

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE GRADUAÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO

EVERTON NEDEL

SISTEMA DE RASTREAMENTO DO CIRCULAR DA UNISINOS UTILIZANDO
LoRaWAN®

São Leopoldo

2019

EVERTON NEDEL

**SISTEMA DE RASTREAMENTO DO CIRCULAR DA UNISINOS UTILIZANDO
LoRaWAN®**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia da Computação, pelo Curso de
Engenharia da Computação da
Universidade do Vale do Rio dos Sinos -
UNISINOS

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Marques de Figueiredo

São Leopoldo

2019

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família, em especial a minha mãe e meu pai por todo apoio prestado em minha caminhada acadêmica.

A todos professores que contribuíram para a aquisição do conhecimento obtidos nessa trajetória acadêmica, em especial ao meu orientador Prof. Dr. Rodrigo.

Ao grupo de amigos que se criou durante o curso, tornando a rotina acadêmica muito mais descontraída e divertida.

RESUMO

Para facilitar o acesso dos usuários à informação e melhorar os serviços da linha Circular da Unisinos, foi desenvolvido um sistema capaz de realizar o monitoramento de localização em tempo real do ônibus. O sistema a partir de uma rede LoRaWAN® (*LoRa for Wide Area Network*), utilizando a tecnologia LoRa® (*Long Range*) de rádio-frequência, transmite os dados de localização adquiridos de um módulo GPS (*Global Position System*) para um servidor, que torna os dados disponíveis para o usuário em um mapa interativo. O diferencial deste sistema é ter seu funcionamento sem custos periódicos, como, por exemplo, os gerados pelos planos de telefonia móvel, que são exigidos em muito dos rastreadores presentes no mercado. O sistema funcionou plenamente com base nos requisitos levantados, porém a rede utilizada mostrou limitações quanto ao alcance do sinal, onde em alguns pontos com distâncias de 1 km, a comunicação se perdia. Dessa forma, foi identificado que com somente um *gateway* LoRaWAN®, a rede não abrangeu toda a área da rota do circular, sendo que em alguns pontos houve perda de alguns dados, e em alguns outros pontos houve total perda de dados. Dessa forma, é necessário uma extensão da rede com pelo menos mais um *gateway*, assim tendo toda a rota do circular coberta.

Palavras-chaves: Internet das Coisas. LoRa®. LoRaWAN®. Rastreamento.

ABSTRACT

To facilitate user access to information and make better the services of the Unisinos Circular Line, it was deployed a system able to make a real time bus monitoring. The system, from a network LoRaWAN[®], using radio frequency technology LoRa[®] transmit the localization data acquired from a GPS module to a server, that makes the data available in an interactive map. The system differential is work without a periodically cost, for example the generated by mobile phone plans, that is required by the GPS tracker founded in the market. The system worked perfectly but have limitation about the signal reach, having some points on the route, where with 1 km the communication got lost. On this way, it was identified that with only one LoRaWAN[®] gateway, the network didn't cover all the Unisinos Circular area, where in some places, some data were lost, and, in some places, data were completely lost. So, it is needed to get a network extension with at least one more gateway for having its fully operation.

Keywords: Internet of Things. LoRa[®]. LoRaWAN[®]. Tracking.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Defasagem do sinal recebido x sinal gerado.....	16
Figura 2 - Demonstrativo sinal Chirp com fatores de espelhamento do 7 ao 12	21
Figura 3 – Faixa de operação LoRa® no Brasil	22
Figura 4 – Topologia da rede LoRaWAN®	23
Figura 5 – Classes de operação LoRaWAN®	24
Figura 6 – Ilustração da arquitetura do sistema	35
Figura 7 - Fluxograma da função principal no dispositivo final	37
Figura 8 – Diagrama de blocos do sistema embarcado	38
Figura 9 – Esquemático do circuito de acionamento dos módulos LoRa® e GPS.....	41
Figura 10 – Fluxograma da lógica para ativação do circuito de baixo consumo.	42
Figura 11 – Esquemático do circuito de acionamento da sinalização sonora	43
Figura 12 – Dispositivo Final	44
Figura 13 – Modelagem do banco de dados	45
Figura 14 – Fluxograma do processo Integrador.....	48
Figura 15 – Verificação de veículo dentro da rota	51
Figura 16 – Formulário para ativação do modo fora de operação.....	53
Figura 17 – Dados GPS plotados no mapa	58
Figura 18 – Consumo de energia do dispositivo fora de operação	59
Figura 19 – Aplicativo Android® demonstrando veículo fora de operação.....	60
Figura 20 – Teste dispositivos simultâneos na página <i>web</i>	61
Figura 21 - Teste dispositivos simultâneos na aplicativo Android	61
Figura 22 – Intervalo de máximos e mínimos entre envios	62
Figura 23 – Teste da validação dos dados um.....	63
Figura 24 – Teste da validação dos dados dois	63
Figura 25 – Área de alcance rede LoRaWAN® com base na rota	64
Figura 26 – Dados do teste de fora de rota	66
Figura 27 – Funcionamento do sistema	67
Figura 28 – Localização dos envios no teste de operação final	68

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Relação graus decimais x metros.....	17
Quadro 2 – Comparativos do estado da arte.....	29

LISTA DE SIGLAS

ADC	<i>Analog-to-Digital Converter</i>
ADR	<i>Adaptative Data Rate</i>
AES	<i>Advanced Encryption Standard</i>
BW	<i>Bandwith</i>
C/A	<i>Coarse Acquisition</i>
CR	<i>Code Rate</i>
CSS	<i>Chirp Spread Spectrum Modulation</i>
DAC	<i>Digital-to-Analog Converter</i>
dBm	<i>Decibel-miliwatt</i>
FEC	<i>Forward Error Correction</i>
FSK	<i>Frequency Shift Keying</i>
GHz	<i>Gigahertz</i>
GLONASS	<i>Sistema de Navegação Global por Satélite</i>
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
GPIO	<i>General Purpose Input/Output</i>
GPRS	<i>General Packet Radio Service</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
GSM	<i>Global System for Mobile Communications</i>
HAL	<i>Hardware Abstraction Layer</i>
HTML	<i>Hypertext Markup Language</i>
HTTP	<i>Hypertext Transfer Protoco</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
JSON	<i>Javascript Object Notation</i>
kbps	<i>Kilobit per second</i>
L1	<i>Layer 1</i>
L2	<i>Layer 2</i>
LMIC	<i>LoraWAN in C</i>
LoRa®	<i>Long Range</i>
LoRaWAN®	<i>LoRa for Wide Area Network</i>
LPWAN	<i>Low-Power Wide-Area Network</i>
MHz	<i>Megahertz</i>

MQTT	<i>Message Queue Telemetry Transport</i>
ORM	<i>Object Relational Mapper</i>
P	<i>Precision</i>
PCI	Placa de Circuito Impressa
PHP	<i>Hypertext Preprocessor</i>
PRN	<i>Pseudo Random Noise</i>
Rb	<i>Rate bit</i>
RF	Rádio Frequência
RPMA	<i>Random Phase Multiple Access</i>
RSSI	<i>Received signal strength indication</i>
SF	<i>Spreading Factor</i>
SMS	<i>Short Message Service</i>
SPI	<i>Serial Peripheral Interface</i>
SQL	<i>Structured Query Language</i>
SSP	<i>Spread Spectrum Modulation</i>
TDOA	<i>Time Difference of Arrival</i>
UART	<i>Universal Asynchronous Receiver/Transmitter</i>
UDP	<i>User Datagram Protocol</i>
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
UTC	<i>Coordinated Universal Time</i>
WGS-84	<i>World Geodetic System</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1 NAVEGAÇÃO.....	14
2.1.1 GPS	14
2.2 INTERNET DAS COISAS.....	18
2.2.1 LPWAN	18
2.2.2 LoRa®	20
2.2.2.1 LORAWAN®	23
2.2.3 Protocolo MQTT	26
2.3 TRABALHOS CORRELATOS	26
3 METODOLOGIA	31
3.1 LEVANTAMENTO DE REQUISITOS	31
3.1.1 Requisito de alcance	31
3.1.2 Requisito de não haver custo periódico	31
3.1.3 Requisito de intervalo de envio	32
3.1.4 Requisito de tamanho	32
3.1.5 Requisito de alimentação e consumo elétrico	32
3.1.6 Requisito de funcionalidade ininterrupta e permanente	32
3.1.7 Requisito de interface com o usuário	33
3.1.8 Requisito de histórico de dados	33
3.1.9 Requisito de sinalização de segurança	33
3.1.10 Requisito de validação dos dados	33
3.1.11 Requisito de funcionamento simultâneo de dispositivos finais	34
3.2 SISTEMA PROPOSTO	34
3.3 DISPOSITIVO FINAL	35
3.4 BANCO DE DADOS.....	44
3.5 INTEGRADOR	46
3.6 APRESENTAÇÃO	52
3.7 TESTES DO SISTEMA	55
3.7.1 Teste do GPS	55
3.7.2 Teste de energia	55
3.7.3 Teste de dispositivos simultâneos	56

3.7.4 Teste de intervalo de envio	56
3.7.5 Teste de validação dos dados.....	56
3.7.6 Teste de cobertura da rota	57
3.7.7 Teste de fora de rota	57
3.7.8 Teste de funcionamento	57
4 ANÁLISE DE RESULTADOS	58
4.1 RESULTADOS DO TESTE DE GPS.....	58
4.2 RESULTADO DO TESTE DE ENERGIA.....	59
4.3 RESULTADO DO TESTE DE DISPOSITIVOS SIMULTÂNEOS.....	60
4.4 RESULTADO DO TESTE DE INTERVALO DE ENVIO	62
4.5 RESULTADO DO TESTE DE VALIDAÇÃO DOS DADOS.....	62
4.6 RESULTADO DO TESTE DE COBERTURA DA ROTA	64
4.7 RESULTADO DO TESTE DE FORA DE ROTA.....	65
4.8 RESULTADO DO TESTE DE FUNCIONAMENTO	66
5 CONCLUSÃO	69
REFERÊNCIAS.....	71

1 INTRODUÇÃO

Na rotina diária das pessoas, cada vez mais é sentida a necessidade de estar conectado e ter acesso instantâneo à informação. Com o avanço da IoT (*Internet of Things*) e a conexão de objetos comuns à Internet, torna-se cada vez mais provável que a informação desejada esteja disponível. A Unisinos - Universidade Vale do Rio dos Sinos, disponibiliza de forma gratuita um ônibus que faz uma rota específica chamado de circular. O circular permite ao seus utilizadores realizarem o deslocamento entre as periferias do campus da universidade e a estação do Trensurb (Empresa de Trens Urbanos de Porto Alegre S.A.). O trabalho proposto terá como objetivo fornecer ao usuário do circular da Unisinos um sistema que, informe a atual localização do veículo. O sistema busca melhorar a experiência do usuário do circular, assim como aprimorar questões de segurança.

Em uma rápida busca por relatos de usuários do circular, é possível encontrar diversas histórias sobre más experiências ao utilizar esse serviço. Elas se intensificam principalmente nos períodos de pico, horários das 19:00 às 19:30 e das 21:45 às 22:15, momentos em que há uma maior utilização em função dos horários de início e fim das aulas noturnas que têm uma maior quantidade de alunos. Dentre os diversos relatos, muitos estão relacionados à não chegada na parada do ônibus a tempo de pegá-lo. Essa situação ainda pode se agravar fazendo com que o usuário perca o próximo transporte, levando consideração que a tabela de horários do circular não está vinculada a tabela de horários da Trensurb (TREN SURB, [2019?], UNISINOS, 2018.). Isso pode fazer com que se torne um problema em cascata, tendo todo um planejamento de horário alterado por vários minutos, causado pelo atraso de alguns segundos.

Ainda é possível citar como problema os dias de chuva, apesar de todas as paradas da Unisinos terem coberturas, o espaço pode ser insuficiente em certas ocasiões. O usuário contando com um mecanismo onde fosse possível fazer o acompanhamento da posição do veículo em tempo real, poderia se deslocar para a parada somente no momento em que o veículo estivesse muito próximo. Isto preveniria o usuário de eventualmente ter que esperar o veículo por longos períodos em lugares não cobertos. Ainda pode ser considerado o melhor aproveitamento do tempo do aluno em sala de aula. Isto porque com o acompanhamento da

movimentação do veículo em tempo real, é possível que o estudante permaneça mais alguns minutos em aula e não aguardando o ônibus na parada.

O desenvolvimento desse trabalho se justifica em vários aspectos, um deles pode até mesmo influenciar na decisão de um aluno na escolha de sua universidade. A escolha da Universidade por um aluno, está ligada a vários fatores. Um desses fatores, o qual tem um grande peso para a decisão final do aluno, é a facilidade de transporte (GALVÃO *et al*, 2017). Isso mostra a necessidade da preocupação em fornecer a melhor experiência possível para o usuário nesse quesito, mesmo não se tratando da atividade principal.

Outro ponto que pode ser considerado importante na justificativa para a realização do trabalho é a segurança extra do veículo. No ano de 2017, São Leopoldo foi a sétima cidade com maior número de roubos de veículos no estado do Rio Grande do Sul (LOPES, 2018). Apesar do sistema não prevenir o roubo, ele poderia auxiliar na recuperação do veículo. Com o monitoramento em tempo real, poderia ser observada a correta localização do veículo, acionando as autoridades responsáveis. Outro ponto extra que poderia ser benéfico com o uso do sistema referente à segurança, seria o monitoramento de velocidade do veículo. Com o monitoramento em tempo real e o envio da informação de velocidade, poderiam ser visualizados os motoristas que não respeitam os limites, podendo assim tomar as medidas necessárias para que o limite seja respeitado.

Para o cumprimento do proposto trabalho será necessário o desenvolvimento de um sistema embarcado para a coleta de dados de localização do veículo. O sistema embarcado utilizará um módulo GPS para coleta de dados da localização do veículo, enviando os dados via uma rede LoRaWAN[®]. As informações recebidas serão salvas em um banco de dados onde estarão disponíveis para ser acessadas por plataformas que tornam os dados recebidos pelo sistema embarcado em algo intuitivo para o usuário. Como ferramenta auxiliar, serão desenvolvidas duas plataformas para a exibição dos dados para o usuário, são elas uma página *web* e um aplicativo para *smartphones* Android[®]. As plataformas utilizarão os dados enviados pelo sistema embarcado, que são latitude e longitude, inserindo-os em um mapa interativo.

Apresentados a introdução e objetivo do trabalho, é possível definir a organização e ordem cronológica do documento. No capítulo dois será apresentado o referencial teórico, onde serão abordados assuntos chaves para o entendimento do trabalho e o seu desenvolvimento. No capítulo três será apresentada a metodologia

do trabalho. Serão analisados os componentes envolvidos no sistema e a forma como será desenvolvido. Nesse capítulo também poderá ser analisado o fluxo de desenvolvimento e de testes que foram realizados. No capítulo quatro serão mostrados os resultados obtidos a partir do desenvolvimento e da aplicação dos testes. O fechamento será feito no capítulo cinco, onde poderá ser conferida a conclusão com as considerações finais do trabalho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Considerando os objetivos do trabalho, neste capítulo serão abordados os temas fundamentais para correto seu entendimento, sendo eles as tecnologias de Navegação, IoT, LPWAN (*Low Power Wide Area Network*), LoRaWAN® e o protocolo MQTT (*Message Queue Telemetry Transport*). Da mesma forma serão tratados os tópicos de estudo mais recentes na área de rastreamento de objetos móveis, fazendo um levantamento no estado da arte e comparando com a metodologia utilizada para a solução do problema para o presente trabalho.

2.1 NAVEGAÇÃO

A Navegação é definida pela capacidade de conhecer a localização atual, assim como saber para onde se está indo. A Navegação está presente em nosso dia a dia desde orientações cotidianas até em situações mais complexas. Para realizar a navegação, muitas vezes, apenas o senso de localização e sentidos do ser humano são o suficiente, esses que são capazes de reconhecer lugares, ler placas, ver a posição do sol, etc. Porém em situações que se faz necessário uma melhor precisão de navegação, utiliza-se algum tipo de instrumentação para o auxílio, como bússolas ou sistemas de rádio navegação. Dentre os sistemas de rádio navegação, temos o GPS, sistema utilizado em todo mundo, capaz de trazer uma ótima capacidade de navegação (FASCIONI, 2013). Suas características e funcionamento serão explicados no tópico abaixo.

2.1.1 GPS

O GPS (*Global Positioning System*, do inglês Sistema de Posicionamento Global) é um sistema global de rádio navegação desenvolvido pelo Departamento de defesa dos Estados Unidos da América. Tinha como objetivo principal o uso militar e posteriormente foi liberado para o uso civil. O GPS permite que seus utilizadores obtenham informações tridimensionais de sua localização e velocidade em qualquer lugar da superfície terrestre sob qualquer condição climática. O GPS também é capaz de fornecer aos seus usuários o tempo universal coordenado UTC (*Coordinated*

Universal Time, do inglês Tempo Universal Coordenado) (KAPLAN; HEGARTY, 2006).

O funcionamento do GPS ocorre através do dimensionamento das distâncias entre os satélites e o receptor. Para que seja possível fazer a triangulação e obter o posicionamento terrestre em 3 dimensões, são necessários três satélites. Apesar de todos os relógios do GPS estarem sincronizados, os relógios do satélite são muito mais precisos do que os relógios dos receptores, logo as distâncias obtidas a partir de três satélites possuem uma margem de erro e são chamadas de pseudo-distâncias. Para resolver esse problema é utilizado um quarto satélite que, matematicamente, consegue corrigir o erro gerado pela divergência de relógios e refração do sinal na atmosfera terrestre (TIMBÓ, 2000).

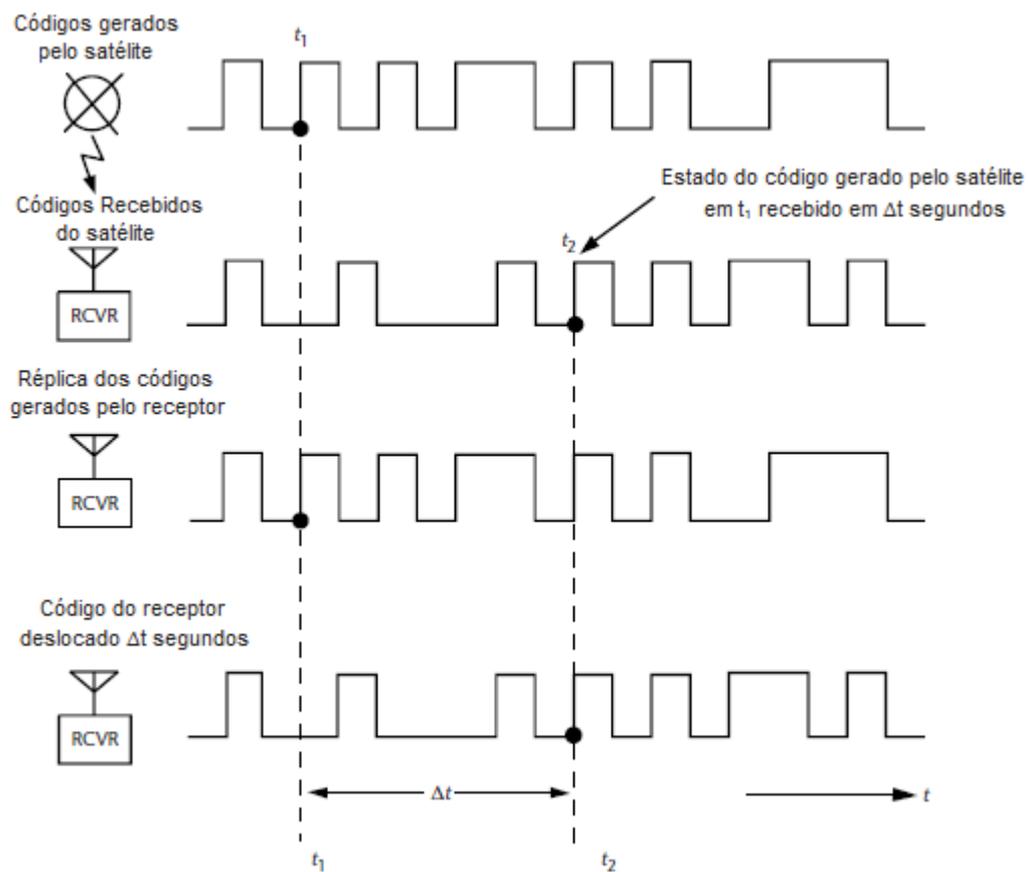
Todos os satélites do GPS transmitem seus dados modulados em fase em duas ondas senoidais portadoras simultâneas, L1 (*Layer 1*) e L2 (*Layer 2*). Os sinais são gerados por osciladores atômicos de alta estabilidade, e todos são gerados a partir da frequência fundamental de 10,23 MHz que é a base para todo o sistema. As ondas portadoras L1 e L2 tem suas frequências definidas em 154 e 120 vezes a frequência fundamental do sistema, tendo assim seus valores estipulados em 1572,42 MHz e 1227,60 MHz respectivamente (TIMBÓ, 2000).

