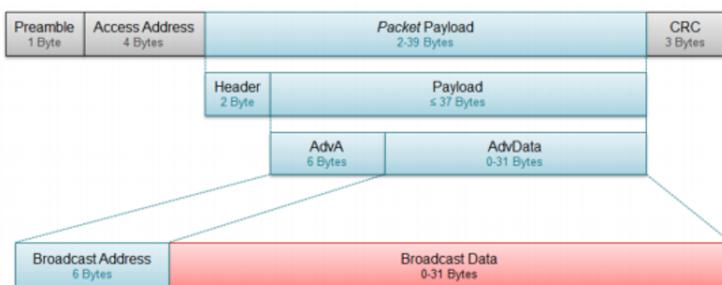


Figura 2.4: BLE Broadcast packet[2]

### 2.4.2 Ruuvi Beacons

Neste projeto o firmware das beacons necessita de uma alteração, tornar a beacon numa beacon conectável e esta armazenar internamente as últimas leituras num buffer circular e criar um data-logger e caso o cliente pretenda poderá conectar mais tarde para fazer o download para aplicação e posterior envio para o Senslive, não necessitando a proximidade do smartphone á beacon durante todo o tempo. A Ruuvi dispõe de dois modos de desenvolvimento de firmware da beacon em C ou usando o Espruino, á semelhança do MicroPython um interpretador de JavaScript para microcontroladores lançado em 2012, totalmente compatível com as beacons da Ruuvi.

### 2.4.3 Apps Smartphones

Na fase inicial será adaptada a versão disponibilizada para Android para agilizar a integração com o portal Senslive. A aplicação base para android disponibilizada pela Ruuvi foi desenvolvida em Kotlin[14], uma linguagem desenvolvida pela JetBrains multiplataforma e que inclui o Android nessas plataformas compatíveis. De seguida estão apresentadas as alterações necessárias na aplicação:

- Alteração das Imagens e Logotipo da App;
- Alteração do Nome da App;
- Remoção de conteúdo não necessário;
- Bloqueio do URL de envio para usar exclusivamente o portal Senslive;
- Melhoramento da precisão da posição GPS;
- Possibilidade da alteração dos intervalos de registo

À semelhança do projeto Kea Tracker o projeto dot.Tracker usa igualmente beacon's BLE para enviar a informação necessária para o respetivo portal. É necessário recolher os pacotes recebidos das beacons enviá-los para o servidor e calcular a distância entre a beacon e o receptor e com o auxílio de múltiplos receptores realizar a triangulação da beacon num mapa. No decorrer do projeto será necessário desenvolver uma plataforma web para receber e visualizar as localizações provenientes das beacons e respetivas configurações, adotar o método de algoritmo para a triangulação da beacon relativamente a vários receptores e realizar testes ao funcionamento e precisão do sistema.

#### **2.4.4 Beacons e gateway**

Para este projeto irá ser utilizado durante o desenvolvimento a solução da Beacon Line[15] e posteriormente desenvolvido receptores proprietários da Captemp. A solução apresentada pela Beacon Line, é composta por um gateway e vários nós. Cada nó possui um receptor BLE e quando o mesmo recebe um broadcast proveniente da beacon o transmite para o gateway. Caso exista alguma divergência da potência de transmissão desde o último pacote enviado por essa mesma beacon o gateway com conectividade Ethernet realiza o publish num broker onde é possível o servidor obter os pacotes das beacon's.

### **2.5 Soluções e Tecnologias Disponíveis**

Neste subcapítulo abordamos algumas das abordagens possíveis para atingir os objetivos nas secções anteriores (Secção 2.5.1), assim como a aplicação dos mesmos em produtos existentes (Secção 2.5.2).

#### **2.5.1 Tecnologias Disponíveis**

Existem diversas abordagens possíveis para a compressão de ficheiros de código, de imagens e localização indoor. Algumas destas são descritas de seguida.

##### **2.5.1.1 Compressão de Ficheiros**

Atualmente a vida online do Homem passou a ter um grande impacto na sua vida. Para tal as páginas web e seus conteúdos foram aumentados em quantidade e tamanho e com menores tempos de resposta. Isso é aplicável tanto aos ficheiros que contêm o layout da página, quer das imagens. Para poupar dados de transmissão e reduzir tempos de envios, ou simplesmente suportar larguras de banda inferiores, os browsers integraram a possibilidade de receber os ficheiros comprimidos e fazer a descompressão para mostrar ao cliente quase em tempo real. Atualmente os browser recentes suportam a compressão por GZIP( já utilizado na página do equipamento Nidus) e compressão utilizada a codificação Brotli [16] [17]. Cada método de compressão possui as suas vantagens e desvantagens, o brotli por sua vez à semelhança de outros métodos em comparação com o GZIP, tem uma taxa de compressão superior[18], isto significa que consegue reduzir o mesmo ficheiro no seu respetivo ficheiro comprimido ocupando menos espaço em relação ao GZIP, mas como desvantagem o tempo de compressão do mesmo é superior. Ao contrário da compressão, na descompressão o Brotli tem melhores resultados do que nas restantes alternativas apresentando velocidades superiores de descompressão.

O GZIP e o brotli usam na sua compressão para reduzir o tamanho do ficheiro o algoritmo de compressão LZ77, que procura sequências repetidas utilizando o método de janela deslizante e substitui essas sequências por referências para a primeira ocorrência que não foi substituída indicando a distância a que a primeira ocorrência ocorre e o tamanho a substitui.

O sistema de janela deslizante define um tamanho da janela e ao deslocar a janela do tamanho definido define um dicionário. Após definir o dicionário com vários tamanhos de janelas, percorrer novamente o ficheiro através do método de janela deslizante novamente a procurar repetições das entradas que existem no dicionário. Quando uma sequência é encontrada esta é substituída por uma referência da posição da primeira ocorrência da mesma. Na figura 2.5 é apresentado um exemplo do funcionamento da janela deslizante para a obtenção do dicionário com o tamanho da janela a variar de 2 a 7.



Figura 2.5: Funcionamento da Janela Deslizante

Na figura 2.7 e 2.8 é apresentado dois exemplos visuais e simples utilizando frases de como o LZ77, usado pelo GZIP e Brotli através do sistema de janela deslizante procura as repetições e comprime os ficheiros. Na Figura 2.6 é apresentado o ficheiro base, representado por um pequeno texto. No exemplo apresentado pela figura 2.7 apenas foi utilizado a substituição de palavras inteiras, na figura 2.8 procura sequências de caracteres sejam elas palavras ou não. Nos exemplos apresentados a redução foi de  $20\% [1 - \frac{48}{60} \times 100\%]$  no primeiro exemplo e de aproximadamente  $32\% [1 - \frac{41}{60} \times 100\%]$  no segundo.

