



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA



PLATAFORMA IoT PARA RASTREAMENTO E MONITORAMENTO PARA BOVINOS A PASTO

Alexandre Sales Vasconcelos

Campina Grande, PB
Dezembro de 2020

PLATAFORMA IoT PARA RASTREAMENTO E MONITORAMENTO PARA BOVINOS A PASTO

Alexandre Sales Vasconcelos

Tese de Doutorado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos necessário para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola, na área de Construções Rurais e Ambiente.

Orientador:

Prof. Dr. José Wallace Barbosa do Nascimento

Campina Grande, PB

Dezembro de 2020

V331p Vasconcelos, Alexandre Sales.
Plataforma IoT para rastreamento e monitoramento para bovinos a pasto / Alexandre Sales Vasconcelos. – Campina Grande, 2021.
120 f. : il. color.

Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2020.
Orientação: Prof. Dr. José Wallace Barbosa do Nascimento.
Referências.

1. Construção Rurais e Ambiência. 2. Computação em Nuvem – Plataforma IoT. 3. Agricultura 4.0. 4. Bem-estar Animal. 5. Bovinocultura Leiteira Brasileira. I. Nascimento, José Wallace Barbosa do. II. Título.

CDU 631.21: 004.738.5.057.2 (043)

ALEXANDRE SALES VASCONCELOS

PLATAFORMA IOT PARA RASTREAMENTO E MONITORAMENTO PARA
BOVINOS A PASTO

Tese de Doutorado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos necessário para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola, na área de Construções Rurais e Ambiente.

Aprovado em: 11/12/2020

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. José Wallace Barbosa do Nascimento – UFCG
Orientador

Prof. Dr. José Pinheiro Lopes Neto – UFCG
Examinador Interno

Prof. Dr. Dermeval Araújo Furtado – UFCG
Examinador Interno

Prof. Dr. Marcos Ricardo Alcântara Moraes – UFCG
Examinador Externo

Prof. Dr. Tadayuki Yanagi Junior – UFLA
Examinador Externo



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
POS-GRADUACAO EM ENGENHARIA AGRICOLA
Rua Aprígio Veloso, 882, - Bairro Universitário, Campina Grande/PB, CEP 58429-900

PARECER SEI Nº 10/2020/PPGEA-PRPG/PRPG
PROCESSO Nº 23096.046085/2020-16
INTERESSADO: ALEXANDRE SALES VASCONCELOS

ALEXANDRE SALES VASCONCELOS

TESE APROVADA EM: 11 DE DEZEMBRO DE 2020

BANCA EXAMINADORA

José Wallace Barbosa do Nascimento – Orientador
José Pinheiro Lopes Neto – Examinador Interno
Dermeval Araújo Furtado - Examinador Interno
Marcos Ricardo Alcântara Morais - Examinador Externo
Tadayuki Yamagi Junior - Examinador Externo



Documento assinado eletronicamente por **DERMEVAL ARAUJO FURTADO, PROFESSOR 3 GRAU**, em 15/12/2020, às 10:27, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **JOSE WALLACE BARBOSA DO NASCIMENTO, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 16/12/2020, às 08:55, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **JOSE PINHEIRO LOPES NETO, PROFESSOR 3 GRAU**, em 11/03/2021, às 14:41, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).

Documento assinado eletronicamente por **MARCOS RICARDO ALCANTARA MORAIS, PROFESSOR 3**

17/03/2021

SEI/UFCG - 1132896 - Parecer



GRAU, em 17/03/2021, às 08:33, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufcg.edu.br/autenticidade>, informando o código verificador **1132896** e o código CRC **AC139DDD**.

Referência: Processo nº 23096.046085/2020-16

SEI nº 1132896

DEDICATÓRIA

*Aos meus familiares, minha filha Amanda Gabriela e esposa Andréa
por inestimável apoio e compreensão para superar as
dificuldades durante a execução deste trabalho.*

*Aos meus pais, Joval e Maria Tereza (in memoriam), a
eles todos os créditos.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado força e discernimento para que esse dia pude chegar.

Aos meus pais, Joval da Costa Vasconcelos e Maria Teresa Sales Vasconcelos (*in memoriam*) por todos seus esforços e dedicação para que eu pudesse ter a oportunidade de uma boa educação.

A minha filha Amanda Gabriela e esposa Andréa pela paciência e compreensão dos momentos que estive ausente.

Aos meus irmãos Antônio Carlos, Carlos Alberto, Luiz Gonzaga, Jomar e João Batista, que contribuíram de forma direta e indireta em toda minha formação.

A Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, por meio do Programa de Pós-graduação em Engenharia agrícola, área de Construções Rurais e Ambiente, por possibilitar a realização da presente tese.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – IFPB, Campus Campina Grande por incentivar e consentir a minha liberação para a realização desse trabalho.

Ao meu Orientador professor. Dr. José Wallace Barbosa do Nascimento, pela oportunidade, confiança, apoio e as orientações passadas ao longo da elaboração deste trabalho. Minha gratidão e admiração.

Ao Professor. Dr. José Pinheiro Lopes Neto que desde o início participou do desenvolvimento do trabalho dando valiosas contribuições e sugestões.

Ao Professor. Dr. Demerval Araújo Furtado pela ajuda e apoio nestes momentos finais com sugestões e seus conhecimentos disponibilizados.

Aos servidores do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal da Paraíba Campus II, Carlos Augusto de Almeida Targino Alcoforado e Evaldo de Almeida Cardoso, que deram suporte durante a execução dos testes deste trabalho.

Aos colegas do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, que sempre me apoiaram com seus conhecimentos para vencer as dificuldades encontradas durante a elaboração deste trabalho.

Aos colegas professores da área de informática do IFPB, em especial, ao Professor. Dr. Anderson Fabiano e o Prof. Dr. Petrônio Bezerra por seu apoio.

A todos que contribuíram de forma direta ou indiretamente para a realização desta tese.

RESUMO

A bovinocultura leiteira no Brasil vem batendo recordes de produção nas últimas quatro décadas tornando-se um importante setor da economia do país, que vem contribuindo para a segurança alimentar da população e na melhoria da renda de muitos agricultores. Desde 2012 vem se observando uma crescente incorporação de novas tecnologias, mas ainda é um setor que predomina o modelo de exploração de média tecnologia no qual os animais são criados a pasto, carentes de novas tecnologias que leve o setor a níveis de tecnificação semelhantes ao encontrado na avicultura. Buscando contribuir com o desenvolvimento da cadeia produtiva do leite, propõe-se, neste trabalho, a aplicação dos conceitos da agricultura 4.0, *internet* das coisas, automação, computação em nuvem e sistemas de informação e comunicação no desenvolvimento de uma nova plataforma de *hardware* e *firmware* para rastreamento e monitoramento de animais criados a pasto. Os componentes de *hardware*, *firmware*, servidores na nuvem e aplicativos foram verificados por meio de testes de rastreamento e classificação de comportamento realizados com animais no pasto. Após a apresentação dos resultados dos testes de aferição e validação, ficou constatado que o sensor ótico utilizado para capturar o sinal fotopleletismográfico tem uma melhor relação custo/eficiência quando configurado para uma corrente de 10 mA e que a acurácia do sensor de temperatura é equivalente ao do termômetro infravermelho Fluke 62Max. O sensor inercial apresentou acurácia semelhante ao sensor utilizado no celular Samsung S9 e o algoritmo de classificação permitiu identificar os comportamentos ingestivos pastando, ócio e caminhando. Já no módulo GPS foi constatado um erro máximo de 0,89 m em uma medição de 10 m e o módulo de rádio LoRa obteve um alcance de transmissão de 273 metros e com uma bateria de 7,4 V e 5200 mA foi possível manter o dispositivo funcionando por 28h25 min. Esses resultados nos permitem afirmar que os objetivos propostos neste trabalho foram alcançados. Suas principais contribuições foi disponibilização de uma nova plataforma de instrumentação que proporciona a expansão do campo experimental aplicada às áreas de pesquisas sobre bem-estar animal como também tem potência de se tornar um produto comercial de apoio gerencial na cadeia produtiva do leite.

Palavras-chave: Agricultura 4.0, *Internet* das Coisas, Computação em nuvem, Comportamento ingestivo de bovinos leiteiros, Bem-estar animal

ABSTRACT

Dairy cattle farming in Brazil is an important sector of Brazil's economy, which has been contributing to the food security of the population and improving the income of many farmers. There has been an increasing inclusion of new technologies, but it is still a sector in which predominates the medium technology exploitation model where animals are raised on pasture. Seeking to contribute to the development of the milk production chain, this work proposes the application of the concepts of agriculture 4.0, internet of things, automation, cloud computing and information & communication systems in the development of a new hardware and firmware platform for tracking and monitoring of animals raised on pasture. The components of hardware, firmware, cloud servers and applications were verified by means of tracking tests and behavior classification, carried out with animals in the pasture. After presenting the results of the verification and validation tests, it was found that the optical sensor used to capture the photoplethysmographic signal has a better cost / efficiency ratio when configured for a current of 10 mA and that the accuracy of the temperature sensor is equivalent to that of the Fluke 62Max infrared thermometer. The inertial sensor showed accuracy similar to the sensor used in the Samsung S9 cell phone and the classification algorithm allowed the identification of ingestive behaviors when grazing, idling and walking. In the GPS module, a maximum error of 0.89 meters was found in a measurement of 10 meters and the radio module LoRa obtained a transmission range of 273 meters and with a 7.4V and 5200 mA battery it was possible to maintain the device running for 28h25 (twenty-eight hours and twenty-five minutes). These results allow us to affirm that the objectives proposed for this work have been achieved. The main contributions of this work are the availability of a new instrumentation platform that provides the expansion of the experimental field applied to research areas on animal welfare as well as having the potential to become a commercial product of managerial support in the milk production chain.