Há dois códigos que são transmitidos no GPS responsáveis diretamente por prover a informação necessária para a localização, são eles o código P (*Precision Code*) e o código C/A (*Coarse Acquisition Code*). O código C/A é repetido a cada 1 ms, é modulado somente na onda portadora L1 e é a base para o uso civil do GPS. O Código P é reservado para uso militar e usuário autorizados. Repetindo-se a cada sete dias, código P traz melhor precisão na localização do sistema e é modulado nas duas ondas portadoras L1 e L2. Atualmente Código P é criptografado, assim mudando sua nomenclatura para código Y. Ambos os códigos C/A e P utilizam sinais PRN (*Pseudo-Random*) com modulação binária de fase na portadora. O sinal PRN aparenta ser uma sequência binária aleatória, porém podem ser determinados. Cada satélite tem seu próprio PRN, assim o receptor pode identificar o satélite que está enviando o sinal, já que todos operam na mesma frequência (KAPLAN; HEGARTY, 2006).

Como foi visto anteriormente, a base do funcionamento do GPS está em encontrar as distâncias entre os transmissores e o receptor para realizar os cálculos do correto posicionamento. Para que seja possível obter essa informação, é utilizada

a relação $\text{Distância} = \text{Velocidade} \times \text{Tempo}$. Como a velocidade de propagação de um sinal eletromagnético é uma constante física, adquirindo-se o tempo do sinal no ar é possível calcular a distância. O cálculo do tempo é feito com base no código PRN, onde cada receptor tem o código PRN de cada satélite. Considerando que os relógios do receptor e dos transmissores estão em sincronia, o receptor assim como o emissor emitem o PRN conhecido, o receptor então compara o sinal recebido com o emitido por ele mesmo. Ao verificar a defasagem entre o sinal recebido e o gerado, é possível obter o tempo que o sinal percorreu entre a sua origem até o seu destino (KAPLAN; HEGARTY, 2006).

Figura 1 – Defasagem do sinal recebido x sinal gerado



Fonte: Kaplan e Hegarty (2006)

Com as distâncias entre o receptor e os satélites, e o posicionamento do GPS obtidos pelos receptores, é calculado a posição com base em seu sistema referencial WGS-84 (*World Geodetic System*), que é o sistema base para toda a operação de localização do GPS. O sistema WGS-84 traz informações de distâncias tridimensionais com base no centro de massa da Terra. Os receptores são capazes

de realizarem uma conversão, trazendo os dados do sistema WGS-84 obtidos, para o sistema de coordenadas esféricas, que consiste em Latitude, Longitude e Altitude. Coordenadas esféricas trazem informações da superfície terrestre com base no meridiano de Greenwich, linha do Equador e nível do mar (TIMBÓ, 2000).

- Latitude é a distância em graus, minutos e segundos em relação a linha do Equador.
- Longitude é a distância em graus, minutos e segundos em relação ao meridiano de Greenwich
- Altitude é a distância em relação ao nível do mar (KAPLAN; HEGARTY, 2006).

Os dados de latitude e longitude podem ser utilizados para mensurar distâncias. Para que seja possível realizar essa tarefa, é necessário um fator de conversão de metros para graus decimais de latitude e longitude. Como a Terra é uma esfera, a relação entre graus decimais e metros varia conforme aumenta a distância da Linha do Equador. Essa diferença na relação pode ser vista no Quadro 1, construído a partir de DIP ([2019?]). Nela é apresentado os graus da linha do Equador (0) ao ponto mais ao extremo sul da Terra (90). As distâncias foram tiradas com base na diferença de exatamente um grau decimal de longitude, ou seja, de forma paralela a linha do Equador.

Quadro 1 – Relação graus decimais x metros

Graus decimais	Distancia (metros)
0	111319,892
10	109639,886
20	104647,931
30	96487,549
40	85.395,511
50	71.697,618
60	55.801,800
70	38.187,966
80	19.394,273
90	0,000

Fonte: Elaborado pelo autor, com base em DIP ([2019?])

Como citado anteriormente, o GPS é um sistema capaz de operar em qualquer lugar da superfície terrestre. Sistemas com essa característica são denominados GNSS (*Global Navigation Satellite System*). Atualmente os GNSS em operação são

os sistemas GPS dos Estados Unidos e GLONASS da Rússia, porém há previsão de que até em 2020 os sistemas Galileo da União Europeia e Compass da China iniciarão seus serviços para os usuários finais globalmente (USA GOV, 2017). Dentre as diversas áreas de aplicações que utilizam o GPS, podemos citar a IoT, uma área que vem crescendo muito nos últimos anos e que em muitas de suas aplicações, como rastreamento veicular, necessitam de informações providas pelo GPS.

2.2 INTERNET DAS COISAS

A Internet das Coisas (*Internet of Things*) é a expansão da internet para dispositivos de uso geral de nosso dia a dia. A conexão criada entre os objetos e a internet permitem aos objetos a capacidade de se comportarem como atuadores ou sensores, ou seja, controlar remotamente ou utilizar informações providas como serviços (SANTOS, *et al.*, 2016). A aplicação da internet das coisas está presente nas mais diversas áreas de atuação, como *eHealth*, transporte inteligente, distribuição de energia, casas inteligentes, segurança pública, distribuição e logística, indústrias, agricultura de precisão e cidades inteligentes (MANCINI, 2018). A arquitetura básica dos dispositivos IoT são: unidade de processamento, unidade de comunicação, fonte de energia e unidade de sensores ou atuadores (SANTOS, *et al.*, 2016).

Como apresentado nos tópicos anteriores, diversas aplicações e áreas atualmente utilizam IoT, o que faz com que uma única tecnologia seja incapaz de atender a todas as necessidades. Enquanto algumas necessitam de altas taxas de transmissão de dados, outras demandam poucos bits por segundo. Também surgiram diversas áreas que necessitam longas distâncias de aplicação e baixo consumo de energia, e com isso surge um novo paradigma para a IoT, tecnologias LPWAN (*Low-Power Wide-Area Network*) (GARCIA; KLEINSHCMIDT, 2017).

2.2.1 LPWAN

As redes LPWAN são conhecidas por redes de alto alcance e baixo consumo de energia, surgindo para cobrir uma alta gama de aplicação IoT que necessitam desses quesitos. Abaixo serão listados os itens principais que caracterizam uma LPWAN.

- **Baixíssima potência de operação:** É uma necessidade para contornar o problema de altos custos com trocas de baterias assim como a longa duração de dispositivos, sem a necessidade de qualquer recarga (BARDYN *et al.*, 2016).
- **Baixo custo de implementação:** É requerido que o custo de desenvolvimento do *hardware* seja baixo e haja pouca necessidade de manutenção. Também é necessário que utilize arquitetura e protocolos simples (BARDYN *et al.*, 2016).
- **Configuração da rede:** As conexões dos dispositivos finais das redes LPWANs são de modo geral feitas em um ou mais *gateways*, formando assim uma topologia do tipo estrela, que se assemelha muito à rede de telefonia móvel (CENTENARO *et al.*, 2015). Também é desejável que a rede tenha uma alta escalabilidade. A ação de adicionar novos dispositivos à rede deve ser uma tarefa simples, podendo ser a rede ampliada sem consequência para os demais dispositivos finais (BARDYN *et al.*, 2016).
- **Longo alcance:** As LPWANs devem dar suporte à comunicação de longo alcance, podendo chegar a dezenas de quilômetros dependendo da sua condição de operação. Porém devem manter o baixo consumo de energia, para atender ao requisito de longa duração. O fator que permite que o longo alcance e o baixo consumo de energia sejam alcançados simultaneamente é a modulação do sinal utilizada, permitindo que as redes LPWANs operem com sensibilidade em torno de -150 dBm (BARDYN *et al.*, 2016).
- **Baixa taxa de transmissão de dados:** As redes LPWAN em contrapartida de seu longo alcance apresentam de forma geral uma baixa taxa de transmissão de dados, na casa de poucos kbps. Muito inferior quando comparado às redes de baixo alcance como *Bluetooth* (CENTENARO *et al.*, 2015). A maioria das LPWANs opera centralizadas em frequências não licenciadas ISM (*Industrial Scientific and Medical*) são elas 169 MHz, 433 MHz, 868 MHz, 915 MHz e 2.4 GHz.

A seguir serão visualizadas as principais tecnologias LPWAN do mercado que trabalham nas frequências em questão: (CENTENARO *et al.*, 2015)

SIGFOX®: Fundada em 2009, foi a primeira tecnologia LPWAN no mercado. A SIGFOX tem uma característica de operadora, similar às operadoras de telefonia móvel, tornando seu modelo de negócio uma operadora de serviço de IoT. Inicialmente o projeto suportava somente comunicação unilateral de *upload*. Hoje conta com comunicação bidirecional e garantia de área de cobertura de até 50 km em áreas rurais e até 10 km em áreas urbanas (CENTENARO *et al.*, 2015). Uma característica relevante dos serviços prestados pela SIGFOX é a geolocalização integrada. A partir de seus *gateways* e pela força do sinal recebido, o sistema é capaz de definir a localização do dispositivo final, o que pode ser bastante oportuno para aplicações que necessitem desses dados, já que geralmente módulos GPS consomem energia e tem um custo extra de *hardware* (GARCIA; KLEINSHCMIDT, 2017).

Ingenu: Uma tecnologia emergente no ramo de LPWAN é a Ingenu, empresa da companhia On-Ramp Wireless. A companhia criou e patenteou sua tecnologia chamada RPMA (*Random Phase Multiple Access*). Diferentemente de outras modulações de LPWAN, a RPMA funciona na frequência não licenciada universal de 2,4G Hz e apesar dessa característica, a robustez do seu sinal na camada física permite que se tenha um longo alcance (CENTENARO *et al.*, 2015).

No próximo tópico será abordado a LPWAN focada na tecnologia LoRa®, a que mais se destaca e vem crescendo entre as LPWAN. Também será a base tecnológica LPWAN utilizada para cumprir os objetivos do presente trabalho.

2.2.2 LoRa®

LoRa® é uma técnica de modulação proprietária pertencente à SEMTECH. Diferentemente da SIGFOX®, as redes utilizando tecnologia LoRa® não são disponibilizadas por empresas como servidoras de IoT. Utilizá-la em um projeto implicará na responsabilidade, gestão e manutenção da infraestrutura da rede (GARCIA; KLEINSHCMIDT, 2017).

A modulação LoRa® utiliza a técnica de SSP (*Spread Spectrum Modulation*, do inglês modulação de espalhamento espectral), que é derivada do CSS (*Chirp Spread Spectrum Modulation*). Seu funcionamento, simplificado, consiste na geração de um sinal chirp/símbolo, que é formado a partir da variação contínua da frequência em relação ao tempo (SEMTECH, 2015). A tecnologia tem como característica uma

técnica de espalhamento capaz de diminuir a relação sinal ruído no receptor, para que ainda consiga capturar o sinal recebido corretamente. Há três parâmetros básicos para geração desse sinal (GARCIA; KLEINSHCMIDT, 2017):

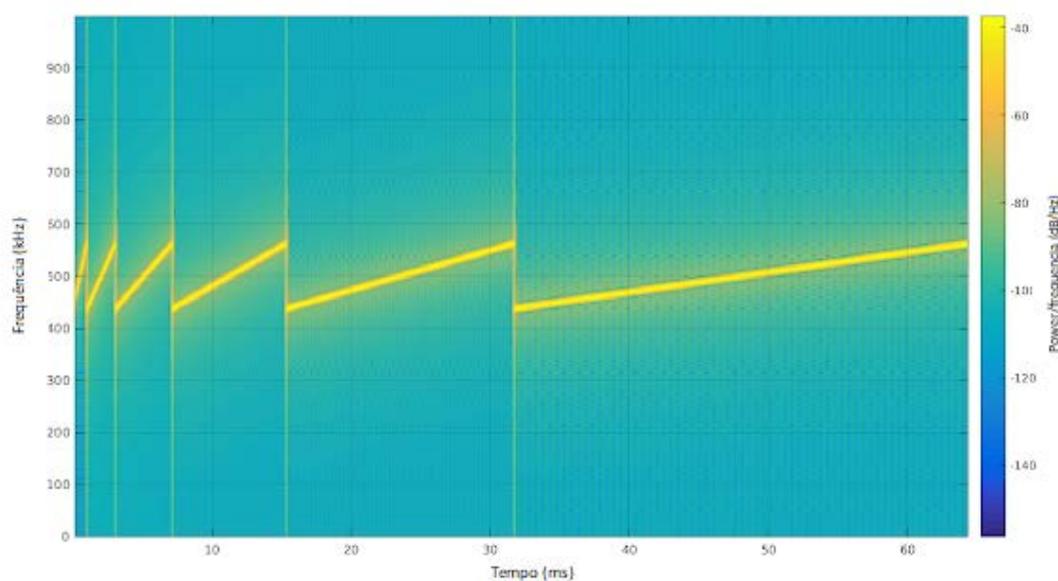
- **Spreading Factor (SF):** Define o número de bits enviados a cada chirp, podem ser configurados entre 7 a 12.
- **Bandwidth (BW):** É a largura do canal de comunicação, pode ser definido nas frequências de 125 kHz, 250 kHz e 500 kHz.
- **Forward Error Correction (FEC / Code Rate (CR)):** Fator de correção de erro que auxilia na robustez do sinal a ser transmitido, seu valor pode ser estipulado entre 1 e 4 (BARDYN *et al.*, 2016).

Estes três parâmetros são responsáveis diretos pela determinação da taxa de dados a serem transmitidas. Abaixo pode ser visualizada a equação referente a determinação do R_b (*Rate bit*), que é dada em bits por segundo.

$$R_b = SF * \frac{BW}{2^{SF}} * \frac{4}{4+CR} \quad (1)$$

Na Figura 2 é possível visualizar o comportamento do sinal, em uma análise Tempo x Frequência. É possível visualizar que quanto maior o SF, maior o tempo para a transmissão do símbolo.

Figura 2 - Demonstrativo sinal Chirp com fatores de espelhamento do 7 ao 12



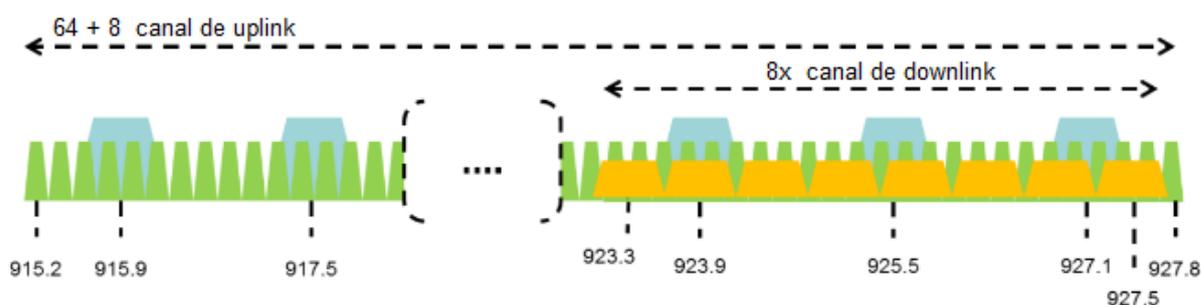
Fonte: GHOSLYA (2013)

Uma das características da modulação LoRa[®] que auxiliam no aumento da distância da comunicação é a maneira na qual é realizada a recepção do sinal no dispositivo. A coerência de demodulação do espalhamento de símbolos é capaz de aumentar de 6 dB à 10 dB quando comparado a modulação FSK (*Frequency Shift Keying*) para a mesma taxa de dados. Usando valores mais altos para o SF, a rede LoRa[®] é capaz de atingir sua sensibilidade em -137 dBm (BARDYN *et al.*, 2016).

Outra característica importante da modulação LoRa[®] é a ortogonalidade entre os fatores de espelhamento. Diferentes fatores de espelhamento são ortogonais, e quando recebidos simultaneamente são considerados ruídos entre eles, fazendo com que seja possível que um *gateway* consiga receber mais de uma transmissão em um mesmo canal ao mesmo tempo (BARDYN *et al.*, 2016).

A tecnologia LoRa[®] é capaz de alcançar distâncias de até 15 km em áreas rurais e até 5 km em áreas urbanas. Pode operar nas frequências de 169 MHz, 433 MHz, 868 MHz e 915 MHz (CENTENARO *et al.*, 2015). No Brasil, a rede opera seguindo a mesma configuração da norma australiana AU915-928 que opera entre as frequências de 915 MHz até 928 MHz com um intervalo de não operação entre as frequências de 917 MHz a 923 MHz, conforme pode ser visualizado na Figura 3 (LORA ALLIANCE, 2018).

Figura 3 – Faixa de operação LoRa[®] no Brasil



Fonte: Lora Alliance (2018)

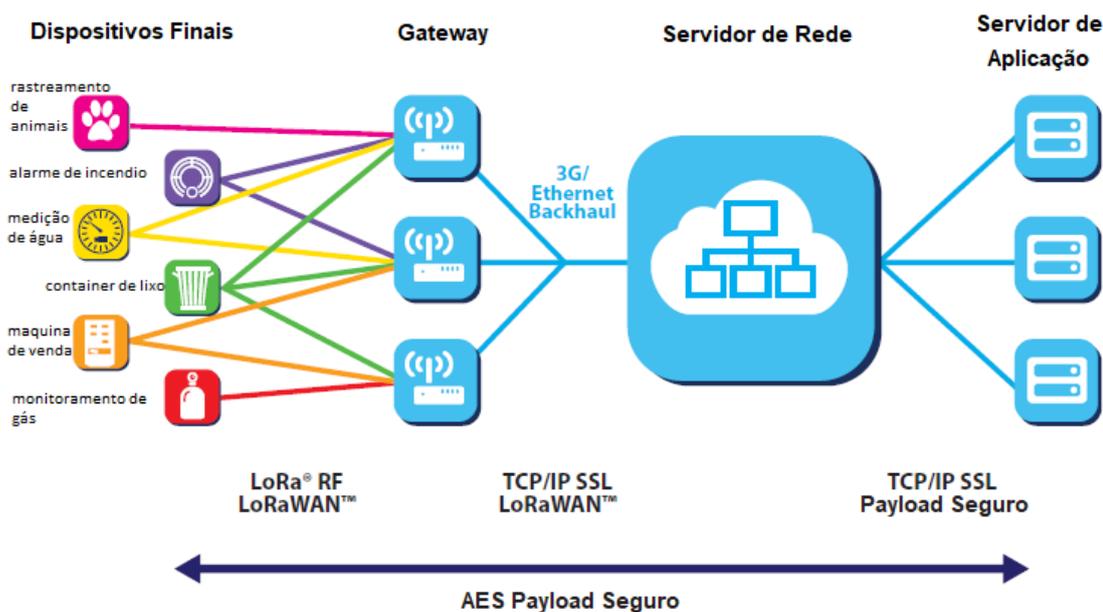
Como visto no presente tópico, LoRa[®] é uma técnica de modulação independente atuando na camada física. Sua utilização de modo geral está associada ao uso de protocolos de camadas superiores. A escolha dos protocolos e a arquitetura da rede são de extrema importância, pois são eles que têm a maior influência quando considerados os quesitos de duração de bateria do dispositivo final, capacidade da

rede, qualidade do serviço, segurança e variedade de aplicações (LORA ALLIANCE, 2015).

2.2.2.1 LORAWAN®

LoRaWAN® (*Long-Range Wide Area Networks*) é um conjunto de especificações de protocolos para uma rede LPWAN, modelada com o objetivo de ser a chave para a IoT. É mantido pela LoRa® Alliance, uma associação aberta liderada pelas companhias IBM, Actility, Semtech e Microchip (LORA ALLIANCE, 2015). Na Figura 4 é possível verificar a arquitetura de uma rede LoRaWAN® e todos os elementos envolvidos.

Figura 4 – Topologia da rede LoRaWAN®



Fonte: Lora Alliance (2015)

Com base na Figura 4, podemos visualizar 4 grupos de dispositivos na rede LoRaWAN®. São eles os dispositivos finais, *gateway*, servidor de rede e servidor de aplicação. Os itens listados serão detalhados individualmente nos parágrafos que seguem.