A		M	A	R	I	A		F	O	I		A	P	R	A	I	A	.	
A		P	R	A	I	A		E	S	T	A	V	A		V	A	Z	I	A
S	O	L	A	E	S	T	A	V	A		A		M	A	R	I	A		

Figura 2.6: Sequência não comprimida

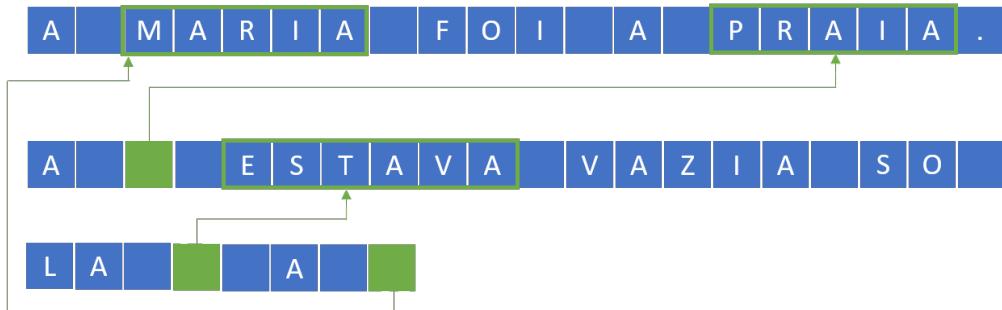


Figura 2.7: Sequência comprimida com LZ77 (apenas palavras)

### 2.5.1.2 Compressão de Imagens

O utilizador pretende igualmente ver as imagens com a máxima qualidade, mas qualidade significa um maior detalhe e por sequencia um ficheiro de maior tamanho. Existem atualmente vários softwares online e locais que reduzem o tamanho das imagens. Na conceção da página da Nidus é utilizado o website TinyPNG.com que analisa a imagem original e converte as cores em cores mais simples de o sistema armazenar, como por exemplo uma imagem com 24 bits de profundidade de cor pode ser convertido em uma similar com apenas 8 bits reduzindo o tamanho do ficheiro e imperceptível para o olho humano num ecrã[19]. Alternativamente ao Tiny Png existem softwares, similares alguns de licença GNU/GPL, para comprimir imagens. Com o "Mass Image Compressor"[20](apenas um exemplo), é possível comprimir as imagens com a possibilidade de indicar a quantidade de compressão.

Com a enorme quantidade e diversidade de monitores existentes, as páginas web necessitam de ser responsivas e apresentar a melhor imagem para o monitor em questão, isso normalmente traduz-se em várias versões similares da imagem alojadas no servidor. No caso dos microcontroladores e sistemas embutidos o espaço encontra-se limitado

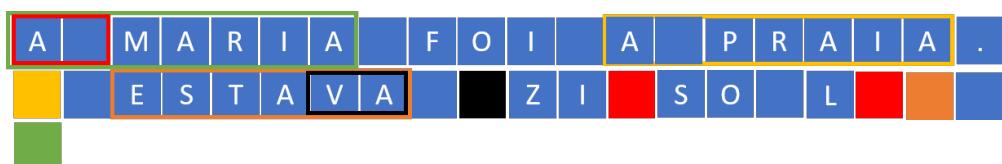


Figura 2.8: Sequência comprimida com LZ77(palavras e sequências)

e deve-se arranjar uma solução. Uma solução possível é ao invés da utilização de imagens PNG, JPG ou outras, é a utilização de imagens em SVG, onde a imagem é representada por um ficheiro XML que descreve uma imagem bidimensional e utiliza na sua constituição modelos matemáticos para o cálculo das posições dos elementos. Com isto é possível manipular o XML em tempo real para alterar elementos ou remover, alterar cores, criar animações entre outras. Inclui a vantagem de como a imagem é representada por formulas matemáticas, é possível escalar a imagem sem perder qualidade, pois a função matemática é ajustável. Num sistema embebido como o caso da Nidus é vantajoso a utilização de imagens em SVG para criação das animações. Atualmente as animações da página da Nidus são criadas com várias imagens PNG comprimidas e convertidas em base64 e são alternadas no HTML pelo JavaScript. Com a utilização de imagens SVG é possível ter apenas uma imagem alojada e manipular a imagem em tempo real através do JavaScript de uma forma mais suave para o utilizador, pois apenas a zona a alterar é alterada na imagem. À semelhança dos JPG e PNG o SVG também pode ser comprimido, para tal basta no XML da imagem remover os meta-dados e utilização de funções matemáticas mais simples, não necessários para o browser apresentar a representação gráfica do mesmo, mas os softwares de edição adicionam para funcionalidades exclusivas do editor. À semelhança dos ficheiros HTML após a remoção dos meta-dados o ficheiro pode ser minificado.

### 2.5.1.3 Localização indoor

É possível encontrar na comunidade científica vários estudos sobre a utilização de redes Wi-Fi e Bluetooth para sistemas de localização. Estes mesmos focam-se no cálculo das distâncias do equipamento para vários recetores no mesmo intervalo temporal, algumas destas soluções baseiam-se nos valores de RSSI da transmissão e o valor definido como constante da potência de transmissão à distância de 1 metro, e estimar a sua distância aproximada de cada receptor, com essas aproximações é possível através do algoritmo escolhido[21], obter a estimativa da localização do equipamento e a sua colocação num mapa. A distância de um receptor para o emissor baseada no valor de RSSI é expressa pela seguinte formula, onde dbm é a constante da potência de transmissão da beacon a 1 metro, n a constante do ambiente e o RSSI corresponde ao RSSI da transmissão:

$$d = 10^{\left(\frac{dbm - RSSI}{10 \times n}\right)}$$

Após a obtenção da distância para cada receptor é possível aplicar um algoritmo para estimar a localização. Os mais referenciados e adotados são o centroid baseado no centro geométrico do polígono formado pelas intersecções das circunferências criadas com o raio da distância calculada pela fórmula anteriormente apresentada, o método

Three-border Positioning e o Least Square Estimation. Como é possível observar na figura 2.9 utilizando o método do centroid, o centro geométrico corresponde à localização do equipamento com base nos receptores. A formula que representa o centro utilizando o centroid é expressa pela seguinte equação onde n representa o numero de receptores utilizados no cálculo.