Keywords: Agriculture 4.0, Internet of Things, Cloud Computing, Bovine intake behavior, Animal welfare

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Desenvolvimento das revoluções industriais e revoluções agrícolas.....	8
Figura 2 - Arquitetura básica de uma rede sem fio no modo infraestrutura.....	16
Figura 3 - Arquitetura básica de uma rede sem fio no modo Ad hoc.....	17
Figura 4 - Exemplos de topologias do tipo estrela (a) e em malha (b).	17
Figura 5 - Arquitetura básica do node de uma RSSF.....	18
Figura 6 - Arquitetura de uma RSSF.	19
Figura 7 - Tecnologias baseada em IoT.....	20
Figura 8 - Arquitetura típica de uma rede LoRa em topologia estrela com três tipos de dispositivos.	23
Figura 9 - Sistemas inerciais, URI, UMI e SNI.....	26
Figura 10 - Componentes de uma forma de onda PPG sem tratamento.	29
Figura 11 - Pulso típico do sinal PPG.....	29
Figura 12 - Visão conceitual da plataforma IoT de rastreamento e monitoramento de bovinos a pasto.	33
Figura 13 - Diagrama em bloco do Node.	34
Figura 14 - Lado superior placa TTGO T-Beam (5) da Xinyuan.....	35
Figura 15 - Lado inferior da placa TTGO T-Beam (5) da Xinyuan.....	35
Figura 16- Interface principal que interliga os módulos externos à placa TTGO T-Beam.	36
Figura 17 - Esquema do circuito elétrico da interface principal.	37
Figura 18 - Módulo MAX30102 para leitura de FC e TSC.....	37
Figura 19 - Diagrama funcional do circuito integrado MAX30102.	38
Figura 20 - (a) Cabo manga 5x26 AWG e (b) conector SP16-6P utilizados neste trabalho.	39
Figura 21 - Esquema do circuito de conexão do módulo PPG (6) com a placa TTGO T-Beam (5).	39
Figura 22 - Local de instalação do sensor ótico para coleta do sinal PPG do animal.....	40
Figura 23 - Esquema do circuito elétrico do módulo UMI (7).....	41
Figura 24 - Módulo UMI (7) com destaque para os circuitos integrados MPU-9250 e o BMP280.....	42

Figura 25 - Módulo UMI (7) com destaque para os circuitos integrados MPU-9250 e o BMP280.....	42
Figura 26 - Local de instalação do sensor ótico para coleta do sinal PPG do animal.....	43
Figura 27 - Local de instalação do sensor ótico para coleta do sinal PPG do animal.....	44
Figura 28 - Diagrama em bloco conceitual do receptor GPS NEO-6.	45
Figura 29 - Esquema do circuito elétrico do receptor GPS NEO-6.....	45
Figura 30 - Antena do módulo GPS (8).....	46
Figura 31 - Shield adaptador para cartão microSD.	47
Figura 32 - Esquema do circuito elétrico do módulo adaptador para cartão microSD.....	48
Figura 33 - Esquema do circuito elétrico de conexão do módulo LoRa (10) ao ESP32.	49
Figura 34 - Módulo regulador de tensão (12) e caixa de proteção.	49
Figura 35 - Esquema do circuito elétrico da Shield LM2596.	50
Figura 36 - Bateria (13) Lion Power 7,4V com 5200 mAh.	50
Figura 37 - Invólucro de proteção do Node (1), (a) tampas em ABS e (b) tubo PVC 50 mm.	51
Figura 38 - Cabresto para embarque do Node (1) no animal.....	52
Figura 39 - Diagrama em bloco do componente (2).....	52
Figura 40 - Componentes do Gateway da plataforma IoT.....	53
Figura 41 - Placa TTGO LoRa32 (14) lado superior (a) e inferior (b).....	54
Figura 42 - Antena LoRa 915 MHz (16) do Gateway (2).....	55
Figura 43 – Fonte CA/CC (18) do tipo chaveada 100-240 V AC para 8 V DC com 600 mA.	56
Figura 44 - Diagrama em bloco do componente (3).....	57
Figura 45 - Estrutura básica do protocolo publish-subscribe (MQTT).	57
Figura 46 - Tela principal do aplicativo monitor animal - LaCRA/UFCG.....	59
Figura 47 - Telas do aplicativo apresentando os quatro comportamentos monitorados.....	60
Figura 48 - Telas do aplicativo apresentando os quatro comportamentos monitorados.....	61

Figura 49 - Telas do reconhecedor de fala e do aplicativo de registro de comportamento.....	62
Figura 50 - Esquema elétrico do Node, componente (1) da plataforma IoT.....	63
Figura 51 - Esquema elétrico do Gateway, componente (2) da plataforma IoT. ...	64
Figura 52 - Fluxograma do algoritmo principal do firmware utilizado no Node (1).	66
Figura 53 - Fluxograma do algoritmo da Task PPG (6) do Node (1).	67
Figura 54 - Fluxograma do algoritmo da Task UMI (7) do Node (1).	68
Figura 55 - Fluxograma do algoritmo da Task GPS (8) do Node (1).	69
Figura 56 - Fluxograma do algoritmo da Task SD Card (9) do Node (1).	70
Figura 57 - Fluxograma do algoritmo da Task LoRa (10) do Node (1).	71
Figura 58 - Fluxograma do algoritmo do Gateway (2).	72
Figura 59 - Fluxograma do algoritmo da Task Wi-Fi do Gateway (2).	73
Figura 60 - Fluxograma do algoritmo da Task MQTT do Gateway (2).	74
Figura 61 - Fluxograma do algoritmo da Task LoRa (15) do Gateway (2).	75
Figura 62 - Fluxograma do procedimento de execução do experimento com o Módulo PPG (6).....	77
Figura 63 - (a) Vista superior da plataforma de MDF, (b) Vista lateral da plataforma de MDF, (c) Suporte articulado da placa móvel.....	78
Figura 64 - Fluxograma do procedimento de execução do experimento com o módulo UMI (7).....	79
Figura 65 - Fluxograma do procedimento de execução do experimento com o Módulo GPS (8).....	80
Figura 66 - Fluxograma do procedimento de execução do experimento de monitoramento e rastreamento.....	82
Figura 66 - Representação de seis quadrados gerados a partir dos dados coletados pelo Módulo GPS (8).....	87
Figura 67 - Gráfico de linha de tempo do comportamento ingestivo do animal.....	89
Figura 68 - Histograma da distribuição do comportamento ingestivo em relação ao período de observação do animal em pasto.....	89
Figura 69 – Local de fixação do Módulo UMI (7) com o diagrama de vetores do ângulo Pitch.....	91
Figura 70 – Mapa de rastreamento do deslocamento do animal em pasto.....	92
Figura 71 - Modelos desenvolvidos no Fusion 360 do prendedor para o Módulo PPG (6).	94

Figura 72 - Suporte do Módulo PPG (6) impresso na impressora 3D em material ABS na cor verde.	94
Figura 73 - Experimento para coleta da frequência cardíaca com o Módulo PPG (6) sendo segurado pelo tratador.	95
Figura 74 - Experimento para coleta da frequência cardíaca com o Módulo PPG (6) utilizando-se um suporte de fixação do sensor.....	96

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Corrente do LED x número de verificações realizadas com sucesso (%).....	83
Tabela 2 - Comparação da TSC verificado por meio termômetro infravermelho Fluke 62Max e com Módulo PPG (6).....	84
Tabela 3 - Comparação da FC verificado por um especialista utilizando um estetoscópio e com a extraída do sinal PPG.....	84
Tabela 4 - Valor médio do ângulo Pitch para o celular Samsung S9 (ACEL) e Módulo UMI (7) (AMPPG).	85
Tabela 5 - Valores médios da distância entre dois pontos separados por 10 metros	86

SUMÁRIO

1	Introdução	1
1.1	Objetivo geral	3
1.1.1	Objetivos específicos	3
2	Revisão bibliográfica	5
2.1	Agricultura de precisão	5
2.2	Agricultura 4.0	7
2.3	Bem-estar animal	10
2.4	Comportamento animal	12
2.5	Rede de Sensores Sem Fio (RSSF).....	15
2.6	<i>Internet</i> das Coisas.....	19
2.7	Rede LoRa	22
2.8	Sistema de navegação inercial.....	25
2.9	Fotoplestismografia	28
3	Material e métodos	31
3.1	Local do experimento	31
3.2	Plataforma IoT.....	32
3.2.1	<i>Nodes</i>	33
3.2.2	Interface de rede LoRa (<i>Gateway</i>)	52
3.2.3	Servidor em nuvem	56
3.2.4	Aplicativos	58
3.3	Esquemas dos circuitos elétricos	62
3.4	<i>Firmware</i>	65
3.5	Aferição de sensores	76
3.5.1	Aferição do sensor do Módulo PPG (6).....	76
3.5.2	Aferição dos sensores do Módulo UMI (7)	77

3.5.3 Aferição do Módulo GPS (8).....	79
3.6 Experimento de monitoramento e rastreamento.....	81
4 Resultados e discussão	83
4.1 Resultados do teste do Módulo PPG (6)	83
4.2 Resultados do teste do Módulo UMI (7)	85
4.3 Resultados do teste do Módulo GPS (8)	86
4.4 Resultado do experimento de monitoramento e rastreamento	88
4.5 Suporte para o Módulo PPG (6)	93
4.6 Problema com a biblioteca do MAX30102.....	97
4.7 Problema com a biblioteca do MPU-9250	98
5 Conclusão e sugestões para futuros trabalhos	99
5.1 Conclusões.....	99
5.2 Sugestões para futuros trabalhos.....	100
6 Referências bibliográficas	101
APÊNDICE A – Fotos dos componentes da Plataforma IoT.....	114
APÊNDICE B – Tabelas com os dados dos experimentos	118

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos 50 anos a cadeia produtiva do leite no Brasil vem aumentando sua produção de forma constante, chegando em 2017 a ultrapassar a marca histórica de 30 bilhões de litros graças também a evolução da produtividade do rebanho que saiu de 1,6 mil litros/animal/ano em 2006 para 2,6 litros/animal/ano em 2017, representando um ganho de 62,5%.