Como o uso de LoRaWAN® está fortemente relacionado à IoT, dispositivos finais frequentemente operam como sensores ou atuadores. Uma das características da rede é que dispositivos finais de uma rede LoRaWAN® não estão associados a um

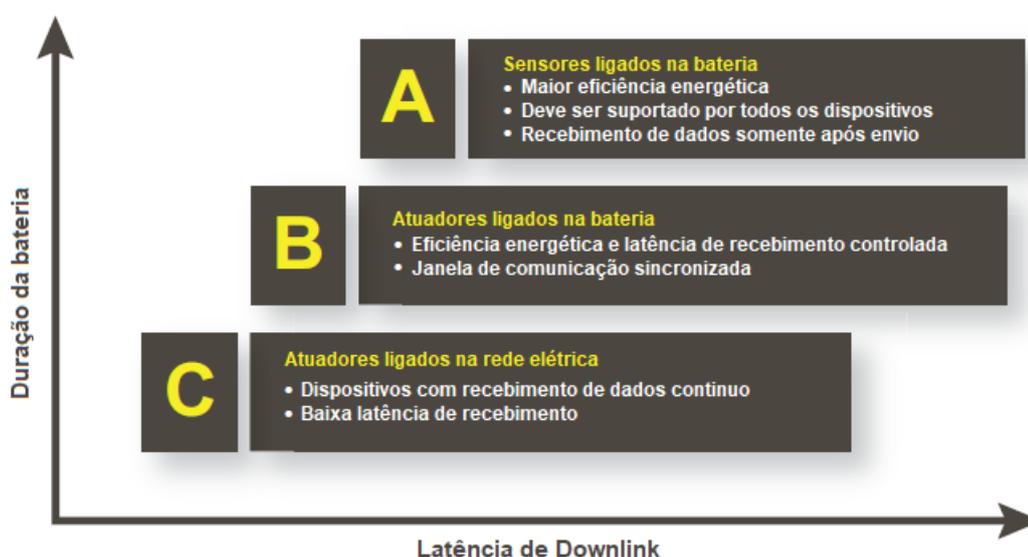
único *gateway*, assim mais de um *gateway* pode receber informação de um mesmo dispositivo. Regularmente utilizam a modulação LoRa® para realizar comunicação, porém podem utilizar outras tecnologias como FSK (LORA ALLIANCE, 2015).

Gateways concentram as informações recebidas pelos dispositivos finais, retransmitindo-as para um servidor de rede LoRaWAN® via protocolo UDP. São capazes de receber dados em diversos canais ao mesmo tempo, cobrindo uma grande gama de dispositivos finais. Geralmente a comunicação com o servidor de rede ocorre via interface de rede de banda larga ou tecnologias de telefonia móvel (SILVA *et al*, 2017).

Servidores de rede recebem os dados do *gateway*. São responsáveis por conferirem a integridade das informações, gerando os pacotes que devem ser enviados para o devido servidor de aplicação, assim como realizar a filtragem de pacotes redundantes e enviar os pacotes que devem ser transmitidos de volta para os dispositivos finais via *gateway* (LORA ALLIANCE, 2015).

Os servidores de aplicação são uma forma de agrupar os dispositivos com aplicação semelhantes, a fim de processá-los e utilizá-los da forma que é desejada (SILVA *et al*, 2017). Os dispositivos finais de uma rede LoRaWAN® podem ter as mais diversas finalidades e requisitos. Com base nisso, dispositivos finais podem operar em 3 diferentes classes da rede LoRaWAN®, são elas classe A, B e C, e suas características de operação pode ser visto na Figura 5.

Figura 5 – Classes de operação LoRaWAN®



Fonte: Lora Alliance (2015)

Classe A – O dispositivo final é responsável por iniciar a transmissão, sendo que somente ele pode realizar essa operação. Após a transmissão dos dados pelo dispositivo final, o *gateway* terá um intervalo de tempo para responder e poderá realizar a resposta exclusivamente nesse intervalo. Após o intervalo de tempo de resposta, será necessário aguardar outra transmissão iniciada pelo dispositivo final para que possa realizar a comunicação. Dispositivos classe A são os que consomem menos energia entre as três classes (LORA ALLIANCE, 2018).

Classe B – Comparados com os dispositivos classe A, os dispositivos classe B podem ter janelas de recebimento de dados programadas. Em intervalos de tempo definidos serão abertas as janelas de recebimento nos dispositivos finais. O intervalo de tempo será sincronizado com o servidor, permitindo assim que o mesmo seja capaz de saber o momento em que o dispositivo final estará com a janela de recebimento aberta (LORA ALLIANCE, 2018).

Classe C – Os dispositivos classe C têm sua janela de recebimento continuamente aberta, somente será fechada no momento em que estiver transmitindo. Dispositivos classe C utilizam mais energia quando comparados a dispositivos classe A e B, porém é capaz de oferecer uma latência menor entre a comunicação com o servidor de rede (LORA ALLIANCE, 2018). A definição das classes está diretamente relacionada ao consumo de energia dos dispositivos finais. Outra característica que está diretamente relacionada ao consumo de energia dos dispositivos finais da rede LoRaWAN® é o ADR (*Adaptive Data Rate*). O ADR é um mecanismo que atua individualmente na transmissão de dados de cada dispositivo final. Varia a potência de transmissão e a taxa de dados conforme a necessidade, desta forma busca diminuir o consumo de energia dos dispositivos finais, assim como melhorar a capacidade da rede. A capacidade de transmissão entre dispositivos finais e *gateways* está entre 0,3 a 50 kbps (LORA ALLIANCE, 2018)

Outra característica que é exigida quando se trata de LPWANs é a segurança da rede. A LoRaWAN® utiliza duas camadas de segurança, uma atuando a nível da camada de rede e outra atuando a nível da camada de aplicação. A camada de segurança de rede garante a autenticidade dos dados entre o dispositivo final e o servidor de rede, enquanto a camada de segurança de aplicação assegura a integridade dos dados entre o dispositivo final e a aplicação. Ambas camadas de

segurança utilizam a criptografia AES-128 (*Advanced Encryption Standard*) (LAVRIC; POPA, 2017).

2.2.3 Protocolo MQTT

Com a necessidade de realizar a integração entre o servidor de rede LoRaWAN® e o servidor de aplicação que dará visibilidade e funcionalidade à aplicação desenvolvida, é necessário a utilização de um protocolo de Ethernet responsável por essa comunicação. Dentre os diversos servidores de rede LoRaWAN® disponíveis no mercado, todos dispõem entre outras, realizar a integração com o servidor de aplicação via protocolo MQTT (*Message Queue Telemetry Transport*, do português Enfileiramento de Mensagens de Transporte de Telemetria). O protocolo MQTT, é um protocolo que se tornou padrão na utilização na IoT. Desenvolvido pela IBM no final dos anos 90, o protocolo funciona com base em publicação e assinatura em tópicos, onde todos os dispositivos assinados em um certo tópico receberão os dados assim que algum dispositivo publicar no tópico em questão (YUAN, 2017).

O protocolo MQTT traz características ideais para a utilização em conjunto com o IoT, já que é um protocolo leve, capaz de operar em redes com largura de banda limitada e alta latência. Quando comparado a padrões de internet mais utilizados como o HTTP, por exemplo, são consideradas desvantagens para aplicações na IoT: (YUAN, 2017)

- Um protocolo síncrono, onde a cada requisição é esperada uma resposta;
- Um protocolo com comunicação unidirecional, fazendo com que o cliente sempre tenha que iniciar a comunicação;
- Um protocolo com comunicação um para um, tornando difícil o envio de dados para diversos dispositivos;
- Um protocolo pesado, com um cabeçalho grande.

2.3 TRABALHOS CORRELATOS

Com a evolução das LPWAN novas abordagens para o rastreamento e monitoramento de objetos móveis se tornaram possíveis. Diversos trabalhos dos

últimos cinco anos com o tema em questão foram encontrados e serão trazidos a seguir com o objetivo de analisar as diferentes tecnologias e metodologias aplicadas.

Uma grande gama de trabalhos foi dedicada ao rastreamento de animais de pequeno porte. Nesses trabalhos a preocupação com o peso e tempo de vida do dispositivo eram cruciais, pois, normas regulamentam o peso máximo de um objeto que pode ser acoplado em um animal com base no seu peso. Um exemplo é o trabalho de Bouten *et al* (2012), que criaram um dispositivo capaz de monitorar a migração de pássaros de pequeno porte. Os três requisitos mínimos para esse sistema eram: a não necessidade de recapturar os pássaros para aquisição dos dados, obtenção da localização 3D do animal e um dispositivo com peso máximo de doze gramas. Para atingir o requisito do peso, uma das abordagens necessárias foi a utilização de uma antena fractal para o módulo GPS, que tem um peso muito menor quando comparado a antenas de cerâmica padrões de módulos GPS. O dispositivo ainda conta com uma placa solar para o carregamento da bateria e uma memória *flash* de 4 MB, capaz de armazenar os dados obtidos. Ainda contava com um transceptor ZigBee que com os testes aplicados alcançava até 8,5 km em céu aberto sem obstáculos e uma altitude considerável, porém tinha desempenho bastante limitado quando submetido a ambientes com relevos e obstáculos. Para a situação mais crítica foram necessários seis concentradores para cobrir a área de estudo de 50 km².

Ainda foi encontrado outro trabalho em que a preocupação com o baixo consumo de energia estava em foco, buscando trazer alternativas para aquisição da localização via módulos GPS, que consomem uma quantidade considerável de energia. Um exemplo é Fargas e Petersen (2017) que em seu trabalho propuseram um método que consiste em realizar a comunicação a partir de uma rede LoRaWAN[®] e que fosse capaz de fornecer a localização sem um módulo GPS. A metodologia aplicada consistia em criar uma área de cobertura que em qualquer lugar os sinais transmitidos pelos dispositivos finais fossem recebidos por 4 *gateways*. Com os relógios do *gateway* sincronizados, utilizou-se a técnica de TDOA (*Time Difference of Arrival*, do inglês tempo diferencial de recebimento). Esta técnica tem como fundamento comparar a variação do tempo em que cada *gateway* recebeu o mesmo sinal e que, segundo o autor, estudos recentes confirmam que TDOA traz um melhor desempenho para aquisição da localização quando comparado ao RSSI (*Received signal strength indication*). Após a aplicação da metodologia se observou uma precisão de até 100 metros na obtenção da localização com um consumo médio de

12,9 mA, valor de extrema eficiência quando comparado a módulos comuns de GPS e GSM (*Global System for Mobile Communications*) que tem um consumo de 400-600 mA durante a transmissão.

Já em outros trabalhos que não havia muita preocupação com o consumo de energia, foram utilizadas soluções similares à proposta pelo presente trabalho, que consiste na utilização do módulo GPS e comunicação via LoRAWAN®. Baharudin e Yan (2016) tinham como objetivo criar um dispositivo capaz de enviar em tempo real a sua localização via uma rede LPWAN. A arquitetura do projeto consistia em um número indeterminado de dispositivos finais, que deveriam enviar sua localização para um concentrador. A arquitetura dos dispositivos finais contava com um microcontrolador Arduino Uno em conjunto com Dragino Lora Shield, que tem uma interface dedicada para a comunicação com o microcontrolador utilizado. O dispositivo final ainda tinha uma bateria de lítio de 9 V responsável por fornecer energia para o dispositivo e um módulo GPS para aquisição dos dados a serem enviados, que são: UTC, latitude, longitude, velocidade e curso. O concentrador era composto por um Galileo Gen 2 da Intel e utilizava a mesma placa Dragino LoRa Shield do dispositivo final para a comunicação. Após desenvolvimento dos protótipos, foi feita uma análise na capacidade de alcance do sinal de comunicação, em um estudo comparando o número de dispositivos realizando a comunicação simultaneamente e o RSSI no receptor. Com base nos dados coletados, foi possível visualizar que o aumento dos dispositivos diminui a intensidade do sinal na recepção.

Já San-Um *et al* (2017) tinham como objetivo em seu trabalho criar um dispositivo LoRaWAN® chamado U-LoRa para utilização em conjunto de tropas táticas. Seu dispositivo final contava com um microcontrolador Arduino pro-mini, módulo GPS neo-6m, um módulo LoRa® e uma bateria de lítio. O *gateway* era composto por um módulo LoRa® e uma Raspberry Pi 3 Modelo B+, esse era conectado a um computador via interface de rede. Os módulos LoRa® tinham uma potência de transmissão de 2 dBi operando a uma frequência de 433 MHz. Foram capazes de alcançar distâncias de até 500 metros, após isso o sinal era perdido. O autor ainda cita que em aplicações onde há necessidade de maiores distâncias, é possível modificar a potência de saída e as antenas para que o alcance seja maior.

Ao que se trata de trabalhos recentes envolvendo rastreamento de veículos, poucos foram encontrados. Em geral os trabalhos têm mais que 5 anos e utilizam outras tecnologias que não envolvam comunicação através de LPWANs. É possível

citar Lien, Chen e Bai (2008), que em seu trabalho desenvolveram um rastreador veicular em tempo real. O rastreador consiste em um módulo GPS e um módulo GSM/GPRS, capazes de enviar informações referentes à localização do veículo para um servidor através da internet via rede de dados móveis. Também conta com sensores que auxiliam na identificação de roubos, enviando um alerta via SMS para o proprietário do veículo. O sistema ainda permitia a possibilidade de configuração do intervalo de envio da localização para o servidor.

Mais recentemente Li, Cheng e Zhang (2016) trazem uma abordagem parecida com o trabalho descrito anteriormente. O sistema contém os mesmos módulos GPS e GPRS, porém traz algumas novas funcionalidades como captura de imagens em tempo real a partir de uma câmera integrada e a quantia de gasolina presente no tanque de combustível. O trabalho também trouxe evoluções referentes a apresentação para o usuário final, que a partir de um aplicativo de celular consegue ter a visualização das informações e solicitar a captura de uma foto instantaneamente.

Para os últimos trabalhos apresentados anteriormente, verificou-se que apesar da eficiência em atingir seus objetivos de rastrear veículos, para cada rastreador era necessário um plano de telefonia móvel para que a comunicação fosse possível, planos que acrescentam custos periódicos e que dependo da aplicação podem tornar o projeto inviável. Com a evolução das LPWANs e seu longo alcance, é possível analisar uma abordagem diferente para rastreamento de veículos, visando eliminar os custos periódicos e ainda sim ter o mesmo desempenho. No Quadro 2 é possível visualizar o comparativo entre o estado da arte e o presente trabalho.

Quadro 2 – Comparativos do estado da arte

	BOUTEN, 2013	FARGAS, 2017	BAHARUDIN, 2016	LEKBUNYASIN, 2017	LIEN, 2008	LI, 2016	NEDEL, 2019
Tecnologia de comunicação	ZigBee	LoRaWAN	LoRaWAN	LoRaWAN	SMS/GPRS	GPRS	LoRaWAN
Chip de comunicação	não especificado	não especificado	Dragino Lora Shield v95-868	não especificado	não especificado	A GPRS 1090	E19-915M30S
Aquisição da localização	módulo GPS	mecanismo próprio	módulo GPS	módulo GPS	módulo GPS	módulo GPS	módulo GPS
Chip de localização	não especificado	X	GMS7-CR6	NEO-6M	não especificado	não especificado	NEO-6M
Alimentação do sistema	bateria propria	bateria propria	bateria propria	bateria propria	bateria do veiculo	bateria do veiculo	bateria do veiculo
Dados enviados	Latitude, Longitude e Altura	não especificado	UTC, Latitude, Longitude, Velocidade e Curso	não especificado	Latitude, Longitude e distancia	Latitude, Longitude, Combustivel, Velocidade	Latitude, Longitude e Velocidade
Distâncias Máxima	8,5 km	não especificado	não testado	500 metros	Operadora de celular	Operadora de celular	950 metros
Intervalo de envios	Variável	5 segundos	2	não especificado	10 a 60 minutos	não especificado	Até 15 segundo

Fonte: Elaborado pelo autor

Com as informações essenciais apresentadas para o correto entendimento do trabalho, assim como a análise de trabalhos correlatos, é possível avançar na elaboração da plataforma a ser proposta, buscando encontrar a melhor solução para o problema em questão.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo será apresentado o sistema proposto e o seu desenvolvimento. Inicialmente será feita uma avaliação dos requisitos do sistema. Em uma segunda etapa serão apresentadas as partes que compõem o sistema proposto, dividindo a metodologia em processos específicos, apresentadas individualmente. E para a conclusão do capítulo, será apresentado o fluxo de testes a serem realizados.

3.1 LEVANTAMENTO DE REQUISITOS

Nesta seção é realizado o levantamento dos requisitos do sistema proposto. Os requisitos são restrições que o sistema deve atender, ou seja, basicamente definem seu funcionamento e suas condições e limitações de funcionamento. Para cada requisito levantado no presente parágrafo, pelo menos um teste será responsável por garantir sua funcionalidade. As descrições dos testes estão presentes no tópico 3.7 e os seus resultados no capítulo 4.

3.1.1 Requisito de alcance

O ponto mais distante da rota do circular em relação ao *gateway* da rede LoRaWAN® da Unisinos que receberá o sinal do dispositivo, está a aproximadamente 1,5 km de distância, próximo à estação do Trensurb. Nesse caso será necessário um mínimo de 2 km de alcance do ponto onde o concentrador está, dessa forma tendo uma margem de segurança de 0,5 km.

3.1.2 Requisito de não haver custo periódico

Como já citado na introdução do trabalho, o objetivo do sistema será realizar o rastreamento do veículo sem a geração de custos periódicos. O sistema, somente com o seu investimento inicial, deverá funcionar sem qualquer tipo de custo extra para mantê-lo, somente poderá haver custos em uma suposta necessidade de manutenção do dispositivo.

3.1.3 Requisito de intervalo de envio

Para que seja possível ter um acompanhamento com uma noção razoável de monitoramento em tempo real, entende-se que seja enviado os dados de localização e velocidade do veículo a cada 15 segundos, no máximo. Caso contrário, distâncias muito longas poderão ser percorridas sem que o veículo atualize sua posição atual.

3.1.4 Requisito de tamanho

O dispositivo que realizar a coleta dos dados deverá ter um tamanho relativamente pequeno comparado ao veículo, para, assim, ter disponibilidade de ser colocado em qualquer lugar dentro do ônibus. Também deverá ter capacidade para que sua antena alcance a parte superior do veículo, fazendo com que o dispositivo consiga transmitir e receber os dados com um maior alcance.

3.1.5 Requisito de alimentação e consumo elétrico

Veículos de grande porte como caminhões e ônibus de modo geral contam com um sistema elétrico de 24 V (Volts) (OLIVEIRA, 2010). Enquanto o veículo está ligado, essas baterias são recarregadas pelo seu alternador, mantendo assim as baterias carregadas para quando o veículo for novamente desligado. Dessa forma, quando estiver desligado, o veículo consegue acionar seu motor de partida, que irá ligá-lo. Em uma suposta situação em que ocorra o término da carga das baterias enquanto estiver desligado, o veículo não conseguirá dar partida sozinho (DIAS, 2015). Analisando esta situação, é necessário atentar para a utilização do dispositivo quando o veículo estiver desligado por longos períodos, pois provavelmente o dispositivo será instalado em local de difícil acesso, prejudicando o desligamento manual. O dispositivo deverá possibilitar o corte ou a limitação de consumo de energia, para que não haja comprometimento no restante do veículo.

3.1.6 Requisito de funcionalidade ininterrupta e permanente

O sistema deve operar de forma ininterrupta, sem nenhuma ação do usuário para essa ocasião. Esta é uma preocupação para que o dispositivo que envia os dados permaneça ativo, e não funcione por alguns minutos e depois seja interrompido

inesperadamente por um erro imprevisto, como estourar a memória do microcontrolador, por exemplo.

3.1.7 Requisito de interface com o usuário

O sistema deverá contar com um mecanismo de apresentação dos dados de localização do veículo, assim com uma identificação na ocorrência de algum erro, como por exemplo a perda de conexão com o dispositivo. Esse mecanismo poderá ser utilizado por qualquer usuário que tenha acesso a internet, e a localização dos veículos deverá ser apresentada em um mapa de forma que fique intuitivo para o usuário conhecer a sua localização.

3.1.8 Requisito de histórico de dados

O sistema deverá armazenar por tempo indeterminado os dados de localização assim como a qual veículo eles pertencem, sua data de obtenção e qual a resposta enviada para o dispositivo.

3.1.9 Requisito de sinalização de segurança

O sistema deverá contar com um mecanismo de sinalização indicando que o veículo saiu da rota programada. Sempre que for identificado que o veículo não está na rota pré-programada, o dispositivo deverá sinalizar para o motorista e os passageiros.

3.1.10 Requisito de validação dos dados

Como o sistema utilizará o GPS para a coleta dos dados de localização e velocidade, com um *hardware* de terceiros próprio para essa finalidade, deve ser previsto o não funcionamento correto do item citado, assim como problemas de captura do sinal em algum ponto específico da rota. Neste caso, deverá ser realizada a validação dos dados recebidos, verificando se estão corretos.

3.1.11 Requisito de funcionamento simultâneo de dispositivos finais

O sistema desenvolvido deve funcionar para mais de um dispositivo ao mesmo tempo. Como há mais de um ônibus que deverá ser monitorado, o sistema deve permitir suporte para que todos funcionem simultaneamente.