$$(x, y) = \left( \frac{x_1+x_2+x_3+\dots+x_n}{n}, \frac{y_1+y_2+y_3+\dots+y_n}{n} \right)$$

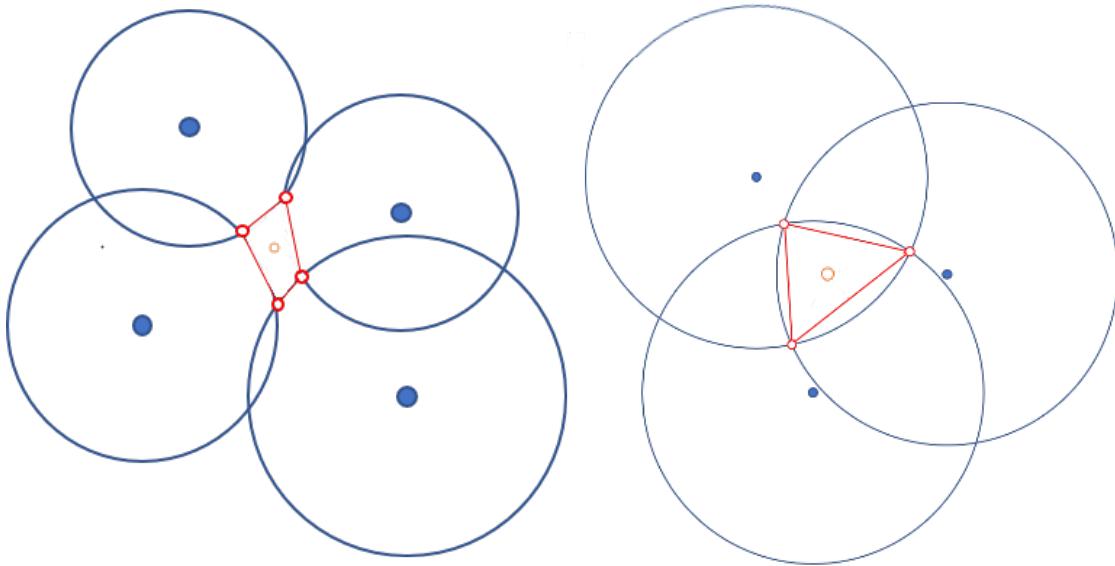


Figura 2.9: Posição utilizando o método Centroid com 3 e 4 receptores

Ao invés da utilização do método do centroid se for adotado o método Three-border Positioning, é criada a função definida por ramos composta pelas três equações da circunferência A, B e C com os respetivos centros em cada receptor e com o raio igual à distância calculada para esse mesmo receptor. Para calcular a posição estimada é calculado o resultado dessa mesma função de modo a encontrar o ponto x,y que representa a posição do equipamento.

Utilizando o método Least Sqare Estimation ou simplesmente LSE e à semelhança do Three-border Position[22] é criada a função de ramos das equações das circunferências dos vários receptores com o raio da distância calculada, mas pode igualmente como o centroid utilizar mais do que três receptores aumentando a precisão.

Hua, Z., Hang, L., Yue, L., Hang, L., & Kan, Z. (2014). Geometrical constrained least squares estimation in wireless location systems. 2014 4th IEEE International Conference on Network Infrastructure and Digital Content. apresenta os passos necessários calcular a posição X do equipamento através do método LSE. Em primeiro são criadas a função de ramos composta pelas equações das circunferências com centro nos receptores ( $[x_1, y_1], [x_2, y_2], [x_3, y_3], [x_4, y_4]$ ) e o raio igual à distância calculada( $d_1, d_2, d_3, d_4$ ).

$$\begin{cases} (x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 = d_1^2 \\ (x_2 - x)^2 + (y_2 - y)^2 = d_2^2 \\ (x_3 - x)^2 + (y_3 - y)^2 = d_3^2 \\ (x_4 - x)^2 + (y_4 - y)^2 = d_4^2 \end{cases}$$

Após a criação da função é subtraido o primeiro ramo aos restantes ramos e a função reduz o numero de ramos para n-1 onde n representa o numero de receptores a usar na função.

$$\begin{cases} 2(x_2 - x_1)x + 2(y_2 - y_1)y = x_2^2 - x_1^2 + y_2^2 - y_1^2 + d_2^2 + d_1^2 \\ 2(x_3 - x_1)x + 2(y_3 - y_1)y = x_3^2 - x_1^2 + y_3^2 - y_1^2 + d_3^2 + d_1^2 \\ 2(x_4 - x_1)x + 2(y_4 - y_1)y = x_4^2 - x_1^2 + y_4^2 - y_1^2 + d_4^2 + d_1^2 \end{cases}$$

A função pode ser representada pelo seu equivalente numa representação de matrizes por  $2AX = b$  onde.

$$A = \begin{bmatrix} x_2 - x_1 & y_2 - y_1 \\ x_3 - x_1 & y_3 - y_1 \\ x_4 - x_1 & y_4 - y_1 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_2^2 - x_1^2 + y_2^2 - y_1^2 - d_2^2 + d_1^2 \\ x_3^2 - x_1^2 + y_3^2 - y_1^2 - d_3^2 + d_1^2 \\ x_4^2 - x_1^2 + y_4^2 - y_1^2 - d_4^2 + d_1^2 \end{bmatrix}$$

A posição estimada do equipamento representada no exemplo por X é definida por:

$$X = \frac{1}{2}(A^T A)^{-1} A^T b$$

Os testes analisados demonstram[21] , que o método LSE é o método que obtém os melhores resultados com os valores mais próximos do real. No teste apresentado em segundo lugar está o Three-border Position e por último o Centroid. Com algumas discrepâncias em algumas das amostragens.

## 2.5.2 Produtos Similares

### 2.5.2.1 NB-Iot

Atualmente no mercado começam a surgir alguns produtos similares ao que se pretende desenvolver como é o caso dos sensores da Efento[23], que disponibiliza vários

tipos de sensores que comunicam por NB-Iot. A Efento é uma empresa fundada em 2014 e é focada em desenvolvimento de equipamentos IOT. Atualmente desenvolveram versões com suporte para NB-Iot. Estes equipamentos tem a desvantagem de não ser compatível com o pacote de envio desenvolvido no portal Senslive e apenas permite o envio para o portal da Efento e não existe a possibilidade da utilização das sondas já comercializadas pela Captemp. Como vantagem á semelhança do equipamento a desenvolver é a utilização de um sistema com Log para quando não existe possibilidade de comunicação. Devido ao desenvolvimento da tecnologia ainda existem poucas soluções em comercialização, estando as mesmas em desenvolvimento. A Captemp possui igualmente outro equipamento, completamente desenvolvido pela empresa, em desenvolvimento que tira partido do NB-Iot com o acréscimo em relação ao que se pretende desenvolver durante o estágio, a possibilidade de ter mais sensores, maior capacidade de Log interno, configuração por Bluetooth, GPS e um Display integrado como extra.