A evolução nos números de produção e produtividade alcançada pela cadeia produtora de leite no Brasil deve-se principalmente, a profissionalização da gestão no melhoramento genético dos animais e uma maior adoção de tecnologias que também refletiu na melhora de outros indicadores como terra, mão de obra e capital.

Nas últimas quatro décadas foi observado uma crescente incorporação de novas tecnologias na atividade leiteira no Brasil, na qual ainda predomina o modelo de exploração de média tecnologia com um rebanho criado predominantemente a pasto. A adoção das novas tecnologias refletiu em maior eficiência em todos os índices de produção, em especial, a evolução na produtividade da mão de obra que aumentou a quantidade de leite produzido por funcionário por ano e o aumento na taxa de lotação das pastagens.

Destaca-se também a evolução no acesso à tecnologia da informação e comunicação ocorrida nos estabelecimentos agropecuários no período de 2006 a 2017. Observou-se um aumento do acesso a telefone e principalmente de propriedades que passaram a contar com acesso à *internet*.

Apesar do Brasil está entre os maiores produtores de leite do mundo, quando se observa indicadores como a quantidade de litros produzidos por animal o cenário muda. A produtividade dos animais nos Estados Unidos é em média de 10,4 mil litros/animal/ano, bem superior ao verificado no Brasil. Constata-se com esses números que existe margem para aumentar a produtividade e consequentemente a produção de leite no Brasil.

Apesar da previsão de crescimento da produção de leite para os próximos anos, poder-se-ia incrementar esse crescimento se fossem adotadas medidas com os objetivos de elevar o nível tecnológico das propriedades produtoras de leite para um modelo de produção tecnificado.

Novas tecnologias como a Agricultura de Precisão (AP), a automação agrícola e as redes de comunicação são áreas que vêm ganhando importância no agronegócio brasileiro com o objetivo de manter ou aumentar os recordes de produtividade em consonância com as questões ambientais. Busca-se melhorar os sistemas de gerenciamento das lavouras e criadouros, proporcionando-lhes informações mais precisas com flexibilidade para serem usados por grandes, médios e pequenos produtores. Na intersecção dessas áreas uma nova tendência vem chamando atenção.

A Agricultura 4.0 é definida como sendo a evolução da agricultura e pecuária de precisão, baseia-se na utilização intensiva de equipamentos agrícolas com novas tecnologias de sensores e atuadores inteligentes integrados por meio de uma rede de comunicação sendo utilizada em toda infraestrutura da cadeia produtiva para a coleta de dados. Esses dados podem ser processados e analisados automaticamente em sistemas de apoio à decisão, sendo responsáveis por gerar informações que servem de apoio à tomada de decisão no gerenciamento do agronegócio.

Uma das principais ferramentas utilizadas para implementar a agropecuária 4.0 são os sistemas de apoio à decisão, para o seu correto funcionamento precisam ter acesso a maior quantidade de dados possíveis sobre as variáveis, os quais afetam o desempenho produtivo do agronegócio. Especificamente na pecuária uma dessas variáveis é o bem-estar animal, que é influenciado por vários fatores tais como: fisiológicos, comportamentais e dos elementos climáticos, caracterizando-se como uma variável multifatorial. tendo forte impacto sobre a produção agropecuária, em especial na bovinocultura leiteira.

Diante disso, percebe-se a necessidade do desenvolvimento de novos dispositivos e tecnologias que auxiliem no gerenciamento das unidades produtivas da cadeia do leite por meio do monitoramento dos animais, coletando informações sobre os principais tipos de atividades realizadas pelo animal, suas variáveis fisiológicas e de rastreamento de forma automatizada e contínua, permitindo acesso em tempo real de forma remota por meio da *internet*.

A plataforma proposta neste trabalho pretende aplicar os conceitos da indústria 4.0 na cadeia produtiva do leite utilizando-se de tecnologias tais como: novos sensores óticos com capacidade para registrar variáveis fisiológicas como o sinal pletismográfico, sensores para identificação do comportamento animal baseado em

tecnologia de sistemas microeletromecânicos, tecnologias de comunicação de baixo consumo e longo alcance idealizadas para viabilizar a *internet* das coisas em aplicações que utilizam dispositivos embarcado em animais livres no pasto.

O uso de dispositivos embarcados e automatizados com a capacidade de registrar e transmitir dados fisiológicos e comportamentais utilizados na inferência de informações individualizadas e em tempo real sobre a sanidade e bem-estar de cada animal do rebanho, contribuirá para aumentar a produtividade animal. Esse aumento permitirá que o Brasil contribua para que sejam atingidas as metas de produção estabelecidas pela FAO (2017), as quais estimou a necessidade de 600 bilhões de quilos de leite a mais em 2067 para garantir a demanda por produtos lácteos da população estimada em 10,5 bilhões de pessoas.

Durante todo o desenvolvimento da plataforma aqui proposta, um dos principais balizadores de quais caminhos e tecnologias que seriam empregadas na sua implementação era a viabilidade econômica. Apesar de que todos os componentes eletrônicos utilizados serem importados, observou-se uma redução de custo principalmente por se utilizar P&D¹ desenvolvidas levando em consideração as especificidades de clima e rebanho da região.

1.1 Objetivo geral

Objetivou-se com a presente pesquisa, desenvolver e verificar o correto funcionamento de uma plataforma de *hardwares* e *softwares* com capacidade de capturar, analisar e extrair informações de variáveis fisiológicas e comportamentais de bovinos leiteiros criados a pasto.

1.1.1 Objetivos específicos

- Desenvolver e implementar o *hardware* e o *software (firmware)* de todos os componentes que compõem a plataforma.
- Verificar o correto funcionamento do sensor utilizado na coleta de dados do sinal pletismográfico.
- Verificar o correto funcionamento do sensor inercial utilizado na coleta de dados dos ângulos de Euler.

¹ P&D é a sigla utilizada para um processo de Pesquisa e Desenvolvimento.

- Validar o funcionamento da infraestrutura implementada para transmitir as informações registradas no dispositivo IoT embarcado no animal para os aplicativos e banco de dados na nuvem.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta seção abordará os principais conceitos, técnicas e limitações sobre as tecnologias utilizadas no desenvolvimento deste trabalho a fim de subsidiar o leitor na interpretação dos resultados aqui apresentados.

Inicialmente serão abordados conceitos sobre a Agricultura de Precisão (AP), Agricultura 4.0 e comportamento animal que estão sendo desenvolvidos com o objetivo de aumentar o desempenho produtivo em conjunto com a melhoria do bem-estar dos animais.

Em um segundo momento serão abordados conceitos das tecnologias que foram utilizadas no desenvolvimento deste trabalho tais como, *Internet das Coisas* (em inglês, *Internet of Things* - IoT), Rede de Sensores Sem Fio - RSSF (em inglês, *Wireless Sensor Network* - WSN), redes LoRa (em inglês, *Long Range*), sensores óptico para fotoplestismografia (em inglês, *photoplethysmography* - PPG) e microssistemas eletromecânicos (em inglês, *Micro Electro-Mechanical Systems* - MEMS) para detecção de movimentos.

2.1 Agricultura de precisão

Os primeiros dispositivos que serviram de base para o desenvolvimento da AP tinham como objetivo melhorar a eficiência das máquinas agrícolas. Um exemplo desses dispositivos era o controlador mecânico de nivelamento automático desenvolvido para colhedoras no início do século XX. Em 1948, com o advento dos transistores e o rápido desenvolvimento da eletrônica, foram desenvolvidos novos transdutores eletrônicos (sensores) que possibilitaram a utilização de novos algoritmos de controle para aumentar o desempenho das máquinas agrícolas (EDEN; MASKELL, 1928).

Na década de 80, com a consolidação de novas tecnologias como a eletrônica embarcada, os novos sensores eletrônicos, sensoriamento remoto, os sistemas de informações geográficas (GIS) e a disponibilização para uso civil do sistema global de navegação por satélite (em inglês, *Global Positioning System* - GPS), tornou-se possível a coleta de dados de novas variáveis que melhoraram a qualidade da informação, na qual mapas de produtividades passaram a ter um alto grau de precisão e novas funcionalidades foram implementadas pela indústria para

diminuir o consumo de insumos agrícolas e de combustível das máquinas (ANISI; ABDUL-SALAAM; ABDULLAH, 2015; BERNARDI et al., 2014).