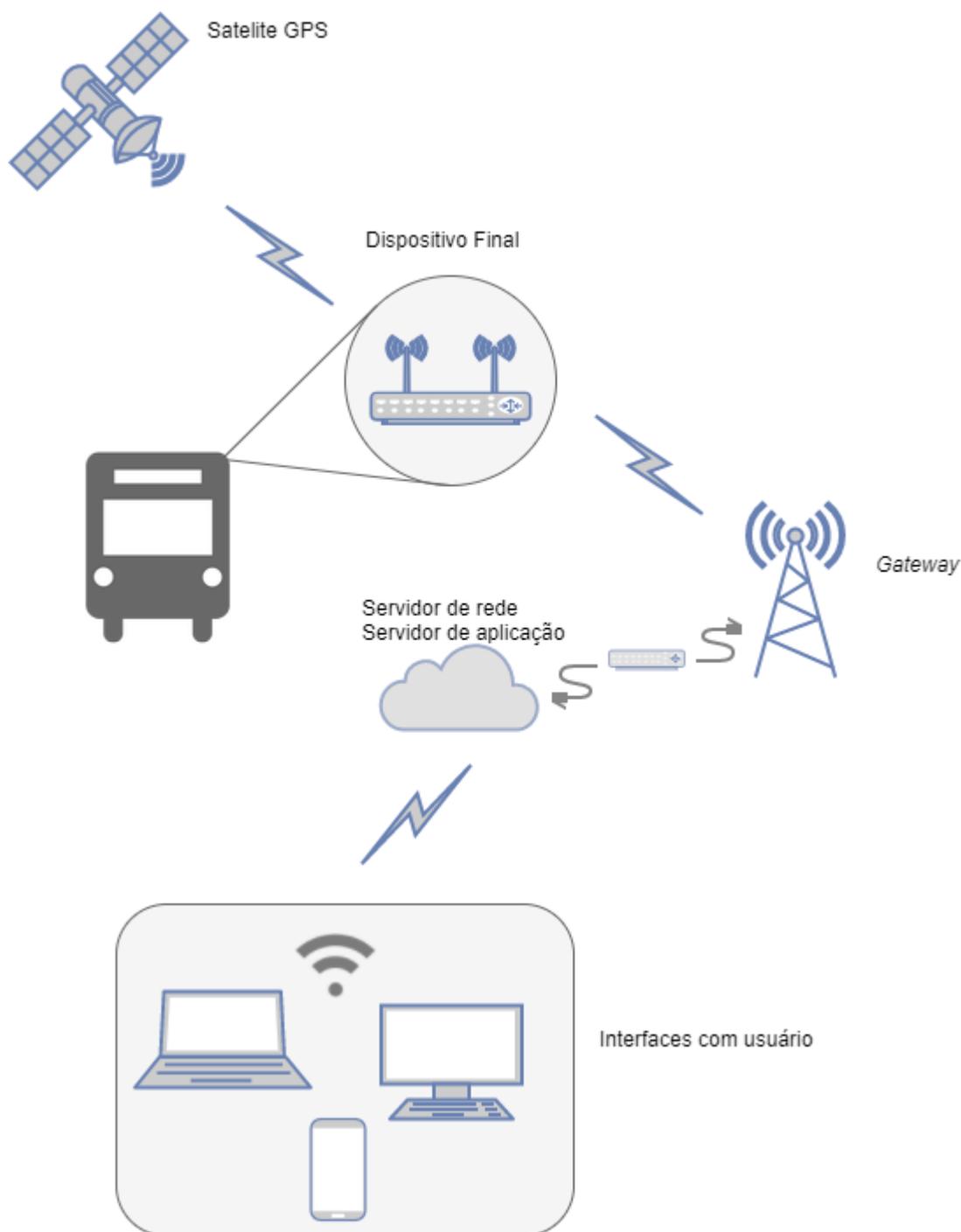
Com o levantamento dos requisitos realizados neste tópico, será apresentado na próxima sessão a caracterização do sistema proposto, que demonstrará os componentes que integram o sistema e seu funcionamento resumido.

3.2 SISTEMA PROPOSTO

O sistema proposto para o monitoramento e rastreamento do ônibus circular da Unisinos será dividido em três processos independentes que utilizam algum mecanismo para se comunicar, são eles definidos pelos nomes de dispositivo final, integrador e apresentação. Uma das formas de comunicação será o banco de dados. Ela que fará o armazenamento e a comunicação entre os processos Integrador e Apresentação. A comunicação entre os processos de dispositivo final e do integrador será feita através de uma rede LoRaWAN®.

O dispositivo final será um sistema embarcado que enviará periodicamente dados GPS de localização e velocidade através de uma rede LoRaWAN®. O integrador por sua vez será responsável por receber os dados pela rede LoRaWAN® enviados pelo dispositivo final a fim de processá-los e armazená-los em um banco de dados, também definindo uma resposta para o dispositivo final. Essa resposta será composta por comandos que podem acionar alguma funcionalidade extra no dispositivo final. A apresentação será responsável por verificar as informações armazenadas pelo integrador no banco de dados e exibir a localização do veículo em um mapa para o usuário. Essa exibição ocorrerá de duas formas, são elas uma página *web* e um aplicativo para *smartphones* rodando em um sistema operacional Android®. Os componentes e a arquitetura do sistema poderão ser visualizados na Figura 6.

Figura 6 – Ilustração da arquitetura do sistema



Fonte: Elaborado pelo autor

3.3 DISPOSITIVO FINAL

Como já apresentado resumidamente no tópico 3.2, o dispositivo final tem como finalidade enviar os dados GPS via uma rede LoRaWAN®, operando como classe C. Os dados a serem enviados tem exatamente 12 bytes, que são compostos por 3

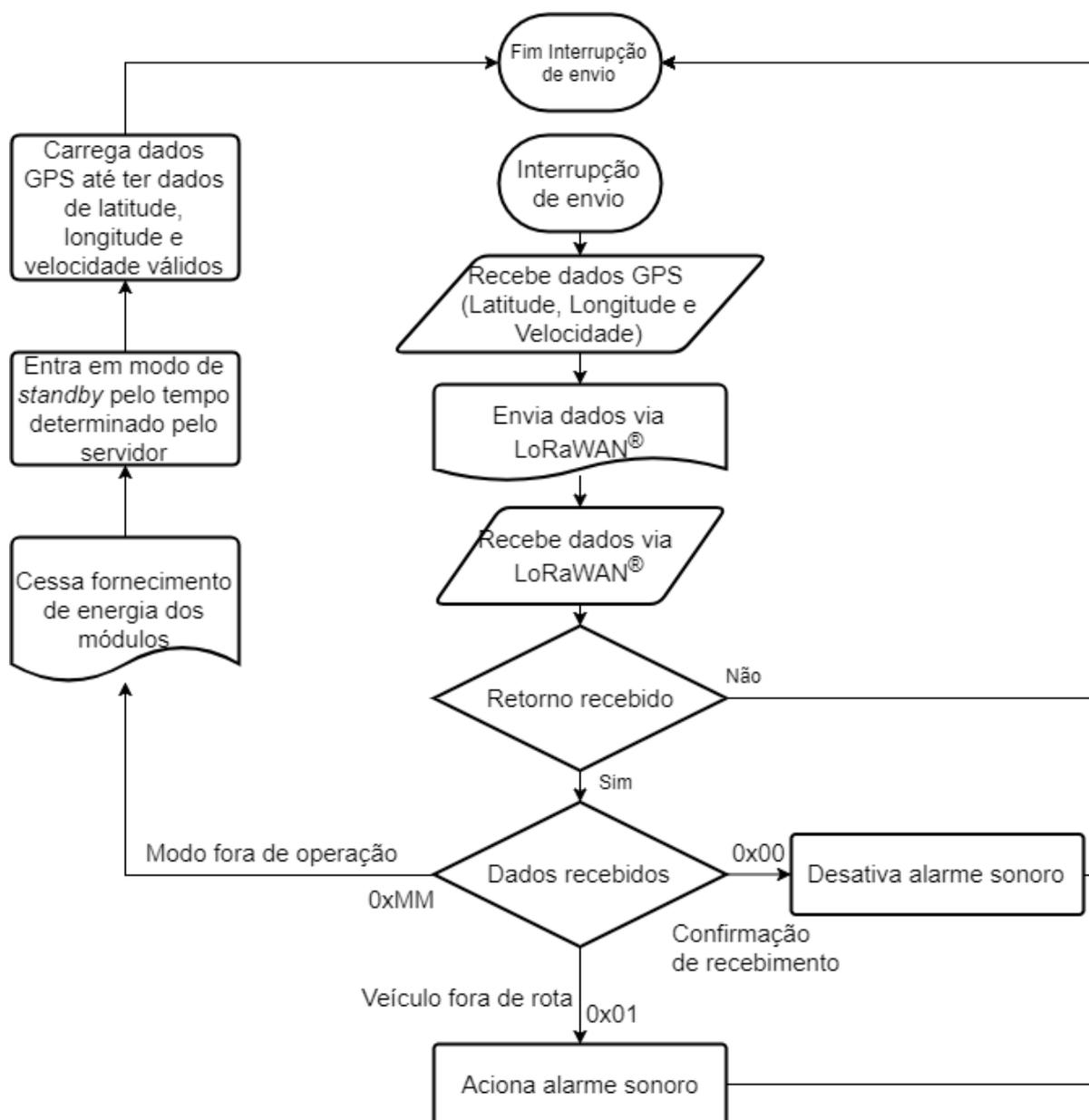
números de pontos flutuantes, os quais representam latitude, longitude e velocidade. Além de enviar os dados adquiridos pelo GPS, o dispositivo tem a capacidade de ter certas funcionalidades acionadas de acordo com a resposta recebida pela rede. São elas: confirmação de recebimento, que mantém o funcionamento natural do dispositivo final; fora de operação deixando-o com baixo consumo de energia por um tempo determinado; e fora de rota, que será responsável por sinalizar que o veículo está fora da rota programada, acionando o um alarme sonoro. Todas respostas terão sempre o tamanho estipulado de 1 byte e suas definições serão apresentadas nos próximos parágrafos.

A confirmação de recebimento somente irá sinalizar ao dispositivo que nada diferente da operação normal deve ser feito. Ela será representada pelo valor 0x00. Também poderão ocorrer situações em que nenhuma resposta seja recebida, nesse caso também será considerado pelo dispositivo final que o mesmo deve manter sua operação normal.

O modo fora de rota tem como objetivo cumprir o requisito de sinalização caso do veículo esteja fora da rota programada. Sempre que o dispositivo final tiver como retorno ao seu envio o valor 0x01, ele irá acionar o modo fora de rota. O modo fora de rota apenas acionará um alarme sonoro que estará junto com o dispositivo. Após o acionamento, o dispositivo final irá manter seu funcionamento normal enviando os dados. O alarme sonoro somente será desligado quando o dispositivo final receber uma confirmação de resposta, indicando que o veículo está em operação normal dentro da rota.

O objetivo do modo fora de operação é atender ao requisito de consumo de energia quando o veículo estiver desligado. O modo fora de operação fará com que o microcontrolador entre em modo de baixo consumo de energia. Também desligará os módulos a fim de consumir o mínimo possível de energia do veículo. Quando recebido o modo fora de operação, junto será recebido a informação de intervalo de tempo. O intervalo de tempo recebido será referente ao número de minutos na qual o dispositivo irá manter o modo fora de operação, logo sempre que o dispositivo final receber algum dado que não seja os já mencionados 0x00 e 0x01, será considerado que o valor é o tempo em minutos que o dispositivo deve ter seu modo fora de operação ativado. Na Figura 7 pode ser visualizado todo o fluxograma comportamental do dispositivo final.

Figura 7 - Fluxograma da função principal no dispositivo final

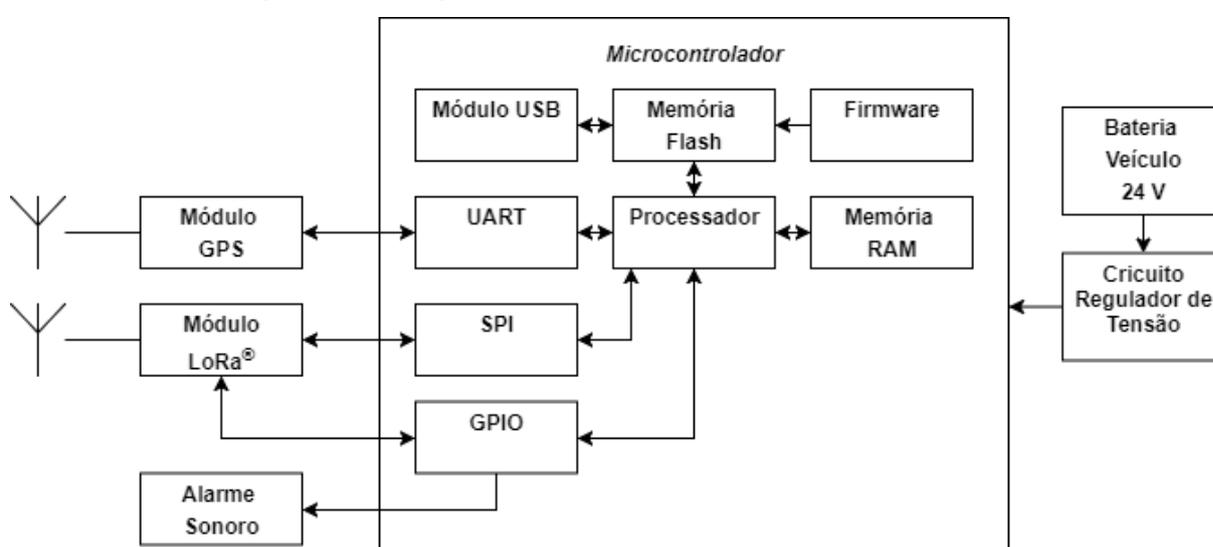


Fonte: Elaborado pelo autor

Para atender às funcionalidades do dispositivo final, serão necessários *hardwares* específicos para o recebimento do sinal GPS e para a comunicação via LoRaWAN®. Para o recebimento e processamento do sinal GPS, será utilizado um módulo GPS que irá se comunicar com o microcontrolador via protocolo UART (*Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*). A transmissão via LoRaWAN® será feita utilizando um módulo LoRa® que se comunicará com o microcontrolador via protocolo SPI (*Serial Peripheral Interface*). Ambos os módulos necessitam de uma antena dedicada para realizar o envio e recebimento de sinais de RF (Rádio Frequência).

Analisando todos os tópicos acima, é possível definir os componentes e características para a escolha do microcontrolador, que será o responsável por realizar todo o processamento do dispositivo final. Inicialmente deve ter uma interface USB, para servir como fonte de alimentação. Deve conter interfaces UART e SPI, assim como GPIO (*General Purpose Input Output*) para utilização em conjunto com os módulos LoRa® e GPS. Os GPIO também serão responsáveis por acionar o alarme sonoro e ligar e desligar os módulos GPS e LoRa®. O diagrama completo de todos os itens que consiste o dispositivo final pode ser encontrado na Figura 8.

Figura 8 – Diagrama de blocos do sistema embarcado



Fonte: Elaborado pelo autor

Analisando os componentes mínimos necessários para o *hardware*, se optou por utilizar o microcontrolador STM32F103C8, com processador Arm Cortex M3. O microcontrolador é capaz de atender todos os requisitos necessários para o dispositivo final. O microcontrolador tem interfaces SPI e UART, necessárias para o interfaceamento com os módulos LoRa® e GPS. Tem a sua disposição 51 GPIO, frequência de operação de até 72 MHz e 64 kB de memória *flash*. Além dos itens essenciais para o projeto, o *hardware* ainda possui diversas outras funcionalidades como ADC (*Analogue-to-Digital Converter*), DAC (*Digital-to-Analogue-Converter*), *timmers*, etc (ST, 2018).

Como o sistema exige a necessidade de transmissão de longa distâncias em perímetros urbanos, há necessidade de utilizar um módulo LoRa® com uma boa potência de transmissão. O módulo LoRa® escolhido foi o E19-915M30S da empresa

EBYTE. O módulo tem como base o *chip* LoRa® SX1276 da SEMTECH. Dentre das suas principais características podem ser citados: interface para antena IPX embutida, potência de transmissão de 30 dBm, sensibilidade de recebimento de -148 dBm, interface de comunicação SPI e frequência de operação 900 a 931 MHz (CHENGDU EBYTE ELETRONIC TECHNOLOGY CO., LTDA., 2018). Como o módulo já conta com a interface de antena IPX, será necessária ainda uma antena que possua essa conexão, com dimensões específicas para a frequência de operação no Brasil de 915 MHz.

O módulo GPS escolhido foi o GY-GPS6MV2, com base no *chip* NEO-6 da empresa U-BLOX. Muito utilizado, o módulo tem uma interface de comunicação através do protocolo UART. Esse módulo conta com uma antena cerâmica dedicada, específica para o sinal do GPS. Sua tensão de alimentação é de 3 a 5 V (U-BLOX, 2011).

Para o protótipo a ser criado, a energia provida pelo ônibus será obtida através de uma tomada veicular, disponível no veículo. A escolha da tomada se dá pela vantagem de não ser necessário mexer na estrutura elétrica do veículo. Será acoplado à tomada, um circuito elétrico que irá transformar os 24 V fornecidos pelo veículo em 5 V para ser a fonte de alimentação do microcontrolador. A saída de 5 V do circuito será dada via interface USB, essa que é suportada pelo microcontrolador que distribuirá a energia para os demais componentes.

Com foco nos componentes de *software* para desenvolvimento do dispositivo final, será demonstrado as bibliotecas a serem utilizadas pelo dispositivo. As bibliotecas facilitam a integração entre o programa objetivo com o *hardware* utilizado. Além da biblioteca HAL (*Hardware Abstraction Library*), obtida pelo *software* STMCube32MX, que realiza a abstração dos componentes de *hardware* do microcontrolador tornando seu uso mais simples (ST, 2017), serão utilizadas duas bibliotecas externas para facilitar a integração entre os módulos e o microcontrolador.

A biblioteca para utilização em conjunto com o módulo LoRa® será a LMIC (LoRaMAC in C) da IBM. A biblioteca LMIC é responsável por criar camada MAC (*Media Access Control*) para redes LoRaWAN®. Utiliza linguagem de programação C, tendo seu código aberto. Atualmente está na versão 1.0.5 (IBM CORPORATION, 2015).

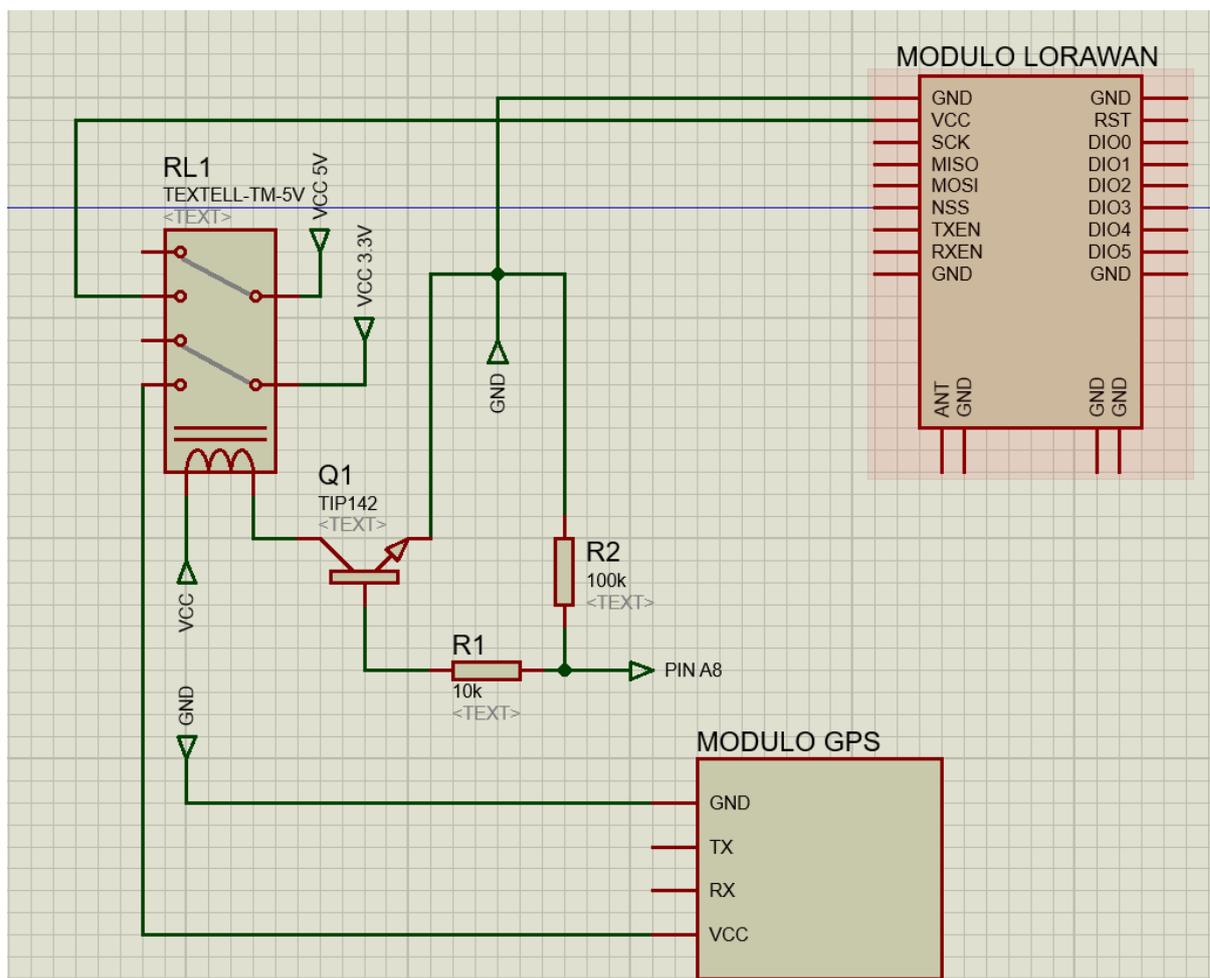
Para o módulo GPS a biblioteca utilizada foi a TinyGPS. Biblioteca muito utilizada, conta com mecanismos para manter o consumo de recursos baixo. TinyGPS

também fornece ao seus utilizadores, suporte a NMEA GPS que é uma padronização de dados suportada por todos os dispositivos GPS (HART, 2013). Seu propósito é padronizar a comunicação com dispositivos, a fim de que não seja necessário para o desenvolvedor criar códigos customizados para cada receptor diferente (GAKSTATTER, 2015).