### 2.5.2.2 Kea Tracker

Após pesquisas online é possível encontrar algumas soluções de beacons que permitem o armazenamento interno de leituras para desenvolver um sistema de data-logger tais como a Beacon da Fujitsu, a FWM8BLZ02A-109069[24] , á semelhança da beacon da Ruuvi usa o mesmo chip o nRF52832 da Nordic Semiconductor, mas apresenta como vantagens a inclusão de um sistema de Logs interno com capacidade para aproximadamente 4080 leituras e a diversidade de sensores já incluídos. Como desvantagem em relação á Beacon da Ruuvi tem a inclusão de um sensor de temperatura ao invés de temperatura e humidade, não possui sensor de pressão atmosférica e não é open-source possuindo um firmware fechado. A vantagem de se desenvolver um produto desde a sua raiz é a possibilidade de ter o controlo total sobre a solução para posteriores melhoramentos e ter a solução a desempenhar apenas o que pretendemos.

Outra solução existente no mercado é igualmente a solução da Blue Maestro que possui variadas versões de beacons. Á semelhança da Beacon da Fujitsu possuem igualmente sistema de Log. Contrariamente á FWM8BLZ02A-109069 é uma beacon que tem disponível em Open-Source uma API e um SDK para desenvolver as nossas aplicações. Comparada com a beacon da Ruuvi, a Ruuvi beacon é completamente open-source e não apenas a API para comunicação.

Na tabela 2.3 são apresentadas as diferenças e semelhanças entre os três modelos analisados

Tabela 2.3: Comparaçāo entre beacons [3][4][5]

	Ruuvi Tag	Fujitsu Beacon	Blue Maestro
Processador	nRF52832	nRF52832	?
Memória	512kB Flash 64kB RAM	32K Não volátil	?
Protocolos	Bluetooth 5 Wirepass Mira OS QUUPA Others (2.4GHz)	Bluetooth 4.1	BLE 4.2
Potência de Transmissão	+4 dBm	-16, -12, -8 -4, 0, +4 dBm	-4, 0, +4 dBm
Sensores	Acelerometro Temperatura Humidade Pressão	Acelerómetro Temperatura	Temperatura Humidade Pressão
NFC	✓	-	-
Bateria	CR2477 1000mAH - Li/MnO2	CR2450	CR2032
Autonomia (esperável)	10 Anos	1 Ano em Broadcast	1 Ano em Broadcast 2 Anos com Log
Data Logger	- (a desenvolver)	✓	✓
Open Source	✓	-	✓( API & SDK )
Informações	IP67 2 Botões 2 Leds 52mm Ø	Led 40 x 31 x 12mm	24000 Registos 33mm Ø

# Capítulo 3

## Trabalho Desenvolvido

### 3.1 Introdução

Nesta secção é apresentado o trabalho e desenvolvimento dos projetos realizados durante o estágio e á semelhança do capítulo anterior cada projeto será desenvolvido num subcapítulo dedicado.

### 3.2 Coletor de Dados - Nidus

### 3.3 NB-Iot & Digi Xbee 3

O desenvolvimento do projeto NB-Iot & Digi Xbee 3 é composto por 4 fases, 3 das quais desenvolvidas durante este estágio. A fase não desenvolvida durante o estágio refere-se ao desenho e produção do hardware e a parte do software referente á leitura de sensores (comunicação entre hardware desenvolvido e software). As fases realizadas durante o estágio são a implementação do envio do pacote definido com os mecanismos de proteção e segurança, sincronismo dos tempos de leitura e envio e testes ao sistema.

#### 3.3.1 Envio de dados para o portal

Como foi indicado no Capítulo 2.3 a estrutura de pacote a enviar é similar ao do outro produto desenvolvido pela captemp. Este pacote é enviado através de um pacote UDP para o portal que posteriormente confirma a receção na camada de aplicação. O tamanho máximo definido para este pacote é de 1000 bytes. A estrutura criada pela captemp segue o formato apresentado na figura 3.1.

No Primeiro cabeçalho é possível obter os dados do equipamento que fez o envio tais como a data de envio, o IMEI, a versão do mesmo e o CRC do pacote para confirmar a integridade do mesmo. No restante do pacote são adicionados vários sub pacotes seguindo a estrutura apresentada na figura 3.1, o primeiro byte indica o tipo de dados se é envio o valor de um sensor uma configuração do equipamento(Exemplo:

Operadora), o byte seguinte fornece o número de bytes dos dados e posteriormente segundo o número de bytes, o valor (Exemplo: operadora = "ALTICE").

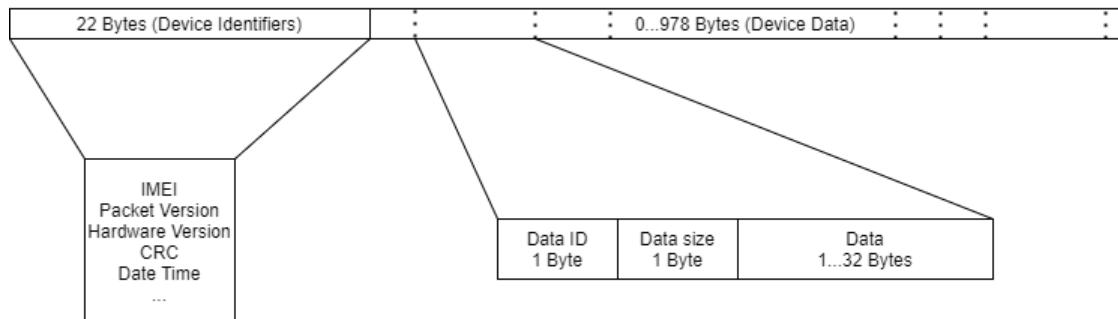


Figura 3.1: Estrutura do Pacote NB-IOT

### 3.3.2 Gestão de memória

O principal motivo da desistencia da utilização deste equipamento como o equipamento principal da Captemp para o NB-iot é a incorreta gestão de memória do MicroPython. Segundo a documentação quando uma variável já não é acessível pelo código esta é removida pelo *Garbage Collector* mas o espaço de memória ocupado fica disponível mas não é mais usado pelo MicroPython e este aloca no final ao invés de procurar o primeiro espaço disponível. No esquema apresentado na figura 3.2 é apresentado o comportamento da memória com a gestão nativa do MicroPython, com o decorrer do tempo a memória fica totalmente alocada não permitindo ao equipamento guardar novas leituras nem enviar para o portal.