A definição do conceito de Agricultura de Precisão (AP) foi se adaptando à medida que essas novas tecnologias tornaram possível a coleta de uma maior variedade e quantidade de dados ao mesmo tempo que o custo do *hardware* dos sistemas de informática era reduzido. Davis; Casady e Massey (1998) definiram a AP como um sistema de manejo de produção integrado com capacidade de identificar e diferenciar a necessidade de insumos em pequenas áreas de uma propriedade para reduzir os custos de produção e também o impacto ao meio ambiente. Por sua vez, Tschiedel; Ferreira (2002) Dallmeyer; Schlosser (1999) afirmaram que a AP proporciona ao administrador da propriedade uma base de conhecimento que melhora suas técnicas de gestão, reduzindo o uso dos insumos e otimizando a rentabilidade da propriedade.

A AP não ficou restrita apenas ao desenvolvimento de novas tecnologias e equipamentos, ela também impactou nos sistemas de gestão das agroindústrias que buscavam ajustar as tomadas de decisão à variabilidade espacial do desempenho produtivo das áreas cultivadas objetivando resultados econômicos, sociais e ambientais sustentáveis. Entretanto, o uso da AP em várias áreas provocou uma expectativa na sociedade supondo que ela seria capaz de realizar todas as atividades de forma autônoma por meio de máquinas e equipamentos sofisticados, reduzindo a necessidade de intervenção humana, contrariando assim, o objetivo da AP (BERNARDI et al., 2014).

O MAPA (2012) criou a Comissão Brasileira de Agricultura de Precisão (CBAP) com o objetivo de definir os conceitos da agricultura de precisão. A CBAP definiu a AP como “um sistema de gerenciamento agrícola baseado na variação espacial e temporal da unidade produtiva, visando o aumento de retorno econômico, a sustentabilidade e a minimização do efeito ao ambiente” (BERNARDI et al., 2014).

A AP buscou individualizar e especificar eficientemente as necessidades de adubos e pesticidas de cada área da unidade produtora com objetivo de uniformizar o desempenho produtivo e redução do custo, bem como o impacto ambiental dela. A Pecuária de Precisão (PP) busca realizar com maior frequência e acuracidade a coleta de dados de forma automatizada com o objetivo de atingir o melhor desempenho individualizado de cada animal visando identificar com antecedência problemas de saúde ou queda de desempenho produtivo (CAVALCANTI; RIBAS; PEREIRA, 2015).

A pecuária de precisão também busca mitigar os impactos ambientais provocados pela cadeia produtiva da carne e leite que são apontadas por organizações internacionais como responsáveis por um crescente aumento da ocupação de terras e do seu desmatamento, uso excessivo da água, desgaste do solo que desencadeia processos de desertificação e erosão e como sendo o maior gerador de gases de efeito estufa (OCDE-FAO, 2020).

Tanto a agricultura como a pecuária de precisão propõem melhorar os processos produtivos, seja na agricultura ou na pecuária, reduzindo os impactos ambientais, incrementando os índices de produtividade e reduzindo custo de produção. Para isso, a PP apoia-se em novas tecnologias de informação e tratamento de dados que facilitam a tomada de decisão na gestão do agronegócio (BERNARDI et al., 2014; CAVALCANTI; RIBAS; PEREIRA, 2015).

As novas tecnologias que estão sendo implantadas nos setores agrícola e pecuário apontam para uma disruptura no modo de produção e o ingresso do setor na quarta revolução industrial com o objetivo de suprir a demanda de alimentos e ao mesmo tempo, não esquecer os impactos ambientais (PARRONCHI, 2017).

2.2 Agricultura 4.0

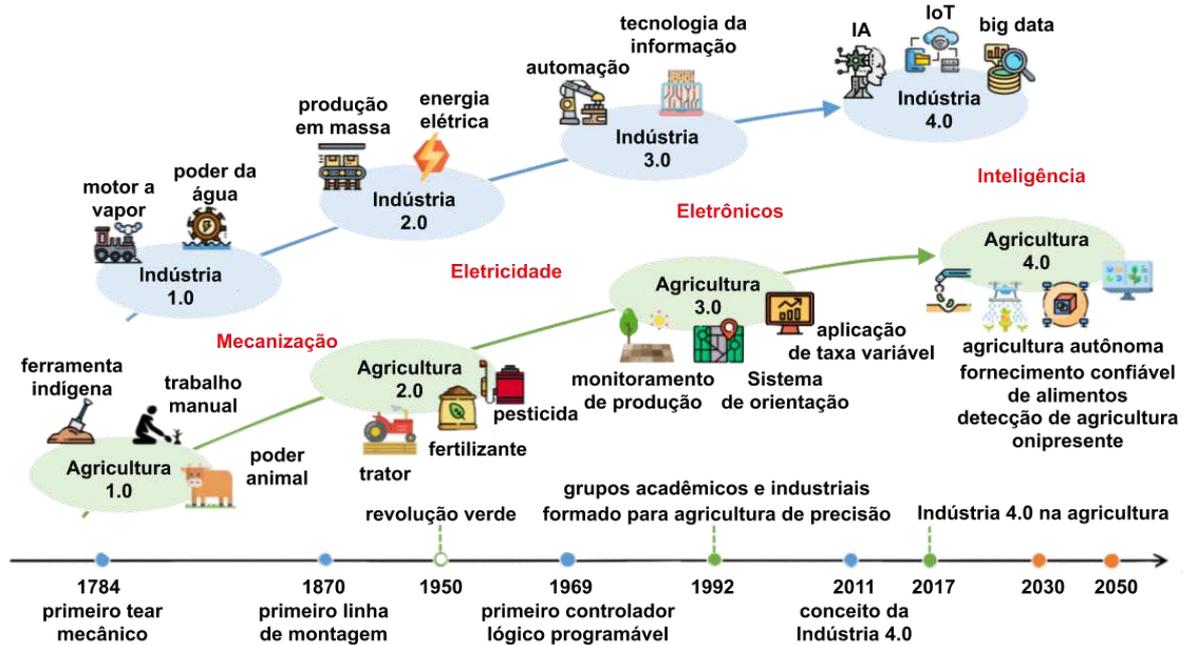
Por volta de 2015, a revolução agrícola proporcionada pela AP, começa a ceder espaço para uma nova revolução, agora baseada no uso de novas tecnologias como *big data*, robótica, sensores e da IoT. Na pecuária abriram espaço para a chegada do que ficou denominada a “quarta revolução agrícola” ou “agricultura 4.0” (FRANKELIUS; NORRMAN; JOHANSEN, 2019, LEJON; FRANKELIUS, 2015).

As chamadas revoluções agrícolas vêm sendo impulsionadas pelas revoluções industriais desde a chamada primeira revolução industrial que ficou caracterizada pelo emprego de máquinas a vapor na indústria têxtil e na agricultura provocou a substituição das ferramentas manuais como enxadas e foices por máquinas agrícolas para preparação de canteiros, semeadura e colheita (LIU et al., 2020).

Atualmente a quarta revolução industrial, ou Indústria 4.0, vem induzindo uma nova revolução agrícola, caracterizada pelo uso de tecnologias com IoT, *Big Data*, IA e tecnologia de *blockchain* integrando os processos de produção e as cadeias logísticas e chegando ao consumidor. Esse novo ecossistema de agricultura industrial se propõe a melhorar a produtividade, aumentar a eficiência da cadeia de

abastecimento agroalimentar sem descuidar do bem-estar animal e uso sustentável dos recursos naturais (LIU et al., 2020). A Figura 1 ilustra o paralelo entre as revoluções industriais e as revoluções agrícolas.

Figura 1 - Desenvolvimento das revoluções industriais e revoluções agrícolas.



Fonte: Adaptado de Liu et al. (2020).

As novas tecnologias que chegaram ao campo estão sendo determinantes nesse processo de evolução contínua que vem consolidar essa nova era tecnológica. Atualmente, já não existe uma separação clara do mundo virtual para o mundo físico. A chegada da *internet* no campo abre espaços para uso da computação na nuvem no processamento e análise de grandes volumes de dados capturados por sensores espalhados pelo campo ou embarcados nos animais (AVELAR, 2019; MASSRUHÁ; LEITE, 2017; ZAPAROLLI, 2020).

Pesquisas em AP vêm propondo e desenvolvendo novos sensores para variáveis agrônomicas que impactam na produção (CANATA, 2017). Novos sistemas de gerenciamento de produção e o uso de veículos aéreos não tripulados estão sendo utilizados para monitorar toda a plantação de forma remota (SANTOS; ESPERIDIÃO; AMARANTE, 2019). Máquinas que utilizam tecnologias de automação e robótica são eletronicamente controladas por meios de redes de comunicação (MASSRUHÁ; LEITE, 2017).

Essas tecnologias fornecem a base para o desenvolvimento de novas formas de trabalho e modelos de negócios que estabelecem os conceitos para Agricultura Inteligente (AI) ou *Smart Farming* em inglês, ou mais recentemente Agricultura 4.0 em inglês *Farming 4.0* ou *Agriculture 4.0* (BRAUN; COLANGELO; STECKEL, 2018).

Entretanto, a utilização de todas essas tecnologias também trouxe novos desafios. Uma grande quantidade de dados gerados a partir do emprego dos sensores precisam ser tratados e submetidos a algoritmos de extração de informação tornando seu uso mais simples (WELTZIEN, 2016).