Para atender ao correto funcionamento do modo fora de operação, foi desenvolvido um *hardware* extra, o qual desliga momentaneamente o os módulos LoRa® e GPS. O módulo LoRa®, por padrão, consome pouca energia quando não está trocando dados, no entanto o GPS não conta com a mesma capacidade. Seria necessário um circuito extra para desabilitar o GPS, então se optou por desligar os dois, com o hardware sendo capaz de atender ambos módulos, contando que gastar nada é melhor que gastar pouca energia.

Para a ativação e desativação dos módulos foi utilizado um relé em conjunto com um transistor. O transistor foi necessário pois o consumo de corrente utilizado para acionar o relé é maior que a capacidade fornecida pelo microcontrolador, que é limitado em 20 mA por GPIO. Logo o GPIO com uma corrente muito baixa acionará a base do transistor que por sua vez acionará o relé. O esquemático do circuito pode ser visualizado na Figura 9.

Figura 9 – Esquemático do circuito de acionamento dos módulos LoRa® e GPS



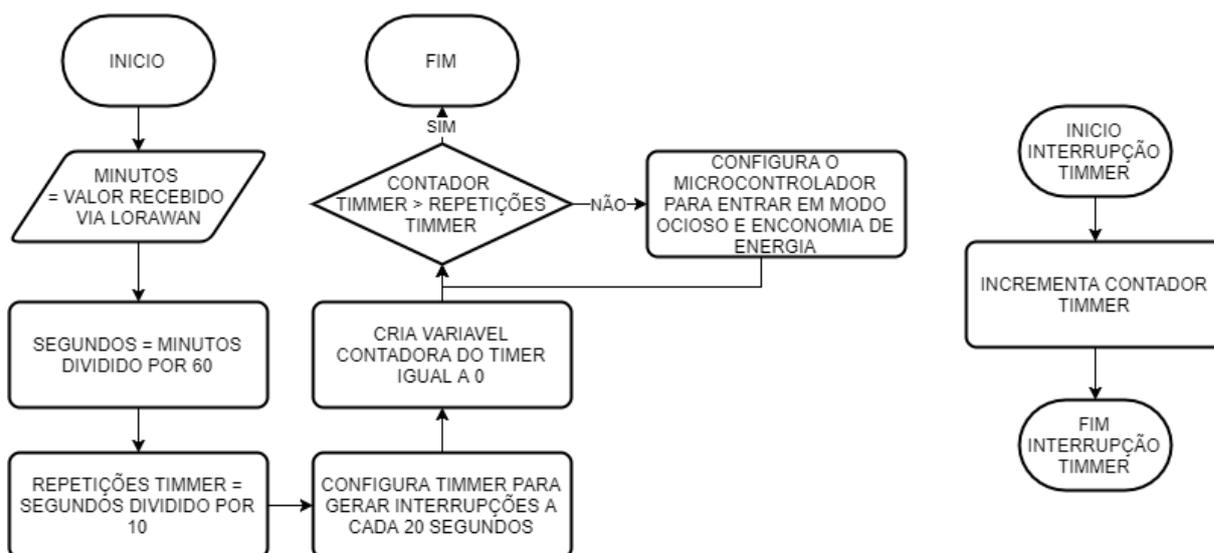
Fonte: Elaborado pelo autor

O circuito que liga e desliga os módulos é ativado logo que o microcontrolador é inicializado. Ele somente será desativado assim que o dispositivo receber a instrução via LoRaWAN®. Como já visto, a instrução de desligamento do circuito ocorre através do recebimento de um tempo específico, que é dado em minutos. Para controlar o tempo específico, foi utilizado o *timmer1* do microcontrolador para realizar a contagem do tempo em que o circuito deve ficar desligado e então realizar uma interrupção, assim instruindo o *software* a ligar novamente o sistema.

O *timmer1* do microcontrolador é um *timmer* de precisão de 16 bits, com contador de 16 bits, dando assim capacidade para o mesmo de contar até 59,65 segundos na frequência de operação do microcontrolador que é de 72 MHz. Com o fato do *timmer* não ser capaz de alcançar o tempo máximo permitido pelo projeto em que o circuito deve ficar desligado, foi implementado uma função que conta as interrupções do *timmer* até que o tempo necessário seja alcançado. Sempre que a

instrução de modo de fora de operação é recebida pelo dispositivo, seu valor em segundos é dividido pelo tempo programado do *timmer* que no caso é de 10 segundos. O valor da divisão é utilizado pela função para saber quantas interrupções o *timmer* terá que fazer para que seja atingido o tempo desejado. Na Figura 10 é possível visualizar o fluxograma da lógica implementada descrita no presente parágrafo.

Figura 10 – Fluxograma da lógica para ativação do circuito de baixo consumo.



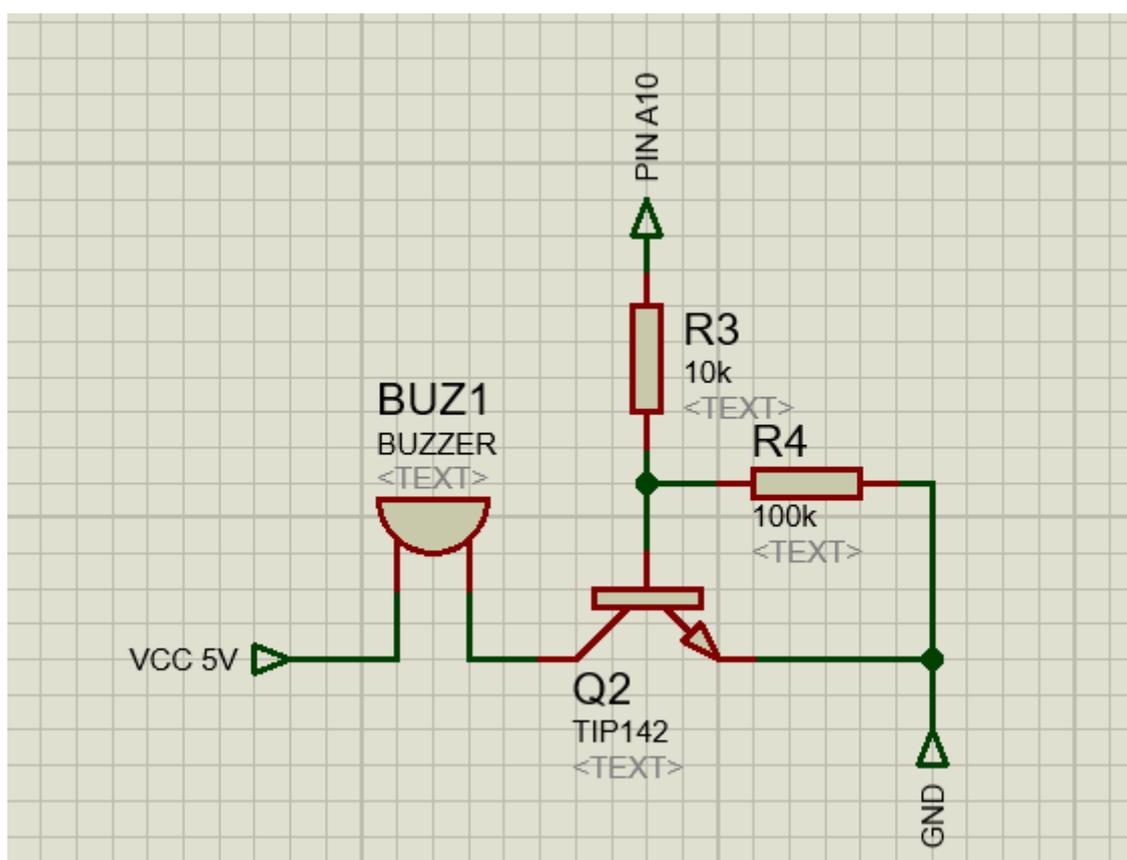
Fonte: Elaborado pelo autor

Como pode ser visto na Figura 10, sempre que inicia a contagem do *timmer* é acionado uma função específica do microcontrolador. Essa função tem como objetivo diminuir todo o consumo de recursos por parte do microcontrolador, como GPIO, interface UART, interface SPI etc. O microcontrolador somente sai desse modo de baixa economia de energia quando há uma interrupção. Essa interrupção é justamente o *timmer* programado para gera-la a cada dez segundos. Caso a contagem das interrupções não tenha chegado ao valor definido para que o tempo em modo fora de operação esteja completo, novamente será executado a função de baixo consumo de energia do microcontrolador, repetindo até que o número de interrupções definido seja alcançado.

Outro circuito extra desenvolvido foi o circuito para acionar a sinalização sonora, que é responsável por ativar um *buzzer* de 5 V. O circuito foi necessário pois o *buzzer* consome uma corrente maior que a capacidade do GPIO do microcontrolador. Para sua confecção foi utilizado um transistor, que a partir de uma corrente de base acionado por um GPIO do microcontrolador irá acionar o *buzzer*. O transistor utilizado

foi o TIP142, é um transistor NPN *Darlington* com um ganho de 1000. Foi escolhido justamente para que tivesse o menor consumo possível para o pino do microcontrolador, assim como a facilidade de obtê-lo já que é disponibilizado pelo laboratório da Unisinos. Na Figura 11 é possível visualizar o esquemático do circuito responsável por acionar o *buzzer*.

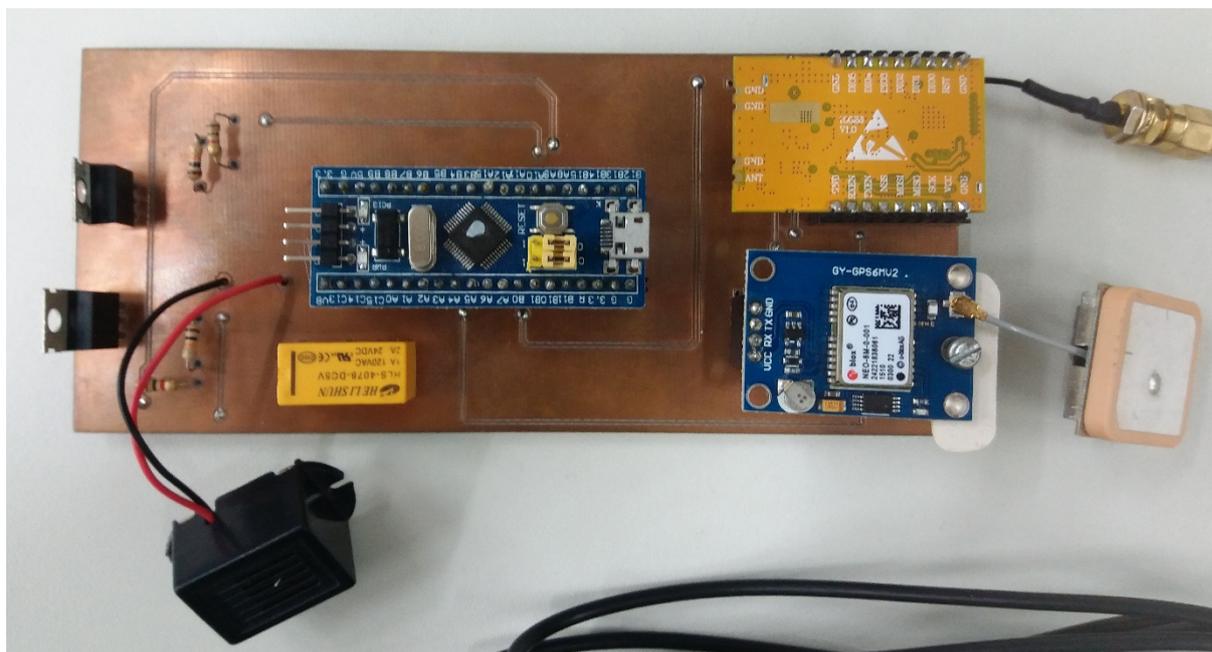
Figura 11 – Esquemático do circuito de acionamento da sinalização sonora



Fonte: Elaborado pelo autor

Com o circuito extra dimensionado, foi realizada a montagem do circuito completo. O circuito completo conta com o microcontrolador, módulo LoRa®, módulo GPS, circuitos de acionamento dos módulos, circuito de acionamento do *buzzer* e as antenas para o módulo GPS e módulo LoRa®. Para testar o correto funcionamento do circuito e do dispositivo final, primeiramente foi realizada a montagem do mesmo em uma placa de testes. Com os ajustes feitos e a verificação do correto funcionamento foi desenvolvido uma PCI (Placa de Circuito Impressa), com o objetivo de diminuir os espaços e melhorar a mobilidade do dispositivo final. O dispositivo final pode ser visto na Figura 12.

Figura 12 – Dispositivo Final

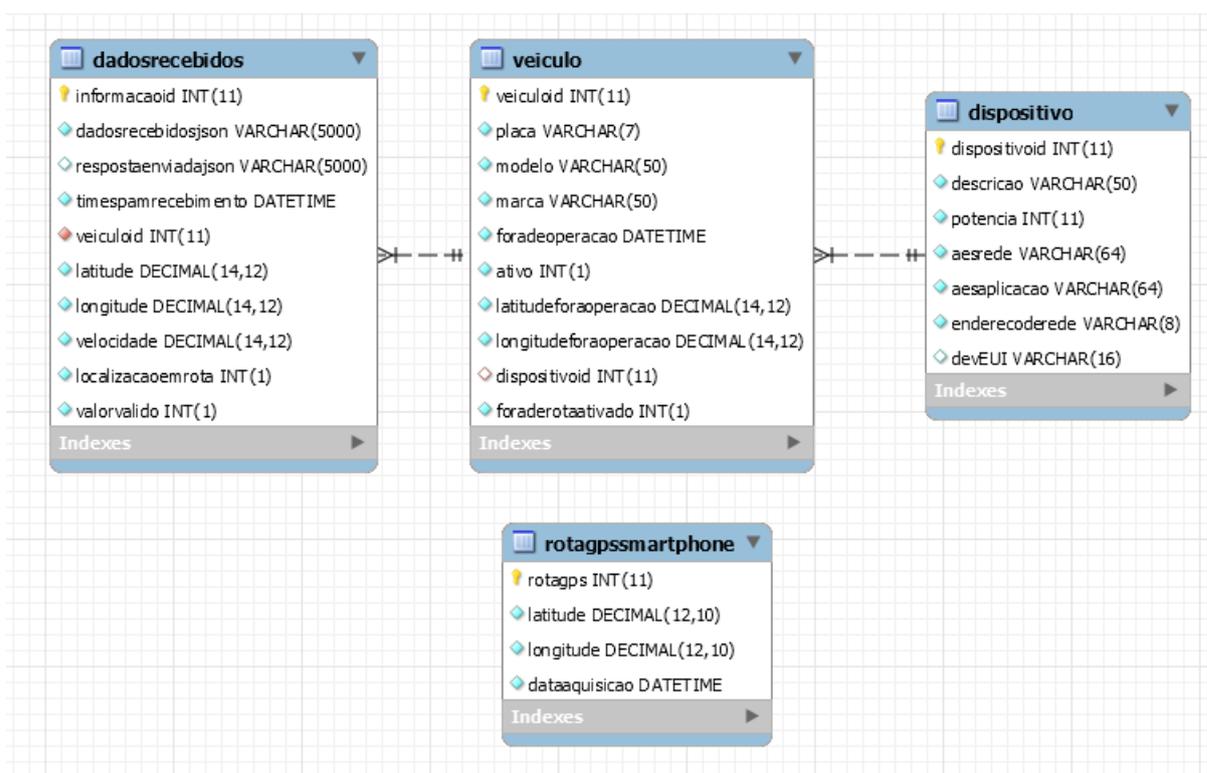


Fonte: Elaborado pelo autor

3.4 BANCO DE DADOS

O banco de dados é a estrutura base de como os dados serão armazenados e utilizados, assim como o mecanismo de troca de dados entre os processos integrador e apresentação. O banco de dados foi modelado em um esquema nomeado como “lorawan”, onde estão presentes 4 tabelas. Na Figura 13 é possível visualizar a modelagem do banco de dados MySQL criada a partir do aplicativo MySQL Workbench.

Figura 13 – Modelagem do banco de dados



Fonte: Elaborado pelo autor

A tabela “dispositivo” é a tabela onde é cadastrado cada dispositivo utilizado pelo sistema. Ela armazena alguns dados importantes referente aos dispositivos, como chave AES para a rede LoRaWAN® a nível de rede e de aplicação, representadas pelas colunas “aesrede” e “aesaplicação”. Armazena a potência do *chip* LoRa® utilizado pelo dispositivo na coluna “potência” e o endereço único do dispositivo na rede pela coluna “enderecoderede”. A coluna “devEUI” representa o dispositivo a um nível de aplicação no servidor LoRaWAN®, ou seja, esse será o identificador único para identificar de qual dispositivos os dados estão sendo recebidos. A tabela “dispositivo” está ligada com chave estrangeira à tabela “veiculo”.

A tabela “veiculo” representa cada veículo que está sendo rastreado pelo sistema. Somente dados de veículos previamente cadastrados serão considerados pelo processo integrador. A coluna “placa”, “modelo” e “marca” da tabela representam as respectivas características do veículo. A coluna “ativo” representa a informação referente a consideração daquele veículo pelo processo integrador. A coluna “foradeoperacao” representa uma data na qual, até aquele momento, o veículo deverá estar em modo fora de operação. As colunas “latitudeforaoperacao” e “longitudeforaoperacao” representam as coordenadas de latitude e longitude na qual,

o veículo será exibido no mapa no processo de apresentação caso estejam fora de operação. A coluna “foraderotaativado” é um indicador para ativar o modo fora de operação caso o veículo esteja fora da rota pré-definida. Ela se torna muito oportuna em uma situação onde o veículo precisa sair da rota programada e ainda assim precisa ser monitorado. Nesse caso pode ser indicado a partir da coluna que a sinalização sonora dentro do veículo não deverá ser acionada, não causando incômodo ao motorista e aos passageiros.

A tabela “dadosrecebidos” tem como principal característica salvar todos os dados recebidos pela aplicação integradora do dispositivo final. Nas colunas “dadosrecebidosjson” e “respostaenviadajson” são salvos os dados recebidos e os dados a serem enviados para os dispositivos, respectivamente, ambos em formato JSON (*JavaScript Object Notation*) seguindo protocolo do servidor de rede. A coluna “timestamprecebimento” representa a data e o horário em que os dados foram recebidos com base na data e horário do computador em que o aplicativo da integração está sendo executado. A coluna “veiculoid” representa de qual veículo previamente cadastrado os dados foram originados. As colunas “latitude”, “longitude” e “velocidade”, são as colunas que representam os dados enviados pelo dispositivo. Para obtê-las, é necessário extraí-las a partir dos dados recebidos pelo servidor de rede, que acompanha outras informações em conjunto. A coluna “localizacaoemrota” sinaliza se os dados recebidos de localização do dispositivo estão dentro da rota. A coluna “valorvalido” representa a sinalização de um cálculo que é realizado, representado se o dispositivo final enviou dados de leitura GPS válidos.

A tabela “rotagpssmartphone” contém os dados de latitude e longitude referente a rota que o ônibus circular realiza. Os dados foram recolhidos a partir de um *smartphone*, com um aplicativo que a cada 1 segundo, capturava a localização e salvava os dados de latitude e longitude no banco. Os dados da tabela são utilizados para verificar se o veículo está dentro da rota programada ou não. Essa tabela também foi utilizada para a realização do teste unitário do módulo GPS, validando se o módulo funcionava corretamente e captava os dados esperados.

3.5 INTEGRADOR

A aplicação Integradora é o cérebro do sistema desenvolvido. De forma resumida, seu funcionamento consiste em receber os dados do servidor de aplicação

enviados pelo dispositivo, processar os dados, verificando se são dados válidos, se estão dentro da rota marcada, se o veículo está fora de operação e assim definindo a resposta a ser enviada de volta para o dispositivo.