#### 3.3.2.1 Diminuição da alocação de memória

A modo de resolver a incorreta gestão de memória é necessário diminuir a alocação de novas variáveis. Para tal todo o código do programa visa a possuir todas as constantes e variáveis em variaveis globais as quais nunca são eliminadas e criadas apenas alteram o seu valor. Os dois pontos criticos identificados são o array circular com as leituras dos sensores e a criação do pacote de envio para o portal Cloud.

Na criação do pacote todos os cabeçalhos fixos são alocados em constantes globais que não vem o seu valor alterado não afetando a memória e os valores que podem ser alterados são guardados em buffers globais criados no inicio e tem o seu tamanho estático. Devido á utilização de um módulo que possui suporte para multithread não existe problema de sincronismo entre os fluxos ao utilizar as variáveis e os buffers globais. Ao recolher um dado de modo a enviar para o portal, como por exemplo a operadora, este tem de ser alocado num buffer que depois é enviado pela rede para

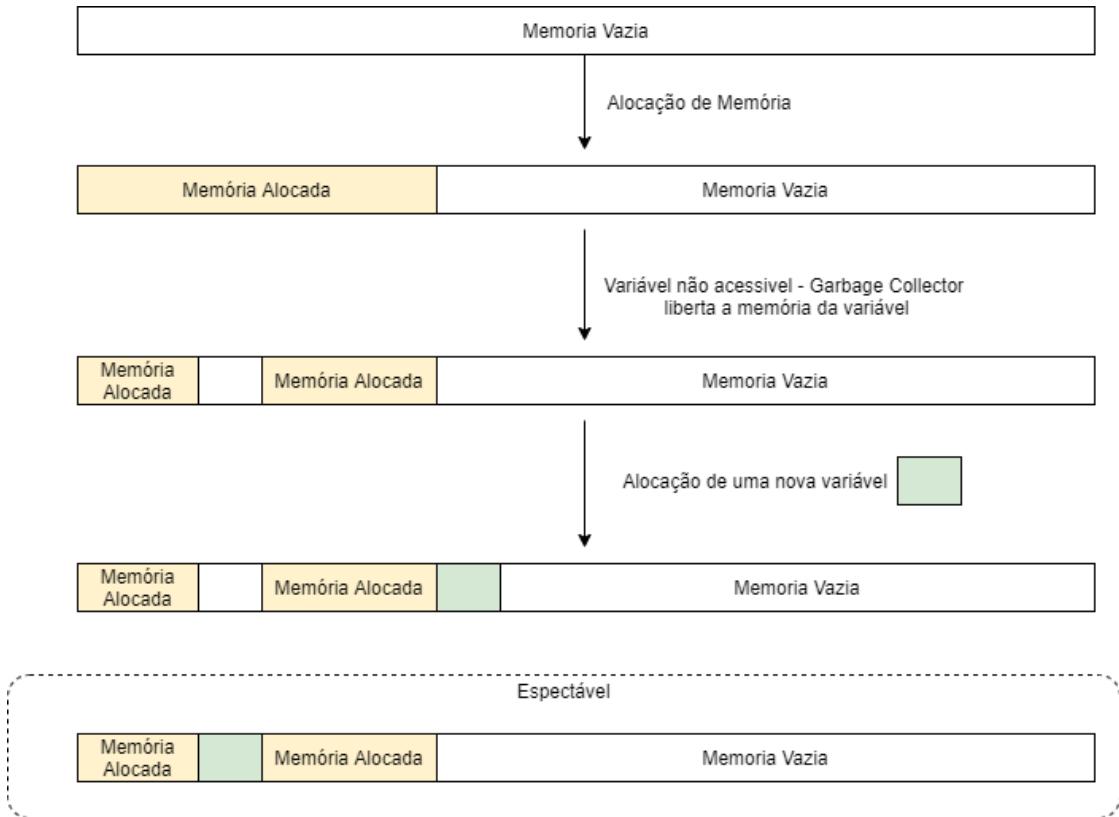


Figura 3.2: Comportamento da gestão de Memória

o servidor. Este buffer de bytes com o tamanho fixo do máximo do pacote de envio é utilizado para fazer a concatenação dos vários campos antes de enviar. Caso se pretenda adicionar valores a enviar é consultada a ultima posição ocupada, encontrada numa variável separada e é alterado os bytes das posições seguintes para o bytes do valor não alocando espaço para continuar o array.

Supondo que o buffer tem já preenchidos 300 bytes dos 1000, ao pretender adicionar o pacote da operadora, é copiado para a posição 301 o byte correspondente á DATA ID do operador, no byte seguinte é colocado o tamanho de bytes que a operadora ocupa ("ALTICE"= 6 Bytes), e nos seguintes 6 bytes é colocada a string.

No exemplo acima elucidado todas a variável DATA ID é estática e definida no inicio do código, o tamanho foi previamente guardado numa variavel auxiliar de tamanho fixo, e a operadora é solicitado a funções nativas do MicroPython e guardado num buffer de tamanho fixo. Após a definição apenas são efetuadas copias de bytes entre variaveis e buffers não afetando a alocação de memória. No código seguinte é exemplificado a operação anteriormente apresentada. Neste caso de modo a simplificar é apresentado um buffer do tamanho da operadora, no projeto foram criados buffers do tamanho 1,2,4,10,16,32 bytes consoante os valores mais comuns, no caso particular de um valor que possa ter por exemplo 20 bytes este é guardado no buffer de 32 e no

momento da gravacao apenas são copiados os 20 primeiros bytes.

```
c=bytearray(1000) # Packet Array
clean=bytearray(1000) # Empty Packet Array

#BUFFERS

cmd6=bytes(6)
cmdID=bytes(1)
cmdLEN=bytes(1)

#DATA IDs
c0=bytes([0x01])

(...)

cmdID = c0 # DATA ID
cmdLEN = (6).to_bytes(1, 'little') # Data Size
cmd6 = bytes(opr, 'ascii') # Data (string to bytes)
byteschange(c, 300, 301, cmdID) # Copy to packet array
byteschange(c, 301, 302, cmdLEN) # Copy to packet array
byteschange(c, 302, 308, cmd6) # Copy to packet array
```