O registro automático de uma grande quantidade de dados, sozinhos, não são suficientes para produzir melhores resultados em uma fazenda, é preciso que os sistemas sejam “inteligentes” para fornecerem respostas ou alertas antes mesmo que possam ser percebidas pelos usuários do sistema (WELTZIEN, 2016).

O desenvolvimento de algoritmo utilizando técnicas de Inteligência Artificial (IA) conseguem integrar em um único sistema conceitos de agronomia, gestão de recursos humanos, gerenciamento de pessoal, compras, gerenciamento de risco, armazenamento, logística, manutenção, *marketing* e cálculo de rendimento buscando aumentar o desempenho produtivo ecologicamente sustentável e com bem-estar animal (SCHÖNFELD; HEIL; BITTNER, 2018).

Os benefícios proporcionados pela IA também abrangem outras áreas da agroindústria que fazem uso de sistemas robóticos, em conjunto com tecnologia de visão computacional para reconhecer e classificar imagens com o objetivo de inferir de forma automatizada doenças e/ou pragas nos pomares da fruticultura (GASPAR, 2020).

Outra vantagem do IA, são os dispositivos embarcados colocados nos animais por meio de coleiras para coletarem informações sobre a temperatura corporal, variáveis fisiológicas, padrões de movimento e de deslocamento de vacas ou outros animais (REIGONES; GASPAR; GARCIA, 2017).

A análise dos dados coletados por esse dispositivo não permite apenas monitorar continuamente a saúde das vacas, mas também determinar o tempo adequado para a inseminação (SCARIOT et al., 2020), identificar precocemente possíveis problemas de saúde como a mastite (SØRENSEN; BJERRING; LØVENDAHL, 2016) ou claudicação (HERTEM et al., 2013).

Além de funções para monitorar e alertar o rebanho, esses novos sistemas também podem enviar automaticamente notificações para o gerente da fazenda e/ou para veterinários por meio de aplicativos de *smartphones* em tempo real (TAVARES, 2017).

A adoção de todas essas novas tecnologias precisa também levar em consideração o bem-estar animal, outro importante tema com impacto direto na produção e/ou reprodução além de atender demanda do perfil de consumidor ético, que privilegia a comprar alimentos de origem animal proveniente de animais que não passaram por sofrimento (AZEVEDO et al., 2020).

2.3 Bem-estar animal

O bem-estar animal juntamente com as questões ambientais e a segurança alimentar são temas que despertam o interesse dos consumidores e governos em especial de países da União Europeia (UE). O consumidor da UE demanda produtos ambientalmente sustentáveis, os quais tenham origem de animais criados, tratados e abatidos em sistemas que promovam o seu bem-estar (ASMARE, 2014).

De acordo com pesquisa realizada pelo Instituto Akatu (2013), 52% dos consumidores brasileiros colocaram como fator de decisão de compra de um produto o aspecto “Não maltratar animais”. Portanto, é de fundamental importância que as informações sobre o bem-estar animal possam ser avaliadas e auditadas de forma transparente e independentes.

Segundo Broom e Molento (2004), não existe uma definição científica única para o termo bem-estar animal. Esse termo foi proposto por Harrison (1964) para despertar a sociedade da época sobre o tratamento dado pelos humanos aos animais e teve como consequência a criação do Comitê Brambell que propôs a primeira definição como sendo “Bem-estar, um termo amplo, abrange tanto o estado físico quanto o mental do animal. Por isso, qualquer tentativa para avaliar o nível de bem-estar em que os animais se encontram deve levar em consideração a evidência científica existente relativa aos sentimentos dos animais. Essa evidência deverá descrever e compreender a estrutura, função e formas comportamentais que expressando o que o animal sente” (BROOM, 2011).

Os métodos para avaliar o nível de bem-estar de um animal geralmente são baseados em variáveis, podendo ser divididos em duas categorias: as variáveis baseadas no ambiente tais como o tamanho da baia, qualidade da cama e o acesso

ao pasto e as baseadas no animal no qual se enquadram variáveis sobre o comportamento, saúde e fisiologia do animal (JOHNSEN; JOHANNESON; SANDØE, 2001).

As variáveis fisiológicas são uma das formas utilizadas para aferir o nível de bem-estar. Elas são afetadas quando os animais estão sob estresse térmico (SOUZA, 2011). O estresse térmico ou calórico é um dos problemas que mais causam impacto econômico na cadeia produtiva do leite, seja devido à redução na produção de leite ou às perdas reprodutivas (BILBY; TATCHER; HANSEN, 2014).

Uma das formas indiretas de se verificar o nível de estresse térmico ao qual o animal está submetido é por meio das variáveis fisiológicas tais como Temperatura Retal (TR), Temperatura Superficial Corporal (TSC), Frequência Respiratória (FR) e Frequência Cardíaca (FC) as quais são afetadas pela exposição a ambientes onde os animais passam por algum tipo de estresse (térmico, falta de alimento, injúrias, entre outros) (SOUZA et al., 2017).

Costa et al. (2019) avaliaram os efeitos do estresse térmico sobre as variáveis fisiológicas e concluíram que a elevação do índice de temperatura e umidade (ITU) modificou a TSC e a temperatura vaginal (TV) de vacas Girolando. Já Marins et al. (2020) observaram alterações na FC de vacas Girolando acima da referência clínica no período das 8 às 16h, intervalo esse, de elevação da temperatura ambiente.

Almeida Neto et al. (2014) avaliaram as variáveis fisiológicas (TR, TSC, TV e FR) de vacas Girolando em lactação criadas no semiárido com objetivo de identificar efeitos do estresse térmico durante a estação seca.

Uma das principais respostas que o animal apresenta quando submetido ao estresse térmico por calor é o aumento da TR, já a TSC, sofre influência do aumento da TR como também do aumento da temperatura ambiente. Essa alteração na TR e TSC é reflexo da exaustão da capacidade do animal dissipar o calor interno, indicando o esgotamento dos mecanismos fisiológicos usados pelo animal para manter sua homeotermia na zona de conforto térmico (DANTAS et al., 2012).

A zona de conforto térmico é definida pela Temperatura Crítica Inferior (TCI) e Temperatura Crítica Superior (TCS). Quando a temperatura do animal está abaixo da TCI ele se encontra em estresse por frio, que provoca o aumento do uso de energia para elevar a temperatura corporal de volta a zona de conforto. Quando a temperatura está acima da TCS encontra-se em estresse por calor, provocando

também, o aumento do uso de energia para ativar os mecanismos termorreguladores para trazer a temperatura corporal para zona de conforto (CARVALHO, 2012).

Outro importante parâmetro fisiológico para detectar estresse térmico em bovinos é a FC (SOUZA et al., 2007).

Foi constatado que a FC de repouso da vaca leiteira fica entre 48 a 80 batimentos por minuto e está relacionada com a taxa metabólica e o tamanho corporal (DETWEILER, 1996). Avila et al. (2013) verificaram uma correlação positiva e significativa entre a FC e o índice de temperatura e umidade (ITU). Por sua vez, Silva et al. (2002) identificou um aumento significativo da FC quando as vacas estavam sem climatização nos horários mais quentes do dia.

Diferente dos trabalhos anteriores nos quais as variáveis fisiológicas foram mensuradas de forma manual, Costa et al. (2019) coletaram dados da temperatura vaginal de forma automatizada com ajuda de um *datalogger*. Já Lima et al. (2017) utilizaram dois métodos instrumentais, um termômetro digital infravermelho e uma câmera termográfica (FLIR 34) para obter a TSC.

No trabalho de Almeida Neto et al. (2014) foi utilizado um termômetro digital de uso veterinário para observar a TR e a TP foi verificada com o auxílio de um termômetro infravermelho, ambas realizadas manualmente. A FR foi obtida por meio visual, contando o número de movimentos da região do flanco realizados pelo animal.

O nível de bem-estar animal também pode ser mensurado levando em consideração a ausência de lesões, problemas reprodutivos, bom crescimento e está livre de estresse e doença (BROOM, 2006). Cerqueira et al. (2011) afirmaram que as doenças que provocam dores crônicas podem impactar fortemente o bem-estar animal, e essas doenças podem ser identificadas observando as alterações do comportamento do animal (WEARY; HUZZEY; KEYSERLINGK, 2009).

2.4 Comportamento animal

O comportamento animal foi definido por Del-Claro (2004) como sendo o conjunto de todas as ações que os animais executam ou deixam de executar. O comportamento em um primeiro momento está muito relacionado com o deslocamento ou movimento executado pelos animais, mas a ausência de movimentos também é uma forma de expressar o comportamento. Muitos animais ficam aparentemente estáticos, mas podem estar realizando internamente alguma mudança fisiológica que

muitas vezes não é possível de ser percebida pelos sentidos humanos (DEL-CLARO; PREZOTO; SABINO, 2008).

Os estudos sobre o comportamento animal contribuem para o desenvolvimento de várias áreas de pesquisas importantes, tais como: compreensão do comportamento humano, neurobiologia, conservação do meio ambiente e o manejo de recursos naturais, educação em ciência, e o bem-estar animal (YAMAMOTO; VOLPATO, 2007).

O estudo do comportamento dos animais se tornou uma ferramenta útil e bastante utilizada quando se busca avaliar o nível de bem-estar de um animal. A grande maioria dos indicadores comportamentais de bem-estar podem ser utilizados com precisão para determinar o estado do animal dentro de uma faixa de muito bom até muito ruim (CEBALLOS; SANT'ANNA, 2018).