O servidor de rede e aplicação utilizado pela Unisinos, como parte da infraestrutura da rede LoRaWAN® foi o loraserver. O servidor de aplicação do loraserver possibilita ao usuário os 3 tipos de integração, são elas HTTP, MQTT e via banco de dados. Foi optado pela utilização da integração MQTT, essa que traz vantagens em relação as integrações HTTP e banco de dados. Quando comparado à integração HTTP, pode ser citado a realização de um filtro dos dados a serem processados. Na integração MQTT somente serão recebidos os dados nos tópicos cuja aplicação está inscrita, diferentemente da integração HTTP, onde esse filtro deverá ser realizado no código, pois receberá do servidor de aplicação todos os dados sem um filtro prévio. Também pode ser considerado a maior facilidade no desenvolvimento, já que o próprio loraserver indica sua utilização. Quando comparado, a integração via banco de dados, traz a vantagem de realizar o processamento dos dados, assim como a modelagem do banco conforme necessário para a aplicação. A integração MQTT utiliza a formatação JSON, que é a abstração de objetos e *arrays* em forma de texto, sendo independente de linguagem de programação (INTRODUÇÃO AO JSON, [2019?]).

Por familiaridade, foi utilizado para desenvolver o processo integrador a linguagem de programação C#. Ao ser iniciado, a aplicação Integradora realiza duas conexões principais necessárias para o seu funcionamento, que são elas o servidor de aplicação LoRaWAN® através do protocolo MQTT e o banco de dados. Para realizar a conexão com o banco de dados, foi utilizado o *Entity Framework*. O *Entity Framework* é um *framework* de ORM (*Object Relational Mapper*), que permite realizar uma modelagem e mapeamento do banco de dados na forma de objetos (CADU, [2011?]). O *framework* utilizado para conexão com o MQTT escolhido foi o M2MqttDotnetCore. A sua escolha foi feita pelos critérios de ter as funcionalidades necessárias e ter o maior número de utilizadores assim como maior comunidade na Internet.

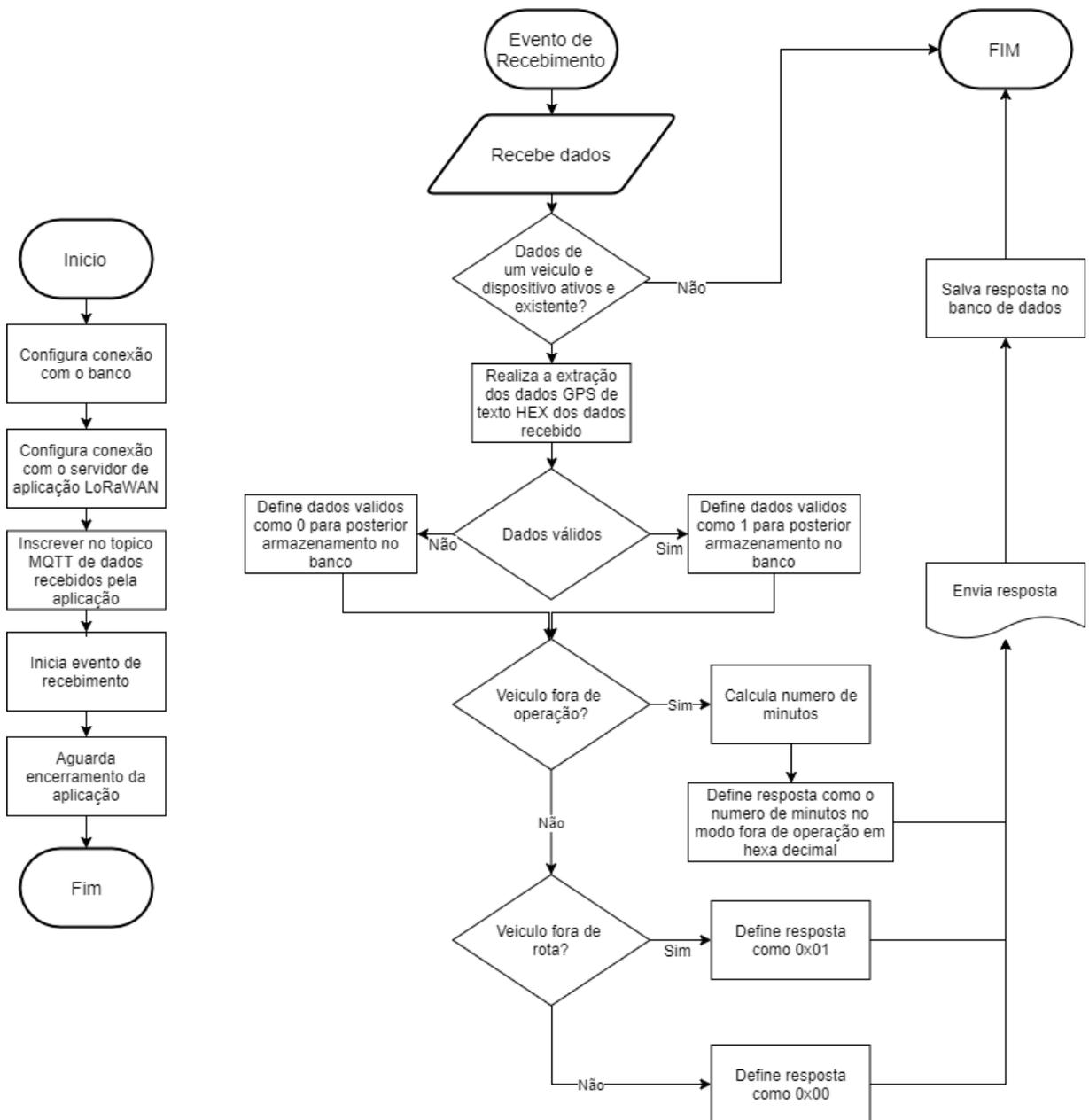
Após as devidas conexões terem sido realizadas com sucesso, o aplicativo se inscreve no tópico MQTT do servidor de aplicação. A partir de uma função que é engatilhada sempre que o tópico do MQTT tiver alguma publicação, a aplicação

integradora irá processar os dados recebidos. Os processamentos que são realizados pela aplicação são:

- Verificar se veículo está na rota;
- Verificar se os dados recebidos pelo GPS são dados válidos;
- Verificar se o dispositivo foi previamente cadastrado no sistema.

Toda lógica e funcionalidade do servidor de aplicação pode ser visualizado na Figura 14.

Figura 14 – Fluxograma do processo Integrador



Fonte: Elaborado pelo autor

Como pode ser observado na Figura 14, o processo será um aplicativo que fica rodando como um serviço. Ao iniciar, ele realiza a conexão com o banco de dados e com o servidor MQTT, no qual irá receber os dados via LoRaWAN[®]. Com a conexão bem-sucedida, uma *thread* vinculada ao evento de recebimento de publicações via MQTT será iniciada. Sempre que uma publicação via MQTT for recebida, será realizado o processamento apresentado no fluxograma na Figura 14 como evento de recebimento. A sua explicação detalhada será apresentada nos parágrafos que seguem.

Ao receber um dado, a primeira verificação que é realizada busca validar se o dispositivo do qual os dados foram recebidos está cadastrado no banco de dados, se o dispositivo está vinculado a um veículo e se o veículo está definido como ativo no banco de dados. Caso todas as exigências sejam atendidas, os dados serão processados, caso contrário os dados serão descartados e a operação vinculada àquela mensagem será encerrada.

O processamento inicial consiste em verificar se os dados recebidos são dados válidos. Essa validação dos dados é necessária para que os processos de apresentação mostrem somente dados consistentes para o usuário, ignorando os que tiveram algum tipo de erro na leitura. Também é necessária para que não seja ativado o modo de fora de rota, assim causando distúrbio em função do sinal sonoro. Conforme será visualizado nos testes aplicados, nem sempre os dados GPS e de velocidade são obtidos com precisão. A validação dos dados ocorre de duas formas distintas. Uma utiliza o histórico do veículo, para verificar se a distância percorrida está dentro de uma situação fisicamente possível enquanto a outra verifica se os dados de localização estão corretos com base na distância máxima que o dispositivo pode se ficar do *gateway*. Nos próximos parágrafos essas duas validações serão apresentadas com mais detalhes.

O primeiro teste a ser aplicado é o da distância máxima entre o dispositivo e o *gateway*. Caso seja identificado que a distância de localização recebida pelo dispositivo final seja maior que a estipulada, diretamente será definido como um dado inválido, pois não seria possível um dado ser recebido de uma distância tão grande. A distância em questão é de 3000 metros, valor estipulado a partir dos testes de distância realizados, onde foi verificado que em nenhum ponto poderia ter um alcance maior que esse. Caso os dados sejam validados por esse teste, terão que passar pelo outro teste para serem considerados válidos.

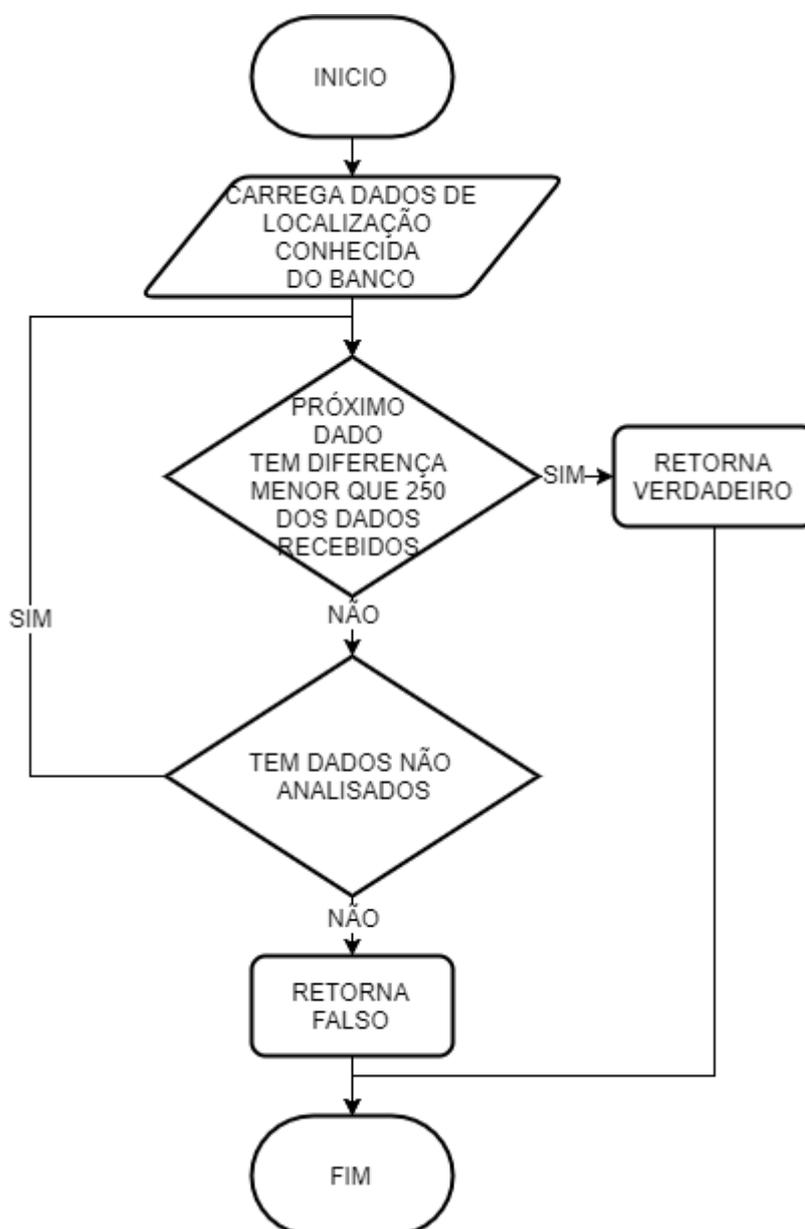
A validação através do histórico consiste em verificar, com base na distância e no intervalo de tempo dos dados recebidos, se o veículo teve a velocidade média de acordo com a uma situação possível, com base nos limites de velocidade e de condições da estrada. Com base na sinalização de trânsito por placas da rota, em nenhum ponto a velocidade máxima permitida é maior que 60 km/h. Considerando uma margem de segurança, foi utilizado 80 km/h para a realização desse processamento, contando que 80 km/h é uma velocidade atingível e nem sempre as leis de trânsito são respeitadas. Será carregado no banco de dados os últimos 5 dados salvos do veículo em questão, por ordem decrescente de recebimento. Caso pelo menos um dos cinco dados salvos for um dado válido, será feito o cálculo da velocidade média realizada pelo veículo com base na distância percorrida e no intervalo de tempo entre os dois. Se a velocidade média encontrada a partir do cálculo for maior que 80 km/h, será considerado que a localização é inválida. O motivo pelo qual são selecionados valores válidos somente com base nos últimos cinco dados, se dá pelo fato de que se entre os últimos cinco dados não houver nenhum dado cuja localização foi coletada como válida, será reiniciado o controle, pensando que podem haver situações que dados inválidos sejam considerados como válidos, assim causando erros em cascata.

Com a validação dos dados, será feita a definição da resposta para o dispositivo final. Como já definido e apresentado anteriormente, os valores de resposta vão de 0x00 a 0xFF, ou seja, a resposta sempre será de um *byte*. São três os tipos de respostas possíveis, onde cada um dos tipos será responsável por sinalizar o que o dispositivo final deve fazer. Para definir a resposta, o primeiro processamento a ser feito é verificar se o veículo deve entrar em modo fora de operação. Será consultado o banco para verificar a coluna “veiculoforaoperacao”, validando se o valor da mesma contém uma data maior do que a data atual com uma diferença maior que um minuto. Caso isso se confirme, a resposta será definida como o número de minutos entre a diferença da data no banco com o horário atual. Como somente pode ser enviado um byte, caso a diferença entre as datas em minutos seja maior que o limite que pode ser transmitido, o valor máximo de 0xFF minutos será enviado.

Caso o veículo não esteja fora de operação, será validado se ele está dentro da rota indicada. Três confirmações devem ocorrer para que a resposta seja definida como veículo fora de rota, garantindo que não há erros na validação desse modo para não haver incomodo ao motorista e passageiros em caso de um acionamento sonoro

equivocado. Primeiro será verificado se a coluna “foraderotaativado” no banco de dados para o veículo em questão está com o valor igual a 1. A segunda validação será verificar se os dados recebidos de localização foram definidos como dados válidos, caso contrário se entende que a leitura de localização foi equivocada e dessa forma não deve ser acionado o alarme sonoro. O terceiro teste será verificar de fato se a localização recebida está dentro da rota indicada. O funcionamento dessa validação em forma de fluxograma pode ser visto na Figura 15, tendo sua explicação mais detalhada nos próximos parágrafos.

Figura 15 – Verificação de veículo dentro da rota



Fonte: Elaborado pelo autor

Conforme o fluxograma apresentado na Figura 15, o primeiro passo para verificar se o veículo está dentro da rota é carregar dados de localização da rota. Como já apresentado, a tabela “dadosrotags” contém a localização de todos os pontos da rota do ônibus. Por definição, será considerado uma margem de distância de 250 metros, dessa forma somente em casos onde o veículo seja identificado com uma distância maior que a de 250 metros longe da rota definida, o alarme deverá ser acionado. Com as informações carregadas do banco de dados, é feito um *loop*, percorrendo cada um dos pontos de latitude e longitude da rota. Para cada ponto da rota será verificado se a distância entre o dado recebido comparado com o ponto analisado é menor que a distância de 250 metros. Caso um dos pontos atenda essa condição, será definido que o veículo está em rota. Somente será definido que o veículo não está em rota caso a distância de 250 metros seja maior para todos os pontos analisados.

Feita a verificação se o veículo está fora de rota, pode enfim ser definida a resposta. Caso se confirme que o veículo está fora de rota, a resposta será definida como 0x01, indicando que o dispositivo final deve acionar o alarme, caso contrário a resposta será 0x00, indicando que o dispositivo final deve manter sua operação normalmente e deve desligar o alarme caso o mesmo esteja ligado. Com as respostas definidas e enviadas via MQTT para o servidor de aplicação, o processo integrador irá salvar os dados recebidos no banco de dados e encerrar sua execução, esperando uma nova publicação no tópico.

3.6 APRESENTAÇÃO

Tanto o aplicativo como a página *web* tem seu funcionamento de forma similar, ambos têm um mapa que ocupa toda a área disponível da tela. Poderá ser aplicado no mapa as funcionalidades de *zoom* e movimentações, porém sempre será inicializado como ponto central do mapa o centro administrativo da Unisinos, com o *zoom* aplicado de forma que seja possível visualizar toda a rota realizada pelo circular. Sempre que iniciadas, ambas apresentações carregam as informações de todos os veículos ativos do banco de dados, tendo cada veículo representado por um pino no mapa. Após carregados, cada pino terá sua localização atualizada no mapa periodicamente. Há três tipos diferentes de cores para cada pino presente no mapa, onde cada uma representa um *status* diferente.

- Vermelho: representa que o veículo não teve seus dados de localização enviados recentemente, ou seja, se o último dado recebido do veículo válido for a mais de 15 segundos;
- Azul: representa que a última localização do veículo é recente, recebidas a menos que 15 segundos;
- Amarelo: representa o veículo quando fora de operação. Nesse caso o pino de representação do veículo será apresentado no mapa utilizando as coordenadas salvas nas colunas “latitudeforaoperacao” e “longitudoforaoperacao”.

Na apresentação para o usuário ainda há uma funcionalidade extra na página *web*. Nela poderá ser definido que o veículo está fora de operação. Isso pode ser feito através de um formulário onde é disponibilizado para o usuário a seleção dos veículos previamente carregados no início e um campo de seleção de data o qual indicará até que momento o veículo deverá ficar fora de operação. Na Figura 16 é possível visualizar o formulário descrito no presente parágrafo.

Figura 16 – Formulário para ativação do modo fora de operação



O formulário contém os seguintes elementos:

- Um campo de seleção rotulado "Veiculo" com o texto "Selecione..." e uma seta para baixo no canto inferior direito.
- Um campo de entrada rotulado "Fora de Operação".
- Um botão "Salvar" localizado abaixo do campo de entrada.

Fonte: Elaborado pelo autor

O desenvolvimento do servidor do processo de apresentação foi feito utilizando linguagem de programação PHP (*Hypertext Processos*), rodando em um servidor apache. A comunicação entre o *back-end* e o *front-end* do processo de apresentação da página *web* e do aplicativo Android® acontece utilizando o protocolo HTTP. O servidor conta com 4 funções que servem como interface de troca de dados para o aplicativo Android® e a página *web*. São elas:

- Página Inicial – Utilizada somente pela página *web*, consistem em carregar a página inicial em formato HTML, que contém o mapa e suas funções;
- Carrega veículos ativos – Tem como função carregar todos os veículos que estão ativos. Retorna os dados em formato JSON;
- Carrega dados do veículo – Com base em um parâmetro de identificação única do veículo, serão carregados os últimos dados de localização e velocidade válidos recebidos pelo veículo. Os dados são retornados em formato JSON;
- Definir veículo fora de rota – Utilizado somente pela página *web*, com base em dois parâmetros enviados, irá fazer alteração do veículo no banco de dados, sinalizando que ele deverá estar fora de operação até uma data determinada.

A página *web* como já descrito, foi desenvolvido utilizando HTML e javascript. Como dependência a página *web* utiliza o *framework bootstrap*, com a finalidade de deixar a página com um design responsivo e com uma aparência mais agradável para o usuário. Para a inclusão de um mapa, foi utilizado a biblioteca javascript Leaflet para interação com mapas em conjunto com os mapas de OpenStreetMap, ambas são *open-source* e gratuitas.

O aplicativo Android® foi desenvolvido utilizando o *framework Xamarin*, no IDE do Visual Studio. O *framework Xamarin* foi escolhido pois permite ao seus utilizadores o desenvolvimento de aplicativos para Android, IOS e Windows Phone, fazendo assim com que possíveis evoluções, criando aplicativos para outras plataformas, sejam feitas com maior facilidade. Outro critério para escolha foi a familiaridade com a linguagem utilizada pelo Xamarin, que é a linguagem de programação C#.

Com a apresentação de todo desenvolvimento do sistema, mostrando seus componentes de forma individual, foram desenvolvidos e aplicados diversos teste a fim de validar seu funcionamento. Além de validar o funcionamento, os testes também validaram os requisitos apresentados nesse capítulo. Nos próximos tópicos serão apresentados os testes que foram feitos, mostrando como foram aplicados e a forma como validaram o funcionamento e os requisitos na qual eles têm vínculos.

3.7 TESTES DO SISTEMA

Nesse tópico serão apresentados todos os testes que foram empregados. Os primeiros testes foram feitos de forma individual, validando um ou mais requisitos, sem estarem relacionados com outros testes. Por último foi feito um teste geral de funcionamento, onde se verificou o funcionamento de ponta a ponta do sistema. Os testes serão apresentados individualmente, na forma de subtópicos.

3.7.1 Teste do GPS

O teste da aquisição de dados GPS tem como objetivo verificar se o módulo GPS é capaz de capturar os dados corretamente em toda a rota do circular. O teste do módulo GPS foi feito a partir da comparação dos dados adquiridos de latitude e longitude pelo módulo utilizado no protótipo, com os dados adquiridos por um *smartphone*. Inicialmente foi desenvolvido um aplicativo para *smartphone* Android® que coleta os dados GPS de localização e velocidade a cada 1s. Com o aplicativo desenvolvido foi percorrido a rota que o ônibus circular realiza, a fim de coletar os dados obtidos pelo GPS do *smartphone*. Foi desenvolvido igualmente um *firmware* para o microcontrolador STM32F113, que captura os dados GPS seguindo os mesmos critérios do *smartphone*. Com o *software* desenvolvido, novamente foi realizada a rota do circular para que os dados fossem capturados pelo módulo a ser utilizado no dispositivo final. Com os dados adquiridos foi possível analisar visualmente os dados obtido pelo módulo e pelo *smartphone*.