Ao copiar valores de entre buffers e não alocando espaço ao array, é necessário um maior controlo nos tamanhos das variáveis de modo a não copiar valores de buffers vazios ou posições enexistentes. A versão do MicroPython disponibilizada pela Digi não incorpora a biblioteca que faz a gestão de arrays limitando não possibilitando a cópia direta de arrays para outros arrays indicando apenas a posição inicial. Para tal a função byteschange definida previamente no código, simula essa operação onde apenas indicamos o buffer de destino, a posição inicial, a final e a origem da cópia. Esta função é responsável por verificar se os tamanhos são possíveis de copiar e copia posição a posição (byte a byte no caso apresentado) para as posições entre os valores indicados. No fim do pacote ser enviado é possível limpar o buffer chamando a mesma função indicando como origem da cópia o buffer clean, um buffer constante do mesmo tamanho mas com os bytes todos vazios. Todos os buffers utilizados ao longo do projeto tem um semelhante em tamanho mas completamente vazio. Deste modo é possível utilizar sempre os mesmos buffers e não existir a necessidade de alocar buffers ao longo do programa.

### 3.3.2.2 Gestão da memória durante leituras

À semelhança do buffer onde é gerado o pacote enviado para o portal, as leituras são um dos pontos criticos referente á alocação de memória. Para tal á semenlhança do pacote de envio, é inicializado no inicio do programa, um array de tamanho fixo e com cada posição com um array do tamanho máximo de cada leitura. Ao adicionar uma nova leitura são colocados nos buffers intermédios todos os dados e são copiados para a posição seguinte á ultima posição ocupada. Caso a ultima posição ocupada corresponda à ultima do array, é adicionado sobre a primeira posição, criando assim o array circular.

Todas as operações para adicionar uma leitura ao array ou remover são efetuadas com a função byteschange de copiando o buffer temporário com a leitura ou o vazio respetivamente. Na figura 3.3 é apresentado o esquema do array circular com as leituras. Como array é definido inicialmente e o utilizador pode alterar as sondas enquanto o equipamento está em funcionamento é sempre alocado para cada leitura o numero de bytes necessário para o máximo de sensores garantindo que caso o utilizador adicione um sensor não seja necessário expandir o tamanho da posição no array causando os problemas de memoria já identificados. Para eliminar a posição é decrementado a posição currente do array e por proteção de modo a posteriormente não acedermos a dados que possam la existir, como por exemplo numa leitura antiga com 6 sensores e nova com 3 sensores os ultimos 3 sensores da leitura antiga ainda estavam associados apesar de no cabeçalho da leitura indicar que eram apenas 3. COpiando uma leitura vazia para a posição da leitura garantimos que nao existem dados sem nexo a afetar alguma das leituras.

### 3.3.3 Sincronismo de Leitura e Envio

À semelhança dos restantes produtos produzidos pela captemp existe sempre sincronismo de leituras entre os equipamentos. Para tal além de cada equipamento possuir um relógio interno (RTC), é necesario fazer o sincronismo na primeira leitura, ou seja caso esteja programado para fazer a leitura a cada 5 minutos, existe uma diferença caso o mesmo seja ligado às 00:00 e fazer as leituras respetivamente às 00:05, 00:10,00:15,00:20 , mas caso seja ligado por exemplo às 00:12, faz leituras às 00:17,00:00:22 e por diante não existindo um sincronismo entre os vários equipamentos dos clientes.

Para tal o equipamento no momento inicial do arranque verifica qual o intervalo de leitura e de envio, e verifica caso fosse ligado pelas 00:00 qual seria a proxima leitura ao momento atual, neste momento o equipamento não entra em modo de poupança de energia durante os 5 minutos até á leitura e apenas o tempo restante até ao valor caso fosse ligado pelas 00:00, no momento da leitura o equipamento já entra em modo

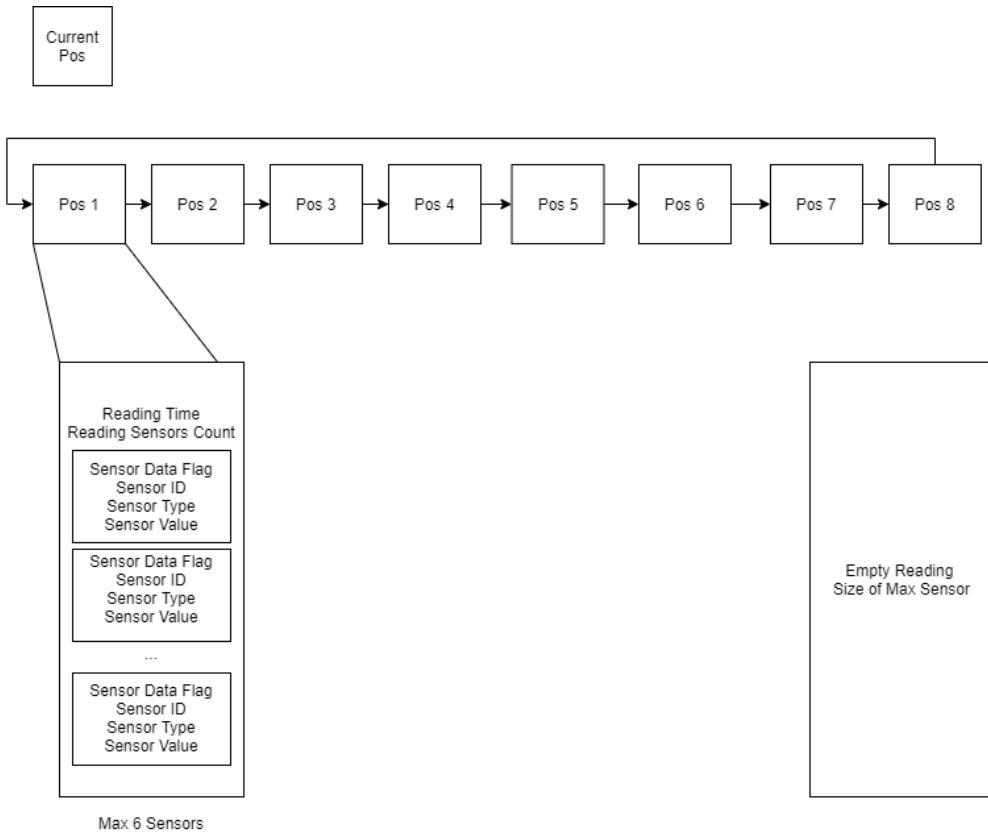


Figura 3.3: Array Circular com leituras

de poupança de energia durante o tempo definido (Ex:5 minutos). Este método é igualmente aplicado ao intervalo de envio. Aquando do envio é enviado na resposta proveniente do servidor o *Timestamp* do servidor de modo a sincronizar o tempo de todos os equipamentos e configurar nos novos equipamentos que sejam ligados e ainda possuam o valor default do RTC, no caso do escolhido no projeto 1 de Janeiro de 2000.