Os indicadores comportamentais podem ser classificados em categorias funcionais como comportamento ingestivo ou alimentar, comportamento relacionados a doenças, comportamento de conforto e comportamento social que podem ser utilizados para mensurar o nível de bem-estar (CEBALLOS; SANT'ANNA, 2018).

O indicador baseado no comportamento ingestivo ou alimentar pode ser usado para avaliar o nível do bem-estar animal, no qual são observadas a frequência e a duração dos tempos de alimentação para detectar objetivamente doenças como a febre que reduz o consumo de ração (WOLFGER et al., 2015).

Estudo desenvolvido por Hart (1988) comparou o comportamento alimentar de animais saudáveis e animais com doenças respiratórias bovina no qual foi constatado que o tempo diário de alimentação dos animais saudáveis foi maior que dos animais doentes. Para melhor detectar o comportamento alimentar, faz-se necessário o uso de ferramentas automatizadas com capacidade de monitoramento contínuo para estabelecer uma linha de base contra a qual os desvios podem ser usados para gerar alertas (THEURER; AMRINE; WHITE, 2013).

O indicador de comportamento de conforto monitora o tempo que o animal passa descansando ou em ócio e os relacionados ao conforto térmico quando o animal procura locais com ou sem sombra (CEBALLOS; SANT'ANNA, 2018).

Define-se o tempo de pastejo ou de alimentação como sendo o período em que o animal passa selecionando e recolhendo a forragem, incluindo também os curtos intervalos no qual o animal desloca-se entre estações de pastejo (ALDRIGHI et al., 2018; SOUZA et al., 2011).

Aldrighi et al. (2018) definiram que a atividade comportamental de comer caracterizava-se pelo animal ficar em frente ao cocho, mastigando após prender a forragem com a cabeça baixa ou não, ou quando o animal estava com o focinho sujo de ração.

A atividade comportamental de ruminar é aquela na qual ocorrem os processos de mastigação, regurgitação e salivação do alimento. Ao término, o alimento então é transferido para o interior do rúmen do animal (OLIVEIRA et al., 2015).

Segundo Aldrighi et al. (2018), a atividade comportamental de ruminar é caracterizada quando o animal mastiga, engole, regurgita e remastiga o bolo alimentar utilizando, aparentemente, o flanco da bochecha.

A atividade comportamental de ócio pode ser definida como o período no qual os animais não estejam realizando nenhuma das atividades de pastejo, ruminação ou ingerindo água, podendo ser influenciada pelas diferentes estações do ano, sendo que, nas estações mais quentes o animal tende a ficar mais tempo em ócio comparado com as estações frias (OLIVEIRA et al., 2015). O ócio pode ser caracterizado como qualquer atividade que não seja relacionada à alimentação, como pastejar ou ruminar (ALDRIGHI et al., 2018).

Já Pardo et al. (2003) definiram o tempo de ócio ou descanso como sendo o tempo em que os animais não estavam realizando atividades de deslocamento, caminhando ou movimentos mandibulares.

No estudo conduzido por Souza et al. (2011) sobre o comportamento ingestivo de novilhas de corte com o objetivo de avaliar o desempenho de pastagens de milheto (*Pennisetum americanum*) e de papuã (*Urochloa plantaginea*) em uma região de clima tipo Cfa (subtropical úmido) conforme classificação de Köppen, foram verificados tempos médios de 551,8 e 487,8 min para o comportamento pastejo, 460 e 546,3 min para o comportamento ruminação e 428,2 e 405,9 min para o comportamento ócio verificados, respectivamente, no Milheto e Papuã.

Martini et al. (2017), estudando o comportamento ingestivo e o padrão de deslocamento de novinhos oriundos do cruzamento entre as raças Charolês e Nelore mantidas em pastagens de milheto ou sorgo em uma região de clima subtropical úmido e quente, conforme classificação de Köppen, foram registrados tempos médios de 569,3 e 589,3 min para a atividade de pastejo, 419,5 e 387,6 min para a atividade

de ruminação e 450,9 e 463,3 para a atividade de ócio nas pastagens de milho e sorgo respectivamente.

Mazocco et al. (2017) realizaram um estudo para avaliar o comportamento ingestivo de 8 vacas das raças Gir Leiteiro e 8 mestiças (Gir/Holandês) em duas áreas de pasto, sendo uma com sombra e outra sem em uma região de clima segundo Köppen classificado como Aw. No experimento foram observados os tempos médios de 523,4 e 482,8 min para a atividade de pastejo, 361,2 e 366,9 min para a atividade de ruminação e 480,9 e 524,4 min para a atividade de ócio das raças Girolando e Gir, respectivamente.

Estudos que buscavam classificar o comportamento do animal de forma automatizada utilizando sensores UMI apresentaram excelentes resultados na classificação dos comportamentos de pastejo, ruminação e ócio. Também ficou constatado que a inclinação da cabeça da vaca foi uma das mais importantes informações extraídas dos dados gerados por meio de UMI para o sucesso da classificação (SMITH et al., 2016).

Já a classificação do comportamento de caminhar, segundo esses autores, apresentou resultados inferiores, comparados aos comportamentos de pastejo, ruminação e ócio. Para melhorar esses resultados, uma proposta foi a utilização de dados de outros sensores como os de rastreamento gerados por GPS que associados com os gerados por meio dos UMI, podem melhorar a precisão dos classificadores.

2.5 Rede de Sensores Sem Fio (RSSF)

As redes de computadores, em especial, a que deu origem a *internet* surgiu no final da década de 1960 com o objetivo de compartilhar os caros e escassos recursos computacionais da época interligando os laboratórios de pesquisa americanos, o que possibilitou a troca de informações e até os desenvolvimentos de pesquisas em conjunto usando computadores remotos (MENDES, 2016).

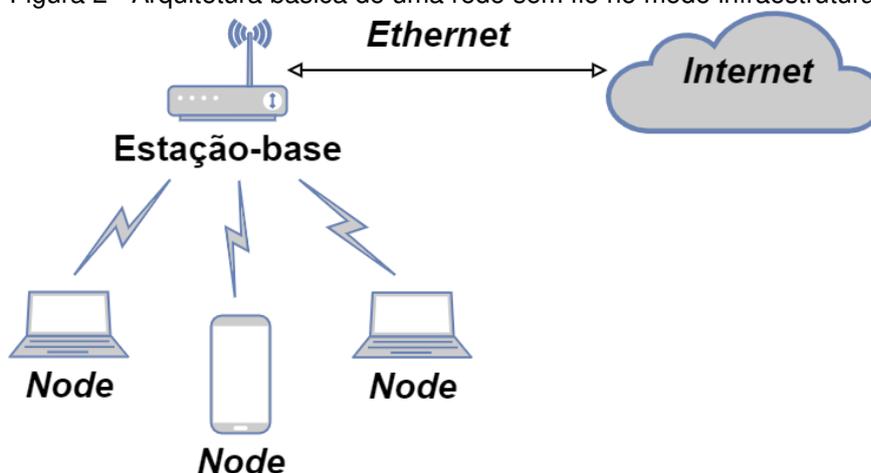
Redes de computadores são um conjunto de dois ou mais dispositivos eletrônicos, também denominados de nós, que estão interligados por um sistema de comunicação (*hardware*) no qual são implementados um conjunto de regras, os protocolos de rede (*software*), com o objetivo de compartilhar recursos de *hardware*, *software*, informações e serviços por meio de conexões que podem ser estabelecidas de forma física, cabos de rede, ou sem fio (MENDES, 2016; MORIMOTO, 2008).

As redes sem fio são caracterizadas por não utilizar cabos metálicos ou fibra óptica para estabelecer a interligação entre os nós da rede, em seu lugar a interligação é feita por ondas eletromagnéticas que se propagam pelo ar. Graças a essa característica, houve redução no custo de interconexão e possibilitou a mobilidade dos nós de rede (BUNGART, 2017).

Existem várias formas para classificar uma rede sem fio, uma das mais comuns é quanto a sua área de abrangência que podem ser: uma rede local, em inglês *Local Area Network* (LAN) utilizada em rede doméstica; uma rede metropolitana, em inglês *Metropolitan Area Network* (MAN) usada por provedores de serviço de *internet*; e as redes de longa distância, em inglês *Wide Area Network* (WAN) que são utilizadas para interligar as redes MAN, também denominadas de *backbone* (VENTURY, 2016).

Outra forma de classificar uma rede de computadores é quanto aos seus modos de operação. No modo infraestrutura, os nós para terem acesso aos serviços de rede precisam se conectar a uma estação-base, também denominada de ponto de acesso, em inglês *Access Point* (AP), sendo responsável pelo serviço de atribuição de endereço e roteamento de pacotes (KUROSE; ROSS, 2013). Na Figura 2 é ilustrada de uma rede no modo infraestrutura.

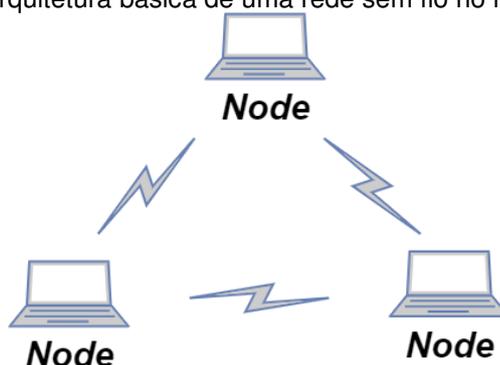
Figura 2 - Arquitetura básica de uma rede sem fio no modo infraestrutura.