3.7.2 Teste de energia

O teste de energia foi realizado analisando duas situações. Primeiro se o dispositivo final seria capaz de entrar em modo fora de operação por um tempo determinado e, após voltar para sua operação normal. Segundo realizando uma análise do valor da corrente elétrica consumida pelo dispositivo final, quando em modo fora de operação, afim de avaliar se o dispositivo final poderia causar algum prejuízo para a bateria do veículo, quando estiver desligado.

Para aplicar o teste foi definido na página *web* desenvolvida, um tempo de operação no modo fora de operação de 10 minutos. O dispositivo foi monitorado para

identificar o momento exato que o dispositivo recebeu a instrução, para, assim, cronometrar e verificar se o tempo em modo fora de operação acompanha o previsto. Também verificar se quando o dispositivo sair do modo de fora de operação, o dispositivo final continuou a transmitir os dados de localização.

3.7.3 Teste de dispositivos simultâneos

O teste de dispositivos simultâneo foi utilizado para verificar se o sistema como um todo funciona com diversos veículos sendo monitorados simultaneamente. Como somente foi desenvolvido um protótipo, esse teste ocorreu a partir de simulação de dispositivos finais. Um programa desenvolvido em *nodejs*, simula o envio de dados de um número determinável de veículos. Os dados de GPS enviados pelo simulador de dispositivo final são obtidos da mesma tabela do banco de dados utilizada para verificar se os dispositivos estão em rota. Para realizar o teste, foram simulados 5 dispositivos. Cada dispositivos enviará os mesmos dados da rota, porém iniciando em pontos diferentes, de forma a simular uma situação real de operação.

3.7.4 Teste de intervalo de envio

O teste de intervalo de envio tem como objetivo validar o funcionamento do dispositivo por longos períodos sem interrupção, garantindo também que em nenhum momento o intervalo de envio dos dados seja maior que 15 segundos estipulados pelo requisito. Para realizar esse teste foi iniciado o dispositivo final, deixando-o funcionando por uma hora ininterrupta. Com as informações salvas no banco de dados, foi feita as validações entre o maior e o menor intervalo entre envios.

3.7.5 Teste de validação dos dados

O teste de validação de dados serviu para verificar o funcionamento que o processo Integrador faz para confirmar se os dados recebidos pelo dispositivo final são válidos. Esse teste foi feito utilizando o mesmo simulador utilizado no teste de dispositivos simultâneos. Foram simulados dados de um dispositivo final com velocidades médias maiores que 80 km/h e com distâncias maiores que 3 km do *gateway*. Os dados foram salvos no banco como se estivessem em operação normal

para então serem avaliados, verificando se a validação dos dados feita pelo processo Integrador está correta.

3.7.6 Teste de cobertura da rota

O teste de alcance tem como objetivo validar a cobertura de sinal da rede LoRaWAN® na rota que o circular realiza. Foi percorrido toda a rota do circular utilizando o dispositivo final, a fim de setorizar no mapa áreas da rota que se obteve total recebimento dos dados, algum recebimento de dados e nenhum recebimento de dados, tanto para *uplink* como para *downlink*. Também foi feita a avaliação do recebimento de dados pelo dispositivo, essa que será feita com menos precisão já que não há um registro de *logs* dos dados recebidos pelo dispositivo final, somente um LED (*Light Emitting Diode*) que piscava sinalizando que dados foram recebidos.

3.7.7 Teste de fora de rota

O teste de fora de rota tem como objetivo validar o funcionamento do processamento que busca verificar quando o veículo está fora de rota. Ele foi feito através do dispositivo final, que se distanciando da rota do ônibus circular em pouco mais de 250 metros para validar se o mecanismo de sinalização implementado foi acionado com sucesso, assim como ao voltar para a rota, o dispositivo final tivesse o mecanismo desativado, assim voltando para sua operação normal.

3.7.8 Teste de funcionamento

O teste de funcionamento é o teste final de produção e verificação do funcionamento do sistema de forma geral de ponta a ponta. O dispositivo foi colocado no interior de um veículo, que percorreu a rota do circular da Unisinos, monitorando o seu funcionamento a partir dos processos de apresentação. Esse teste foi feito com finalidade em agrupar a maioria dos testes realizados de forma individual, validando o funcionamento do sistema como um todo.

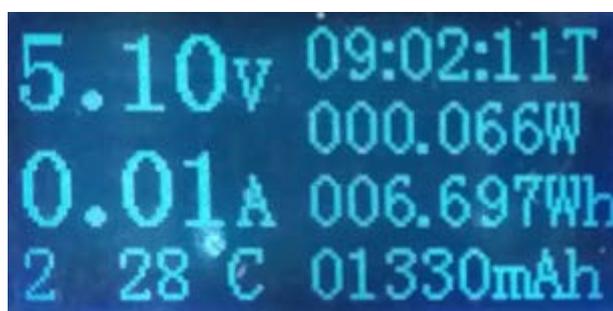
representam os dados obtidos pelo módulo GPS. A aquisição dos dados se mostrou bastante parecida, os dados GPS adquiridos pelo *smartphone* foram muito concretos e regulares, não apresentando desvios e distorções, mantendo-se sempre na rota especificada. O módulo GPS também apresentou um bom resultado, tendo seus dados muito parecidos com os do *smartphone*. A única distorção apresentada na comparação foi uma pequena repetição do local de pontos, onde o módulo GPS que, por perda de sinal, acabou repetindo alguns pontos no mesmo local. Esse evento pode ser visto na parte mais superior da imagem, no lado direito.

4.2 RESULTADO DO TESTE DE ENERGIA

O resultado do teste mostrou que o dispositivo foi capaz de entrar e sair do modo fora de operação, se mantendo no modo um tempo muito aproximado do programado, com variação de apenas alguns segundos. Após sair do modo fora de operação, também apresentou voltar para suas funcionalidades normalmente, transmitindo os dados de localização e velocidade periodicamente.

A análise de consumo de energia também se mostrou dentro do esperado. Foi inserido na alimentação do dispositivo um medidor de corrente elétrica a fim de monitorar a quantidade de corrente que era consumida no momento em que o dispositivo final estava no modo fora de operação. Na Figura 18 é possível visualizar os valores de medição no momento em que o dispositivo final estava em modo fora de operação.

Figura 18 – Consumo de energia do dispositivo fora de operação

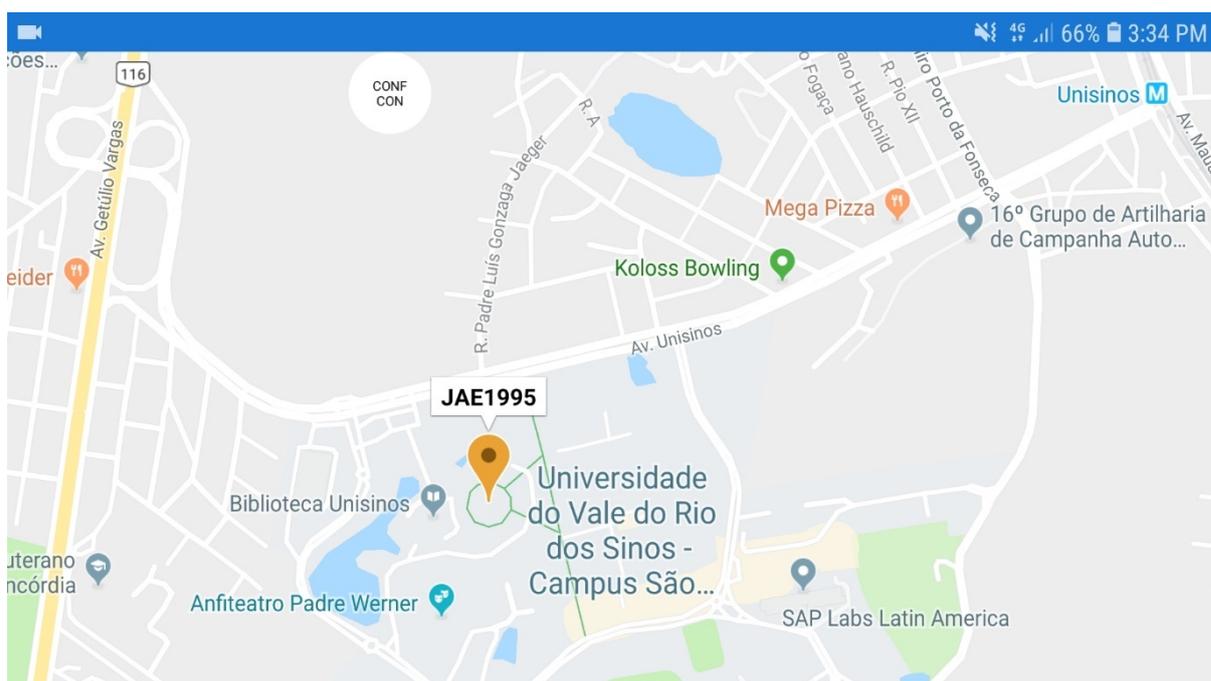


Fonte: Elaborado pelo autor

Conforme a Figura 18, o dispositivo final tem um consumo de 0,01 A, dessa forma o dispositivo funcionaria por mais de 2000 horas até descarregar completamente a bateria do veículo, que é equivalente a mais de 83 dias. No entanto

esse valor não está exato, considerando que existe um conversor de 24 V para 5 V, que, se levado em consideração, aumentaria mais o tempo de duração. Porém como não havia equipamento para a medição do consumo da tomada veicular, se utilizou o consumo na alimentação 5 V do dispositivo. Ainda é possível observar na Figura 19 como o veículo é apresentado no mapa quando em modo fora de operação, tendo a cor de seu pino diferente para identificar ao usuário o *status* atual do veículo.

Figura 19 – Aplicativo Android® demonstrando veículo fora de operação

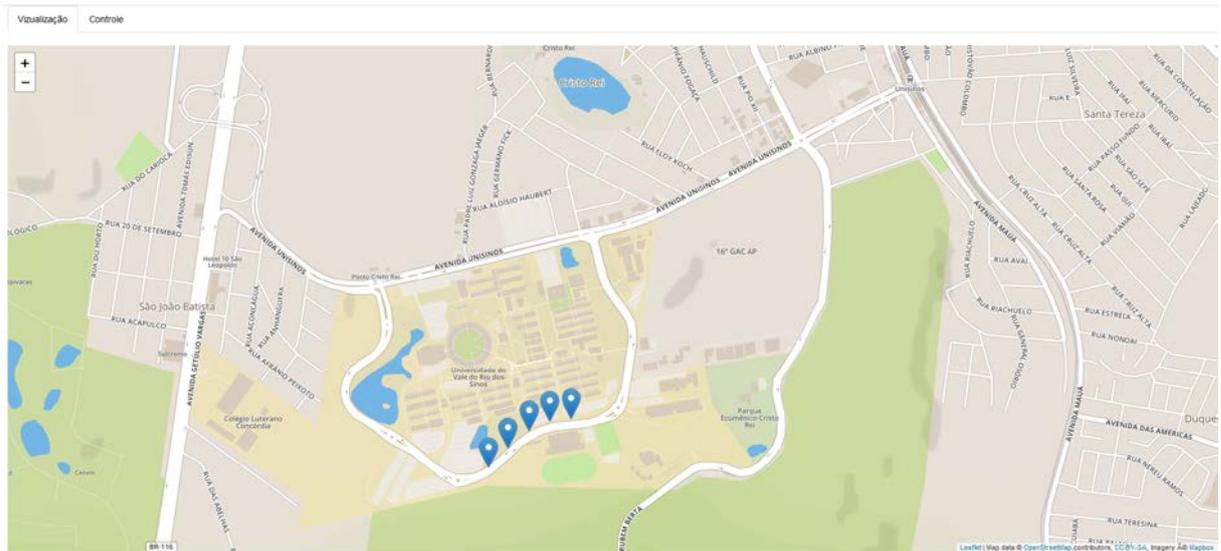


Fonte: Elaborado pelo autor

4.3 RESULTADO DO TESTE DE DISPOSITIVOS SIMULTÂNEOS

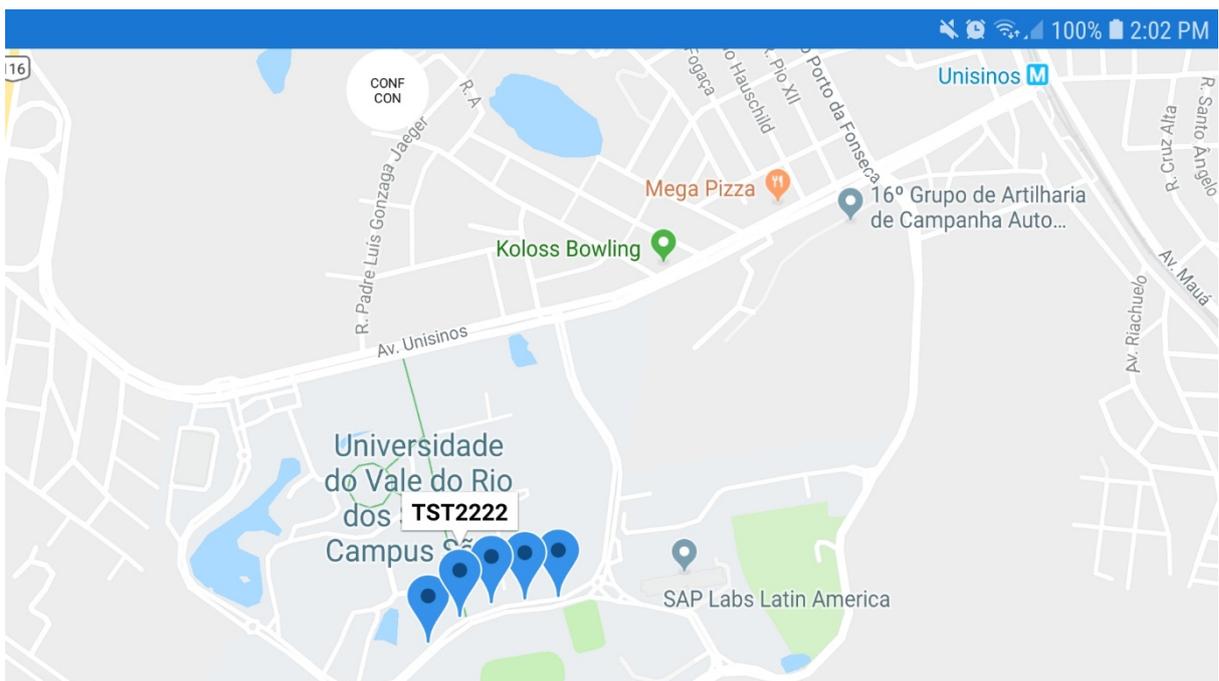
Com o teste de dispositivos simultâneos, feitos a partir de simulações, foi possível analisar que o sistema é capaz de funcionar com mais de um dispositivo enviando dados ao mesmo tempo. Para o teste com 5 dispositivos enviando dados diferentes da rota que o ônibus circular realiza, todos foram apresentados nos processos de aplicação página *web* e aplicativo Android®, não causando lentidão ou problemas na exibição. O integrador também foi capaz de processar todos os dados. Nas Figura 20 e Figura 21 é possível visualizar a página *web* e o aplicativo Android® apresentando cinco veículos simulados no mapa.

Figura 20 – Teste dispositivos simultâneos na página web



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 21 - Teste dispositivos simultâneos na aplicativo Android



Fonte: Elaborado pelo autor

O teste apesar de válido, não é completo. Idealmente deveria se avaliar o sistema de ponta a ponta nesse teste, já que diversas situações poderiam acontecer na comunicação entre o dispositivo final e o *gateway* LoRaWAN®. Porém, como há somente um protótipo, o teste completo não pôde ser realizado nesse trabalho.

4.4 RESULTADO DO TESTE DE INTERVALO DE ENVIO

O resultado de teste de intervalo de envio, assim como funcionamento ininterrupto, teve o resultado esperado. Durante uma hora de envio consecutivo, o dispositivo se manteve enviando dados sem interrupção para o *gateway* durante todo o tempo, sem que entre nenhum intervalo de envio o tempo fosse maior que os 15 segundos estipulados pelos requisitos. Conforme pode ser visto na Figura 22, os dados, como o funcionamento previsto define, foram salvos no banco, assim podendo ser observado os maiores e menores intervalos entre os seguidos envios. Foi feito um *script* SQL (*Structured Query Language*) que comparava os dois valores consecutivos de envio, verificando a diferença entre os tempos em segundos dos dados. Como pode ser visto, a diferença entre o intervalo de envio ficou entre os valores de 9, 10 e 11 segundos.

Figura 22 – Intervalo de máximos e mínimos entre envios

```

1 SELECT dr.informacaooid, UNIX_TIMESTAMP(dr.timespamrecebimento) - UNIX_TIMESTAMP(dr2.timespamrecebimento) as segundos,
2 dr.timespamrecebimento, dr2.timespamrecebimento FROM dadosrecebidos dr, dadosrecebidos dr2
3 where dr.informacaooid = dr2.informacaooid + 1 and dr.informacaooid >= 198 and dr.informacaooid <= 580
4 order by segundos desc

```

informacaooid	segundos	timespamrecebimento	timespamrecebimento
228	11	2019-05-09 16:31:25	2019-05-09 16:31:14
207	11	2019-05-09 16:27:55	2019-05-09 16:27:44

informacaooid	segundos	timespamrecebimento	timespamrecebimento
324	9	2019-05-09 16:47:24	2019-05-09 16:47:15
388	9	2019-05-09 16:58:04	2019-05-09 16:57:55

Fonte: Elaborado pelo autor

4.5 RESULTADO DO TESTE DE VALIDAÇÃO DOS DADOS

A partir do teste de validação dos dados, o processamento realizado para validá-los se mostrou eficaz. No primeiro teste, que foi feito simulando dois pontos distantes enviados imediatamente um após o outro, simulando um trajeto percorrido com uma velocidade maior que 80 km/h, o dado foi definido como não válido pelos mecanismos. As coordenadas utilizadas nesse teste, assim como os pontos que as mesmas representam no mapa, podem ser vistas na Figura 23. Também é possível ver na mesma Figura 23 os dados sendo recebidos no integrador, apresentando a não validação dos mesmos.

Figura 23 – Teste da validação dos dados um



Fonte: Elaborado pelo autor

No segundo teste, foram feitas duas análises. A primeira análise verificou um valor muito próximo do limite, a fim de verificar o correto funcionamento do processamento que calcula a distância pelas coordenadas. O teste teve o resultado esperado, definindo o dado recebido como válido, como pode ser visto na Figura 24, na primeira linha do Integrador. A segunda análise verificou o processamento de um ponto com distância maior que o limite definido. Foi utilizado um ponto do mapa com distância de 3005 metros distante do *gateway*, dessa forma extrapolando o limite permitido de 3000 metros. O dado foi definido como inválido pelo Integrador, conforme pode ser visto na última linha da Figura 24. Assim pode-se concluir que o mecanismo de validação foi aprovado por completo pelos testes aplicados.

Figura 24 – Teste da validação dos dados dois



Fonte: Elaborado pelo autor

4.6 RESULTADO DO TESTE DE COBERTURA DA ROTA

Para apresentar o resultado do teste de alcance, foi feito um mapa que, a partir de áreas demarcadas com diferentes cores, classifica o desempenho da comunicação através da rede LoRaWAN®. Foram definidas 3 classificações onde: as áreas verdes representam os locais onde o sinal é recebido pela sua totalidade, com um número de perda de dados desprezível ou inexistente; as áreas amarelas representam os locais que haviam perdas de dados consideráveis; e as áreas em vermelho, que são locais da rota do circular da Unisinos, na qual houve perda total da comunicação. Na Figura 25 é possível visualizar o mapa com suas respectivas áreas testadas e demarcadas.

Figura 25 – Área de alcance rede LoRaWAN® com base na rota



Fonte: Elaborado pelo autor

Como é possível ver, a rede LoRaWAN® conseguiu realizar a cobertura de todo o campus da universidade. Em contrapartida se mostrou limitada em outros locais da rota do ônibus circular, com alguns pontos havendo uma perda considerável de sinal e outros pontos que nem mesmo um dado foi recebido com sucesso pela rede. Quando analisado o *downlink*, o resultado foi pior. A partir de uma análise visual, no LED que pisca toda vez que o dispositivo final recebe um dado de resposta, foi

constatado que houve uma grande quantidade de envios com sucesso, que não receberam nenhuma resposta.