Caso o equipamento possuir uma data inferior á estipulada de 1 de Janeiro de 2019, o mesmo não faz leituras, esperando pelo intervalo de envio para enviar um pacote apenas com os campos fixos e sem leituras de modo a obter a resposta com o *Timestamp* do servidor para iniciar as leituras.

### 3.3.4 Encriptação dos dados

De modo a proteger os dados na rede todo o pacote é encriptado con recurso á biblioteca MicroPython-AES disponibilizada online [25]. De modo a esar esta biblioteca desenvolvida para o MicroPython Base e não para a versão disponibilizada nos módulos DIGI, é necessário reformular a biblioteca de modo a não utilizar a biblioteca de gestão de arrays indisponivel nesta versão e fazer a alteração aquando da necessidade de acrescentar dados no array colocar posição por posição. No código seguinte é apresentado o problema inerente a esta biblioteca(Linha 4) e a sua respetiva resolução(Linha 13).

```
1  for offset in range(0, len(data), block_size):
2      block = data[offset:offset + block_size]
3      block_func(block)
4      data[offset:offset + block_size] = block # ERROR
5      #['array' object does not support item assignment]
6      ...
7
8      ...
9      for offset in range(0, len(data), block_size):
10         block = data[offset:offset + block_size]
11         block_func(block)
12         # Solution ['array' object does not support item assignment]
13         for i in range(block_size)
14             data[offset+i]= block[i]
...
...
```

## 3.4 Kea Tracker

De modo a substituir um produto descontinuado e apresentar novas soluções aos clientes, irão ser utilizadas beacons da Ruuvi Tag para

## 3.5 dot.Tracker

A pedido de um cliente, foi proposto o desenvolvimento de uma plataforma WEB para fazer a monitorização de pessoas e objetos em tempo real. O projeto passou por várias etapas das quais destacam-se a análise dos requesitos do cliente, análise de tecnologias disponíveis, análise de soluções existentes já em comercialização, o desenvolvimento do portal Web, desenvolvimento do Back-End, e testes ao sistema. Apesar do projeto ser apenas desenvolvido por um elemento, mas devido à maior complexidade e duração do mesmo foi adotada a metodologia SCRUM com entregas/apresentações ao cliente para obter o feed-back do trabalho desenvolvido e assim poder alterar alguns dos requesitos solicitados.

O Cliente indicou que devia ter atualizações dos mapas em tempo real, alertas enviados para o cliente WEB caso este esteja online e por email. É assim possível definir a tabela, apresentada na tabela 3.1 com os requisitos da solução e a sua importância no desenvolvimento.

Tabela 3.1: Requesitos da Solução

Requesito	Descrição	Importância (1-10)
Portal Cloud (Front-End)	Portal Cloud com mapas em tempo Real	7
Portal Cloud (Back-End)	API REST para integração com o Front-End e recolha dos dados para a localização	9
Histórico de posições	Possibilidade de revisualizar no mapa o percurso entre datas	5
Alertas Email	Alertas de Email (Exemplo: Entrada e Saída de zonas criadas no mapa)	6
Alertas Web	Alertas Informativos no Mapa(Exemplo: Entrada e Saída de zonas criadas no mapa)	2

De seguida são apresentados as funcionalidades e objetivos de cada requesito e escolhas selecionadas.

### 3.5.1 Portal Cloud - Front-End

O Front-end da solução é desenvolvido com recurso á Framework Vue, tornando a solução numa solução Single-Page Application. A adoção da Framework é baseada na necessidade de possuir fluidez na navegação entre páginas e igualmente nos mapas em tempo real minimizando o delay.

A plataforma é capaz igualmente de suportar várias *Companies*, significa isto que é possível criar várias *Companies* e temos os administradores e os utilizadores normais de cada *Company* que apenas tem acesso ás suas definições e equipamentos. Possibilitando fornecer o projeto como uma solução Cloud a váriados clientes no mesmo Servidor, onde cada um apenas possui o acesso ao que pertence à sua *Company*. No final o utilizador da plataforma deve ser capaz de realizar as seguintes operações:

- Login na Plataforma para visualizar os dados
- Vizualizar um mapa com atualizações em tempo real
- Editar o seu perfil
- Visualizar a página numa língua á sua escolha
- Utilizar a plataforma em vários equipamentos PC,Tablet,Smartphone,...

- Gerir Utilizadores (Administradores)
- Gerir Equipamentos (Administradores)
- Gerir Mapas e Zonas (Administradores)
- Gerir Alertas (Administradores)
- Iniciar / Finalizar Missões (Administradores)

### 3.5.2 Portal Cloud - Back-end

O Back-End é responsável por fornecer uma API REST ao Front-end para o mesmo obter os dados da base de dados. É igualmente responsável por obter os dados provenientes dos gateways das beacons e calcular as suas posições para apresentar no mapa.

O primeiro problema a identificado no back-end é a necessidade de possuir atualizações em tempo real das posições. O Front-end não é capaz de calcular quando uma beacon comunica com o back-end apesar da mesma enviar o broadcast em tempos regulares, mas tanto a beacon pode não estar ao alcance do gateway, como a mesma pode apenas estar ao alcance de menos de X(dependendo do algoritmo) gateways impossibilitando a utilização do algoritmo.

Para tal além do serviço web é disponibilizado um servidor de WEB-Sockets para comunicações em tempo real entre o Back-end e o Front-End. Os WEB-Sockets é uma tecnologia que permite aos browsers mais recentes, ter um canal em tempo real com o back-end sem a necessidade de fazer um pedido HTTP, o que acarreta todo o processo do protocolo, como por exemplo o *3-Way Handshake*. No momento da criação do websocket é criado uma ligação TCP a qual não é finalizada até ao fechar do websocket, o que elimina o sobrecarregamento da criação de pedidos e soluciona o problema da comunicação em tempo real para as atualizações dos mapas.