Fonte: Adaptado de Tanenbaum (2011).

O segundo modo de operação, denominado de *Ad Hoc*, não existe a necessidade de uma estação-base, os próprios nós precisam prover os serviços de rede tais como roteamento, atribuição e tradução de endereços. Nesse modo de operação, os nós transmitem diretamente uns para os outros (TANENBAUM, 2011). Na Figura 3 é ilustrada uma rede *Ad hoc*.

Figura 3 - Arquitetura básica de uma rede sem fio no modo Ad hoc.

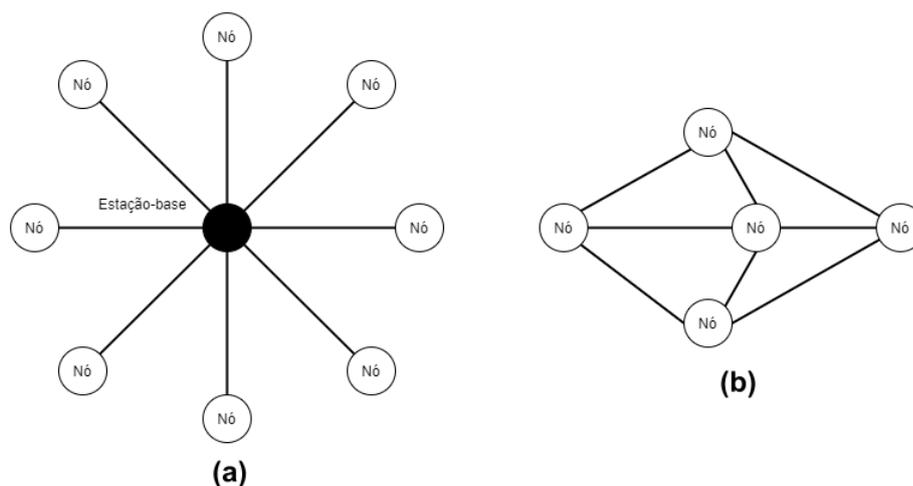


Fonte: Adaptado de Tanenbaum (2011).

Na topologia em estrela, as transmissões de dados ocorrem apenas entre os nós e a estação-base responsável por gerenciar toda a rede. Nessa topologia, a comunicação ocorre em salto único e apresenta alta eficiência energética favorecendo o uso em dispositivo alimentado por bateria, mas que tem alcance limitado pela tecnologia de transmissão utilizada (PAAVOLA; LEIVISKÄ, 2012).

Na topologia ponto a ponto ou em malha, as transmissões de dados podem ser estabelecidas entre quaisquer nós, desde que estejam dentro do raio de cobertura um do outro. Nessa topologia, a comunicação ocorre em múltiplo salto possibilitando estabelecer uma rede com alcance mais longo. Porém, devido a troca de mensagens entres os nós, o consumo de energia é alto nesse tipo de topologia (PAAVOLA; LEIVISKÄ, 2012). Na Figura 4 tem-se a ilustração das topologias (a) em estrela e (b) em malha.

Figura 4 - Exemplos de topologias do tipo estrela (a) e em malha (b).



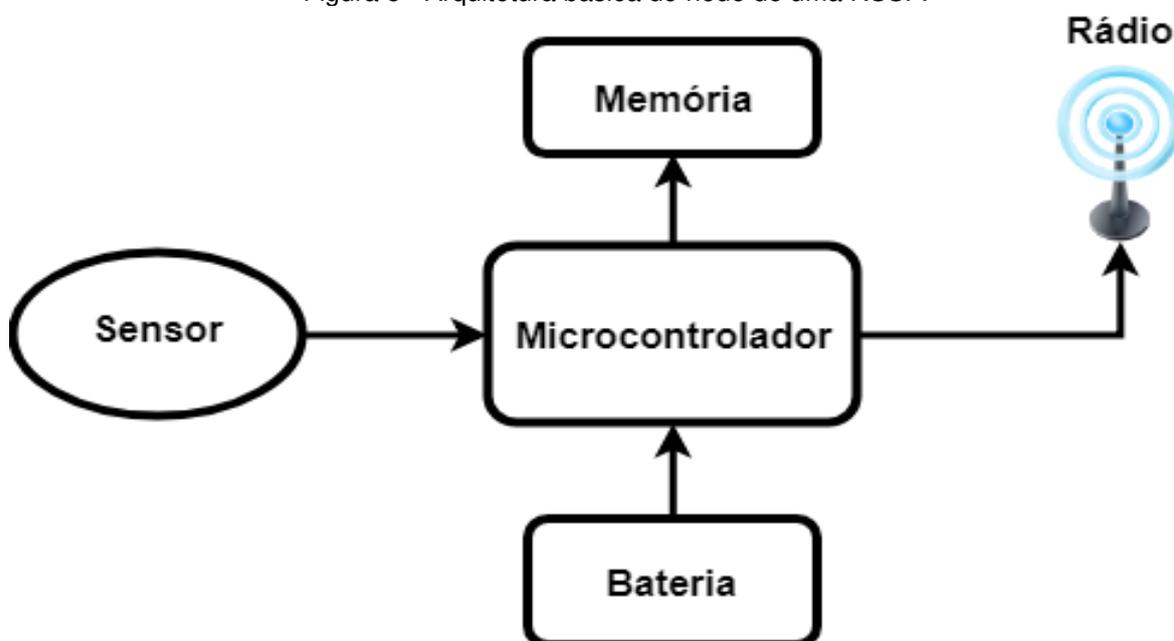
Fonte: Adaptado de Paavola e Leiviskä (2012).

As RSSF implementam um tipo especial de redes de comunicações *Ad hoc*, assim caracterizada porque seus nós têm a capacidade de comunicar-se uns com os

outros sem necessidade de um roteador. As RSSF podem ter os seus nós fixos ou móveis, diferenciando-se das demais redes *Ad hoc* por apresentar um grande número de nós, nos quais executam funções autônomas e sua alimentação é feita por baterias (AKYILDIZ; SANKARASUBRAMANIAM; CAYIRCI, 2002).

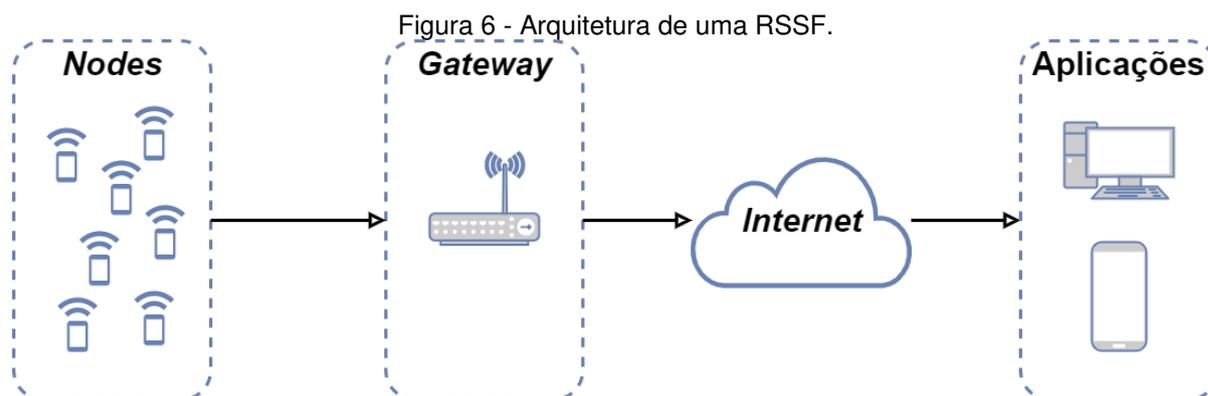
A arquitetura de uma RSSF é basicamente composta por um grande número de nós ou *nodes* conectados aos sorvedouros ou *sink* por meio de uma rede sem fio. Os *nodes* são dispositivos eletrônicos que têm como base um microcontrolador utilizado para controlar a coleta de dados por meio de sensores, processando e transmitindo por meio de um rádio (HU et al., 2010). Na Figura 5 é ilustrada uma arquitetura de um *node* RSSF.

Figura 5 - Arquitetura básica do node de uma RSSF.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Os *nodes* podem ser móveis, quando instalados em animais, ou fixos como os utilizados para medir a umidade do solo em uma plantação. Para que os dados coletados pelos *nodes* cheguem ao servidor de BD é preciso que seja estabelecida uma conexão dos *nodes* com o *Gateway*, geralmente devido à distância ou topologia do terreno não é possível realizar essa conexão de forma direta. Para contornar esse problema os protocolos de rede desenvolvidos para as RSSF irão estabelecer conexão com outros *nodes* mais próximos para que eles sirvam de caminho até *Gateway* (HU et al., 2010). Na Figura 6 é ilustrado o modelo de uma RSSF.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Marinho et al. (2016) apresentaram uma solução para agricultura de precisão baseada em tecnologias de rede de sensores sem fio para monitoramento das variáveis ambientais, temperatura e umidade do ar, e a umidade do solo. Também foi monitorada a qualidade do ar com um sensor para os gases GLP, CO, fumaça, CH₄, álcool, H₂ e propano. Nesse trabalho foi utilizada uma RSSF em topologia estrela.