Dessa forma foi avaliado que a rede LoRaWAN® não alcançou as distâncias esperadas indicadas na revisão bibliográfica, sendo assim foram verificados alguns aspectos que justifiquem esse acontecimento. Analisando o relevo ao redor da universidade, é possível observar que a Unisinos está localizada em uma baixada, cercada por morros, apesar da foto não deixar isso claro. Nos extremos da área verde, olhando em uma linha horizontal, há os picos dos morros que cercam a Unisinos. É claramente perceptível que conforme se passava os picos dos morros e entrava em novas baixadas, o sinal decaía consideravelmente. Outro aspecto que pode ter interferido no baixo alcance da rede foi a antena de telefonia móvel próxima ao local onde o *gateway* está localizado.

4.7 RESULTADO DO TESTE DE FORA DE ROTA

Os resultados do teste de fora de rota foram adequados aos esperados, onde seu funcionamento idealizado foi pleno, porém, como já previsto, dependia da área de cobertura da rede LoRaWAN®. Ao sair da rota em um local onde a havia cobertura do sinal da rede, foi possível ver o *buzzer* sendo acionado e gerando o barulho esperado, assim como quando retornado para próximo da rota, o *buzzer* foi desligado. Consequente da não cobertura de toda a rota por parte da rede LoRaWAN®, houve poucos lugares que pode ser testado e comprovado seu funcionamento para esse modo de operação. Na Figura 26 pode ser observado o integrador processando corretamente três dados recebidos pelo dispositivo, assim como os pontos do mapa referente a esses locais, onde o primeiro e último representam dados dentro da rota segundo critérios já definidos e o segundo representa um dado fora de rota.

Figura 26 – Dados do teste de fora de rota



Fonte: Elaborado pelo autor

4.8 RESULTADO DO TESTE DE FUNCIONAMENTO

Os resultados apresentados pelo teste geral de funcionamento se mostraram compatíveis com o resultado esperados, assim como a integração de todos os processos funcionando juntos. O dispositivo final conseguiu enviar a cada exatos dez segundos a sua localização, de forma que fosse visível no mapa em um smartphone Android® conectado na Internet. Na Figura 27 é possível ver o dispositivo final em pleno funcionamento no interior de um veículo, sendo filmado pelo mesmo celular que o monitorava através do aplicativo.

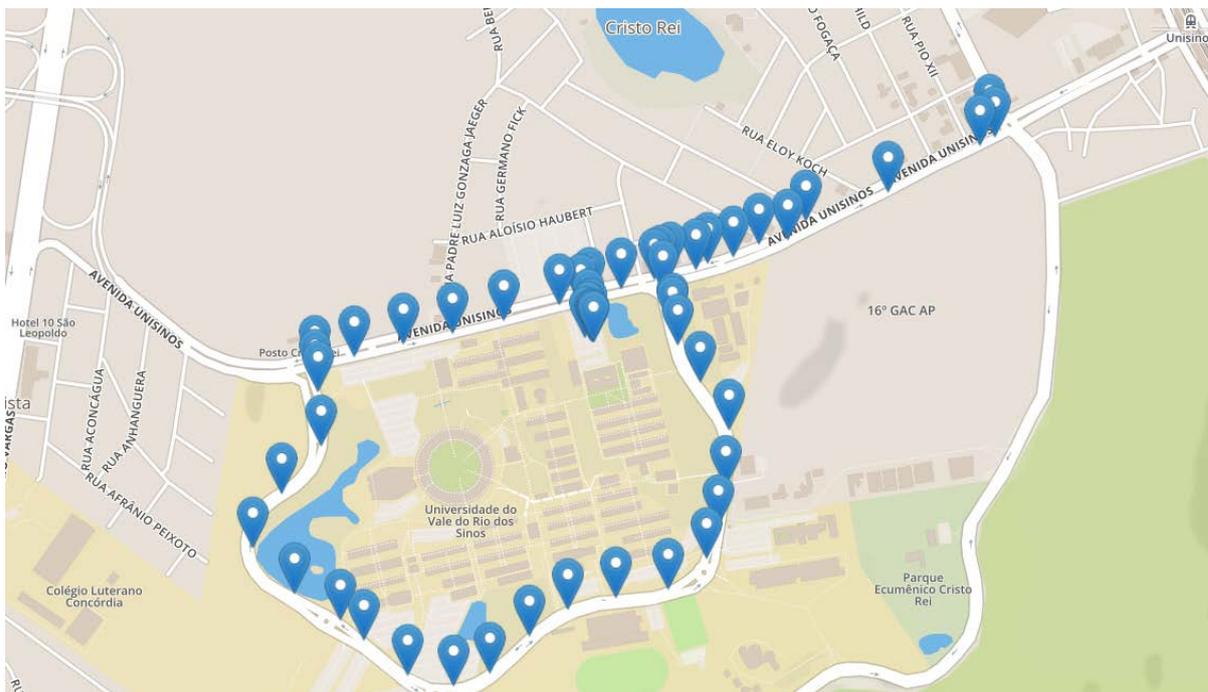
Figura 27 – Funcionamento do sistema



Fonte: Elaborado pelo autor

Na Figura 28 é possível ver todos os pontos recebidos corretamente pelo dispositivo final, mostrando o local exato do veículo quando os dados foram recebidos. Essa mesma Figura pode ser comparada com os dados apresentados no teste de cobertura da rota na Figura 25, confirmando as áreas onde os dados são recebidos na sua totalidade, onde apenas alguns dados são recebidos e onde nenhum dado é recebido.

Figura 28 – Localização dos envios no teste de operação final



Fonte: Elaborado pelo autor

Como resumo de todos os testes aplicados, o único que apresentou limitações para o correto funcionamento do sistema foi o alcance da rede, situação decorrente do relevo no qual a rota do circular se encontra. No próximo capítulo será apresentada a conclusão do trabalho. Serão retomados os objetivos do sistema proposto de forma resumida, realizando uma análise com base nos resultados obtidos. Nessa análise será feita a verificação se o sistema atendeu a necessidade e a proposta, os problemas, limitações e possíveis alterações e melhorias. Também serão analisados possíveis trabalhos futuros que poderão utilizar como base o presente trabalho.

5 CONCLUSÃO

Nesse trabalho foi desenvolvido um sistema cujo objetivo principal era melhorar a experiência do usuário do ônibus circular da Unisinos que, de forma prática, pudesse acompanhar em tempo real a localização do veículo. Como objetivo secundário estaria o aumento da segurança do veículo, que em caso de possíveis roubos o veículo poderia ser rastreado para uma rápida recuperação do mesmo. Além disso, ainda com relação à segurança, tornaria possível ser verificado se os motoristas estão seguindo as normas de trânsito. Dentre os principais diferenciais do trabalho, estava a utilização de uma tecnologia que não gerasse custo periódico, diferente dos vários sistemas de rastreamento já existentes que utilizam planos de telefonia móvel.

Olhando de forma isolada para o sistema desenvolvido, é possível definir que teve o desempenho esperado, passando em todos os testes aplicados com exceção de um, que está diretamente relacionado a tecnologia escolhida para o envio de sinal. A tecnologia LoRa[®], conforme visto no referencial teórico, é capaz de conseguir comunicação em distâncias de até 5 km em áreas urbanas em situações ideais. No local de utilização da rede para o presente trabalho houve uma considerável diminuição comparado ao valor máximo que, conforme os testes de cobertura mostraram, ocorreu principalmente em função do relevo em que o campus da Unisinos e, conseqüentemente, a rota do circular estão localizados. Ainda há como especulação outros fatores, como por exemplo a antena de telefonia móvel muito próximas ao local. O completo e ideal funcionamento do sistema desenvolvido ocorrerá certamente com a simples extensão da rede LoRaWAN[®], com a adição de mais um *gateway* próximo da estação da Trensurb.

Em outro aspecto foi identificado, após os testes, que poderia haver uma melhoria: a frequência de envio dos dados de localização. Apesar de ter tido uma boa noção de localização com o intervalo de envio em 10 segundos, diminuindo o tempo entre envios poderia se obter uma melhor sensação de tempo real por parte do usuário. Porém não foi possível realizar essa melhoria em função das especificações LoRaWAN[®], que em sua estrutura de envio e resposta não permitem o envio de dados com intervalos muito menores, sem considerar que poderia congestionar a rede LoRaWAN[®], fazendo com que em caso de mais dispositivos operando simultaneamente, o sistema não funcionasse. A fim de melhorar ainda mais a apresentação para o usuário, poderia ser desenvolvido um mecanismo que fizesse

com base no histórico, análises estatísticas ou Inteligência Artificial, prever a localização do veículo entre os intervalos de 10 segundos, assim como a previsão de chegada para a parada em que o usuário se encontra.

Para finalizar, ainda há algumas melhorias e complementos que poderiam ser aplicados no presente trabalho, fora as já descritas. Uma delas seria a implementação de um sistema de corta-corrente no veículo que pudesse ser acionado remotamente. Poderia ser substituído a sinalização sonora presente hoje no dispositivo final por um corta-corrente, de forma que em vez de sinalizar o desvio da rota, o veículo se desligasse, de forma automática, podendo impedir um furto ou roubo. Ainda seria possível a aquisição e transferência de mais informações a partir da mesma rede, como por exemplo um contador de passageiros, que informaria aos usuários a quantidade de passageiros dentro do veículo, fazendo com que o usuário possa evitar viagens com uma lotação muito grande.

Por último é válido fazer uma análise sobre a biblioteca utilizada para enviar dados via LoRaWAN®. A biblioteca LMIC se mostrou bastante limitada quando operando em classe A. Muitos dados de *downlink* não foram recebidos utilizando a biblioteca LMIC. Para que fosse possível receber todos os dados enviados pelo *gateway*, teve que ser modificada a biblioteca LMIC, de forma que a mesma começasse a operar em estilo classe C, porém já não mais seguindo todas as especificações de uma rede LoRaWAN®.

REFERÊNCIAS

- BAHARUDIN, A. M. bin; YAN, W.. Long-Range Wireless Sensor Networks for Geolocation Tracking: Design and **Evaluation**. **International Electronics Symposium (IES)**. Yokohama, Japan. 2016.
- BARDYN, J.P. *et al*, IoT : The Era of LPWAN is starting now. **ESSCIRC Conference**. Suíça. n 42, 2016. DOI: 10.1109/ESSCIRC.2016.7598235 Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7598235>. Acesso em: 22 ago. 2018
- BOUTEN, W. *et al*. . A flexible GPS tracking system for studying bird behaviour at multiple scales. **Electronic supplementary material**. [S.I.], 2012. DOI: 10.1007/s10336-012-0908-1. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10336-012-0908-1>. Acesso em: 8 set. 2018
- CADU. ORM: Object Relational Mapper. Retrieved. *In*: DEVMEDIA [S.I.], [2011?]. Disponível em: <https://www.devmedia.com.br/orm-object-relational-mapper/19056>. Acesso em: 30 abr. 2019
- CENTENARO, M. *et al*. Long-range communications in unlicensed bands: the rising stars in the iot and smart city scenarios. **IEEE Wireless Communications**. Itália, 2015. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1510.00620>. Acesso em: 22 ago. 2018
- CHENGDU EBYTE ELETRONIC TECHNOLOGY CO.,LTDA. **E19-915M30S User Manual**. 1.20 ed. China, 2018. Disponível em: <http://www.ebyte.com/en/downpdf.aspx?id=223>. Acesso em: 30 out. 2018
- DIAS, A Funcionamento e Detalhes do Sistema Elétrico Automotivo. *In*: Carros Infoco. [S.I.], 2015. Disponível em: <http://www.carrosinfoco.com.br/carros/2015/08/funcionamento-e-detalhes-do-sistema-eletrico-automotivo/>. Acesso em: 25 out. 2018
- DIVISÃO DE PROCESSAMENTO DE IMAGENS (DIP). Coordenação Geral de Observação da Terra. *In*: DPI. São Paulo. [2019?]. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/DPI/>. Acesso em: 13 mai. 2019
- EMPRESA DE TRENS URBANOS DE PORTO ALEGRE S.A. (TRENSURB) Horários TRENSURB *In*: *TRENSURB*, Porto Alegre, [2019?]. Disponível em: http://www.trensurb.gov.br/paginas/paginas_detalhe.php?codigo_sitemap=18&l=es-ES. Acesso em: 20 out. 2018
- FARGAS, B. C., PETERSEN, M. N. GPS-free Geolocation using LoRa in Low-Power WANs. **Global Internet of Things Summit**. Dinamarca, 2017. DOI: 10.1109/GIOTS.2017.8016251. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8016251>. Acesso em: 6 set. 2018
- FASCIONI, L. **GPS para curiosos**. [S.I.], Ligia Fascioni. *E-book*. 2013. Disponível em: http://www.ligiafascioni.com.br/wp-content/uploads/2013/04/GPS_Book.pdf. Acesso em: 06 set. 2018

GAKSTATTER E. What Exactly Is GPS NMEA. *In: GPS World*. 2015 Disponível em: <http://gpsworld.com/what-exactly-is-gps-nmea-data/>. Acesso em: 15 jan. 2019

GALVÃO, N. M., *et al.* Critérios Relevantes Na Escolha Da Instituição De Ensino. **Revista de Gestão e Contabilidade da UFPI**.Piauí, v. 4 n. 1, 2017.

GARCIA, P. S R., KLEINSHCMIDT, J. H.. Tecnologias emergentes de conectividade na IoT: estudo de redes LPWAN. **Simpósio Brasileiro De Telecomunicações E Processamento De Sinais**. São Paulo, 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/319762405_Tecnologias_Emergentes_de_Conectividade_na_IoT_Estudo_de_Redes_LPWAN. Acesso em: 21 ago. 2018

GHOSLYA, S. All about LoRa and LoRaWAN. *In: sghoslya*, 2013. Disponível em: <https://www.sghoslya.com/>. Acesso em: 15 ago. 2018

HART, M. A compact Arduino GPS/NMEA parser. *In: Arduiniana*, 2013. Disponível em: <http://arduiniana.org/libraries/tinygps/>. Acesso em: 26 set. 2018

IBM CORPORATION. **IBM LoRaWAN in C (LMiC)**. Suíça, 2015. Disponível em: <https://github.com/matthijskooijman/arduino-lmic-v1.5/raw/master/doc/LMiC-v1.5.pdf>. Acesso em: 26 set. 2018

INSTITUTO CEUB DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO (ICPD). **Curso de GPS e cartografia básica**. Brasília. [2019?]. Disponível em: https://1f33f6c6-a-62cb3a1a-s-sites.googlegroups.com/site/andersonmedeiros01/clickgeo/Apostila_de_Curso_de_GPS_e_Cartografia_Basica.pdf?attachauth=ANoY7cq8OOIHv15-qyuZeCFRaxczMjhA6Z9Ea9ZoRcy4gPmJI3BdvCoYDIALOOoUtGYZWNNsrm9gsuxCp cXc-Pnjev6RK4fXFHKxwdu6gas-GEV8sWysCu66426A-Hkb-mvOHYkyltkj-rz3AXEVdLUBKEM4czt1Eo-T1vJqy1O7yLX1bXtevRN9y8lvBI1faQjJU49x58Zut6bhMfZIP9kgHH4fYhNS-QMFGyS5MwUZ8zImUXbBHzw3iLxGRoxAnuMchRv87KSU0Im5dSR0Xw0J_HB5a64gKxWQ%3D%3D&attredirects=0. Acesso em: 4 jul. 2018

INTRODUÇÃO ao JSON. *In: JSON org*. [2019?]. Disponível em: <https://www.json.org/json-pt.html>. Acesso em: 24 set. 2018

KAPLAN, E. D., HEGARTY, C. J.. **Understanding GPS**. 2 ed. Massachusetts: Artech House, 2006.

LAVRIC, A., POPA, V. (2017). LoRa wide-area networks from an internet of things perspective. **International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI)**, Romênia, 2017. DOI: 10.1109/ECAI.2017.8166397 Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8166397>. Acesso em: 29 ago. 2018

LAVRIC, A., POPA, V.. Internet of things and LoRa low-power wide-area networks: a survey. **International Symposium on Signals, Circuits and Systems (ISSCS)**. Romênia, 2017. DOI: 10.1109/ISSCS.2017.8034915. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8034915>. Acesso em: 24 ago. 2018

LI, D., CHENG, C., ZHANG, B.. Vehicle Remote Monitoring System Based on Android. **International Conference on Software Engineering and Service Science (ICSESS)**. China, 2016. DOI: 10.1109/ICSESS.2016.7883169. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7883169>. Acesso em: 10 set. 2018

LIEN, C.H., CHEN, P.T., BAI, Y.W. Software/hardware co-design of a vehicle trajectory monitoring system. **International Symposium on Consumer Electronics**. Portugal, 2008. DOI: 10.1109/ISCE.2008.4559498. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4559498>. Acesso em: 10 set. 2018

LOPES, C.. 10 cidades concentram 80% dos roubos de veículos no RS *In: GAÚCHAZH*, Porto Alegre, 2018. Disponível em: <https://gauchazh.clicrbs.com.br/seguranca/noticia/2018/01/10-cidades-concentram-80-dos-roubos-de-veiculos-no-rs-cjcgid9d01o001kef5xuis97.html>. Acesso em: 10 out. 2018

LORA ALLIANCE TECHNICAL COMMITTEE REGIONAL PARAMETERS WORKGROUP. **LoRaWAN™ 1.0.3 Regional Parameters**. California, USA, 2018. LORA ALLIANCE TECHNICAL COMMITTEE. **LoRaWAN™ 1.0.3 Specification**. California, USA, 2018.

LORA ALLIANCE TECHNICAL MARKETING WORKGROUP. **LoRaWAN What is it?** California, USA, 2015.

LORA: Symbol Generation, *In: ALL about LoRa and LoRaWAN*, [S.I.], [2018?]. Disponível em: <https://www.sghosly.com/p/lora-is-chirp-spread-spectrum.html>. Acesso em: 20 ago. 2018

MANCINI, M. Internet das coisas: história, conceitos, aplicações e desafios. [S.I.], 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/326065859_Internet_das_Coisas_Historia_Conceitos_Aplicacoes_e_Desafios. Acesso em: 21 ago. 2018

OLIVEIRA, A.. Porque descarrega a bateria nos caminhões e ônibus. *In: Eletroeletrônica automotiva*, 2010. Disponível em: <http://aparecidooliveira.blogspot.com/2010/01/sistema-eletrico-1224-v.html>. Acesso em: 15 out. 2018

SANTOS, B. P., *et al.* **Internet das coisas: da teoria à prática**. Belo Horizonte: Departamento de Ciência da Computação Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), 2016. Disponível em: <https://homepages.dcc.ufmg.br/~mmvieira/cc/papers/internet-das-coisas.pdf>. Acesso em: 21 ago. 2018

SAN-UM, W. *et al* A Long-Range Low-Power Wireless Sensor Network Based on U-LoRa Technology for Tactical Troops Tracking Systems. **Third Asian Conference on Defence Technology**. Tailândia, 2017. DOI: 10.1109/ACDT.2017.7886152 Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7886152>. Acesso em: 29 ago. 2018

SEMTECH CORPORATION, **AN1200.22 LoRa™ Modulation Basics**. 2 ed. [S.l.], 2015.

SILVA, J. D., *et al.* LoRaWAN - a low power WAN protocol for internet of things: a review and opportunities. **International Multidisciplinary Conference on Computer and Energy Science (SpliTech)**. Croácia, 2017. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8019271>. Acesso em: 29 ago. 2018

ST MICROELETRONICS (ST). **STM32F103x8 & STM32F103xB** [S.l.], 2015. Disponível em: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f103c8.pdf>. Acesso em: 12 set. 2018

ST MICROELETRONICS (ST). **STM32F334R8** [S.l.], 2018. Disponível em: <https://www.st.com/en/microcontrollers/stm32f334r8.html#samplebuy-scroll>. Acesso em: 12 set. 2018

ST MICROELETRONICS (ST). **STM32Cube MCU Package for STM32F4 Series with HAL, low-layer drivers and dedicated middleware**. 6 ed. [S.l.], 2017. Disponível em: https://www.st.com/resource/en/data_brief/stm32cubef4.pdf. Acesso em: 12 set. dez

TIMBÓ, M. A.. **Levantamentos através do sistema GPS**. Minas Gerais: Departamento De Cartografia UFMG, 2000.

U-BLOX AG. **NEO-6**: u-blox 6 GPS Modules Data Sheet. Suíça, 2011. Disponível em: https://www.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/NEO-6_DataSheet_%28GPS.G6-HW-09005%29.pdf. Acesso em: 15 set. 2018

UNITED STATES OF AMERICA GOVERNMENT (USA GOV). Other Global Navigation Satellite Systems (GNSS) *In: GPS*. 2017: Disponível em: <https://www.gps.gov/systems/gnss/>. Acesso em: 20 ago. 2018

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS (UNISINOS) Circular Unisinos, *In: Unisinos, São Leopoldo*, 2018. Disponível em: <http://www.unisinos.br/servicos/transporte/circular-unisinos>. Acesso em: 10 out. 2018

YUAN, M. Conhecendo o MQTT: Por que o MQTT é um dos melhores protocolos de rede para a Internet das Coisas? *In: IBM developer*: [S.l.], 2017. Disponível em: <https://www.ibm.com/developerworks/br/library/iot-mqtt-why-good-for-iot/index.html>. Acesso em: 01 fev. 2019