Outro problema e solucionar deparado na análise das tecnologias e soluções existentes é a falta de sincronismo da comunicação dos gateways. Supondo um exemplo com 5 gateways e 1 beacon. A beacon ao intervalo de tempo X1 comunica o pacote e apenas 4 gateways recebem o pacote e o enviam para o servidor através de um pedido HTTP. O servidor apesar de ter configurado 5 gateways não é capaz de prever se o 5º gateway irá comunicar a transmissão da beacon, o mesmo pode não estar ao alcance, pode não ter comunicação ao servidor, pode estar desligado ou pode haver algum problema na rede que atrase a chegada do pacote. Igualmente por variados motivos os 4 gateways que enviaram o pacote ao servidor não irão chegar todos em simultânea-

mente, criando o problema "Já chegaram todos os pacotes? Calculo com os que tenho, ou espero que chegue mais algum pacote?",

O primeiro passo para resolver o problema acima citado ao contrário das soluções mais tradicionais não irá ser utilizado um serviço WEB como o APACHE2 ou o NGINX, pois o mesmo não possui nenhum sincronismo entre pedidos e seria necessário armazenar momentaneamente todos os pacotes na base de dados e ter a tabela em constante escrita e leitura, não sendo o mais eficaz no cenário deste projeto. Para tal o serviço web irá ser responsabilidade do NodeJS(módulo express) que irá ter além do serviço WEB o servidor de WEB-Sockets, centralizando assim os dois serviços e possibilitando igualmente durante o processamento do pedido HTTP o envio de mensagens através do WEB-Socket.

Na lista apresentada de seguida estão selecionados os pontos principais das funcionalidades do Back-End:

- API REST para o Front-End (Login+ Dados)
- API REST para o POST dos Gateways
- Serviço WEB (express) para disponibilizar o Front-End
- Serviço WEB-Sockets
- Algoritmo de posicionamento
- Envio de Alertas

# Capítulo 4

## Testes e Avaliação

# Capítulo 5

## Conclusões e Trabalho Futuro

# Bibliografia

- [1] N. T. . A. A. Hashem, “Low power wide area network (lpwan) technologies for industrial iot applications,” master thesis (in english), DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND INFORMATION TECHNOLOGY FACULTY OF ENGINEERING | LTH | LUND UNIVERSITY, June 2018.
- [2] T. Instruments, “Bluetooth® low energy beacons.” online on 02/03/2020: <https://www.ti.com/lit/an/swra475a/swra475a.pdf>, Oct 2016.
- [3] “Beacon fujitsu data sheet.” online on 13/03/2020: <https://www.fujitsu.com/downloads/MICRO/fcai/wireless-modules/fwm8blz02a-109069.pdf>.
- [4] “Beacon blue.” online on 13/03/2020: <https://bluemaestro.com/products/product-details/bluetooth-temperature-humidity-sensor-beacon>.
- [5] “Ruuvi tag data sheet.” online on 13/03/2020: <https://ruuvi.com/files/ruuvitag-tech-spec-2019-7.pdf>.
- [6] “Captemp ast.” online on 21/02/2020: <https://www.captemp.com/technologies.php>.
- [7] “Tinypng.” online on 13/03/2020: <https://tinypng.com/>.
- [8] “Digi xbee® 3 cellular lte-m/nb-iot.” online on 01/03/2020: <https://www.digi.com/products/embedded-systems/digi-xbee/cellular-modems/xbee3-cellular-lte-m-nb-iot>.
- [9] “Micropython.” online on 07/03/2020: <https://micropython.org/>.
- [10] “Micropython libraries.” online on 07/03/2020: <http://docs.micropython.org/en/latest/library/index.html#python-standard-libraries-and-micro-libraries>, Mar 2020.
- [11] “Narrowband iot (nb-iot).” online on 06/03/2020: <https://www.u-blox.com/en/narrowband-iot-nb-iot>, Oct 2017.
- [12] R. U. . K. P. . S. Mahesh, “Low power wide area networks: An overview.” online on 06/03/2020: <https://arxiv.org/pdf/1606.07360.pdf>, 2017.
- [13] “Ruuvi beacons.” online on 27/02/2020: <https://ruuvi.com/>.

## BIBLIOGRAFIA

---

- [14] “Ruuvi android app github.” online on 15/02/2020: <https://github.com/ruuvi/com.ruuvi.station>.
- [15] B. taskit GmbH, “Beacon line.” online on 28/04/2020: <http://www.beacon-line.com/>.
- [16] J. Alakuijala, A. Farruggia, P. Ferragina, E. Kliuchnikov, R. Obryk, Z. Szabadka, and L. Vandevenne, “Brotli: A general-purpose data compressor,” *ACM Transactions on Information Systems*, 2019.
- [17] “Rfc 7932.” online on 13/03/2020: <https://tools.ietf.org/html/rfc7932>.
- [18] J. Alakuijala, E. Kliuchnikov, Z. Szabadka, and L. Vandevenne, “Comparison of brotli, deflate, zopfli, lzma, lzham and bzip2 compression algorithms,” *Google Inc*, 2015.
- [19] S. M. S. Hilles and A. Abdulsalam, “Image Compression Techniques in Networking : Review Paper,” no. February, pp. 0–5, 2019.
- [20] “Mass image compressor.” online on 13/03/2020: <http://icompressor.blogspot.com/2016/10/introduction-to-hassle-free-image.html>.
- [21] Y. Wang, X. Yang, Y. Zhao, Y. Liu, and L. Cuthbert, “Bluetooth positioning using RSSI and triangulation methods,” *2013 IEEE 10th Consumer Communications and Networking Conference, CCNC 2013*, no. January, pp. 837–842, 2013.
- [22] H. Zhu, H. Li, Y. Li, H. Long, and K. Zheng, “Geometrical constrained least squares estimation in wireless location systems,” *Proceedings of 2014 4th IEEE International Conference on Network Infrastructure and Digital Content, IEEE IC-NIDC 2014*, no. November 2015, pp. 159–163, 2014.
- [23] A. I. Epoka, “Nb-iot sensors efento.” online on 13/03/2020: <https://getefento.com/kategoria-produktu/nb-iot-sensors/>.
- [24] “Beacon with logs.” online on 13/03/2020: <https://www.edn.com/bluetooth-beacon-performs-data-logging/>.
- [25] “Micropython aes library repository.” online on 10/07/2020:<https://github.com/piaca/micropython-aes/>.

# Apêndice