Cavalcanti, Correia e Brito (2020) propuseram o uso de uma RSSF para monitorar remotamente a umidade do solo de uma área irrigada na região do Vale do Médio São Francisco com objetivo de reduzir o uso dos recursos hídricos. Os resultados apresentados apontaram que a solução proposta é capaz de determinar o momento correto que a área monitorada necessita de irrigação.

O aumento populacional em todo o mundo tem pressionado a agricultura para aumentar sua produtividade, fazendo com que sejam introduzidas novas tecnologias que deem suportes às atividades de tomada de decisão. Uma proposta para esse problema foi apresentada por Popescu et al. (2020) na qual a integração das tecnologias de veículos aéreos não tripulados (VANTs), RSSF terrestres inteligentes e IoT para o monitoramento de safras em agricultura de precisão provou ser uma solução eficiente para coleta de dados, controle, análise e suporte a decisão em tais aplicações.

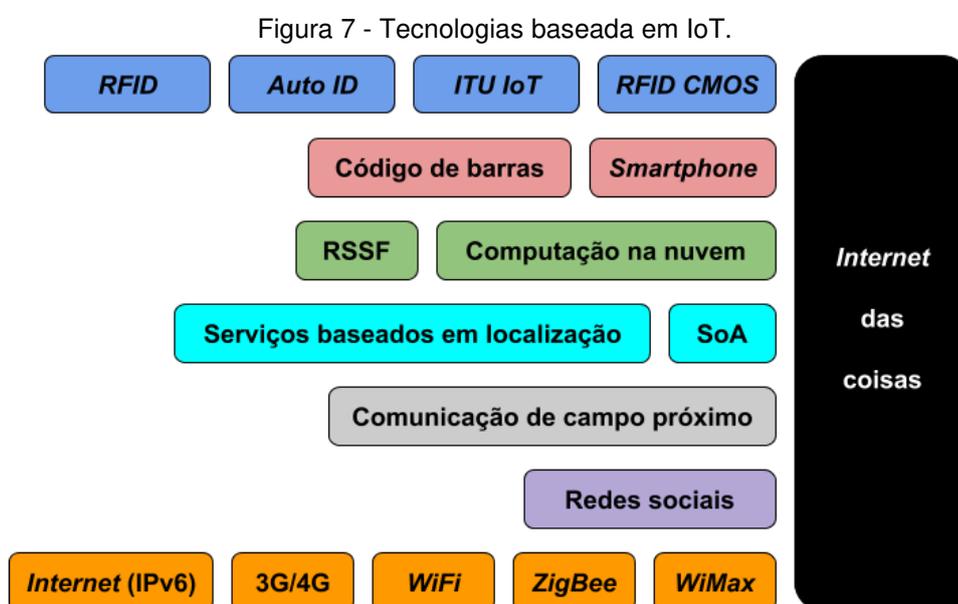
2.6 Internet das Coisas

No final da década de 1990 o pesquisador do MIT, Kevin Ashton, estabeleceu o termo *Internet das Coisas* (em inglês, *Internet of Things* - IoT) (ASHTON, 2010). A IoT foi inicialmente definida como sendo uma infraestrutura de rede que inter-relaciona as tecnologias de identificação por radiofrequência (em

inglês, *Radio-Frequency IDentification - RFID*), sensores, atuadores e dispositivos de localização (GPS) e de comunicação. Com a IoT, uma variedade de objetos físicos e dispositivos ao nosso redor passaram a ter identidade e acesso à *internet* para que seja possível trabalharem em conjunto na busca de um objetivo em comum (XU; HE; LI, 2014).

Além do termo IoT, os conceitos que permeiam a *internet* das coisas também passaram a ser referenciados como: *internet* física, computação ubíqua, comunicação Máquina-a-Máquina (em inglês, *Machine-to-Machine - M2M*), Rede das Coisas (em inglês, *Web of Things*), RSSF, entre outros (CARRION; QUARESMA, 2019).

As RSSF é outra tecnologia fundamental na IoT de sensores inteligentes utilizados em aplicações de monitoramento médico, industrial, tráfego e ambiental como a da agricultura e pecuária de precisão. Além disso, muitas outras tecnologias e dispositivos como códigos de barras, *smartphones*, redes sociais e computação em nuvem estão sendo usados para formar uma extensa rede de suporte à IoT (XU; HE; LI, 2014). Na Figura 7 é ilustrado um painel com conjunto de tecnologias desenvolvidas com base na IoT.



Fonte: Adaptado de Xu, He e Li (2016).

A tecnologia de identificação por radiofrequência *RFID* é uma forma de comunicação sem fio utilizada para rastrear e identificar objetos (SHOBHA et al., 2017). Já a *RFID CMOS* é uma variação da *RFID* na qual é empregada a tecnologia de circuito integrados de baixa potência *CMOS* (JAMALI; RANASINGHE; COLE,

2005). A ITU IoT é a *International Telecommunications Union* e a *Auto ID* é uma rede de pesquisa formada por laboratórios acadêmicos na área de IoT (AUTO-ID LABS, 2020).

A comunicação de campo próximo (em inglês, *Near Field Communication - NFC*) é uma tecnologia que só permite a comunicação entre dois dispositivos com uma aproximação de curta distância (SHOBHA et al., 2017).

Os serviços baseados em localização (em inglês, *Location-Based Services LBS*) são caracterizados como qualquer serviço que faça uso de dados de dispositivo de localização (GPS) para implementar suas funcionalidades (SCHILLER; VOISARD, 2004). SoA é o acrônimo de *Service-Oriented Architecture*, uma abordagem para construção de soluções que facilita a troca de serviços entre aplicações (HASHIMI, 2003).

O *ZigBee* é um padrão de rede confiável construído para comunicações de dispositivos sem fio com baixo consumo de energia e baixas taxas de transmissão (GTA UFRJ, 2020). WiMAX acrônimo para *Worldwide Interoperability for Microwave Access* é um padrão estabelecido pela WiMAX fórum como uma tecnologia sem fio sendo uma alternativa às conexões por cabo ou DSL² (TELECO, 2020).

Aplicações de AP são complexas pois envolvem uma ampla gama de ambientes difíceis de controlar. Os sistemas para essas aplicações precisam ser subdivididos em níveis hierárquicos nos quais cada um pode ser composto por dispositivos com sensores e/ou atuadores. Esses requisitos podem ser atendidos pelas infraestruturas desenvolvidas para a IoT (FERRÁNDEZ-PASTOR et al., 2016).

Lin; Lee e Lin (2016) investigaram fatores que poderiam influenciar a adoção da tecnologia IoT na cadeia de abastecimento agrícola da China. Os resultados indicaram que fatores como a resistência dos colaboradores e as incertezas não influenciaram a adoção da IoT. Já fatores técnicos como complexidade, compatibilidade, benefício percebido e custo tem uma influência negativa na adoção, mas que podem ser contornados com fatores organizacionais e ambientais.

PSV (2018) propôs um sistema de irrigação baseado em nuvem para agricultura no qual são utilizadas tecnologias IoT para processar continuamente informações de sensores de temperatura e a viscosidade que monitora o ar

² *Digital Subscriber Line* ou linha digital de assinante são tecnologias usadas para a transmissão de dados digitais (*internet*) por meio de linhas telefônicas.

circundante as áreas a serem irrigadas. Esse sistema permite que os pecuaristas definam a escolha das melhores opções de plantio, tratamento e colheita.

As tecnologias da IoT também foram utilizadas para desenvolver um sistema de rega otimizado para safras agrícolas no qual foi empregado uma rede de sensores sem fio com gerenciamento de dados via aplicativos para *smartphones* e/ou aplicativos *web*. O sistema também utilizava tecnologias de mineração de dados para analisar os dados e prever as temperaturas, e umidade do solo, ideias para o crescimento das safras (MUANGPRATHUB et al., 2019).

Um sistema de monitoramento do comportamento de vacas baseado em tecnologias IoT foi implementado utilizando um acelerômetro triaxial associado aos módulos de radiofrequência que envia os dados coletados para um algoritmo de classificação de atividades comportamentais. O sistema IoT proposto forneceu dados precisos do comportamento das vacas, tornando possível que o algoritmo classifique corretamente os comportamentos inativos como em pé ou deitado e comportamentos ativos como caminhada normal ou ativa (WANG et al., 2019).

Avanços na gestão agrícola têm sido impulsionados com a chegada da IoT na agricultura de precisão. Isso foi possível graças à natureza altamente escalável, interoperável, abrangente e aberta tecnologias com base na IoT proporcionam. Uma dessas tecnóloga é LoRaWAN, uma rede de longa distância e de baixa potência implementa um protocolo de transmissão projetado pela LoRa *Alliance* no qual requer baixa manutenção e reduzido consumo, tornando-a ideal para grandes redes de sensores (DAVCEV et al., 2018).

2.7 Rede LoRa

Junto com o desenvolvimento da IoT e das RSSF também surgiram novas dificuldades a serem superadas para garantir sua implementação. Um destes desafios é garantir a conectividade em uma rede de altíssima densidade, na qual pode-se ter dispositivos dos mais diversos fabricantes implementados com tecnologias diferentes. Outro grande problema foi com relação ao uso eficiente de energia, que na grande maioria dos dispositivos utilizados nas RSSI são alimentados por baterias limitando seu tempo de vida (LAVRIC; POPA, 2017).

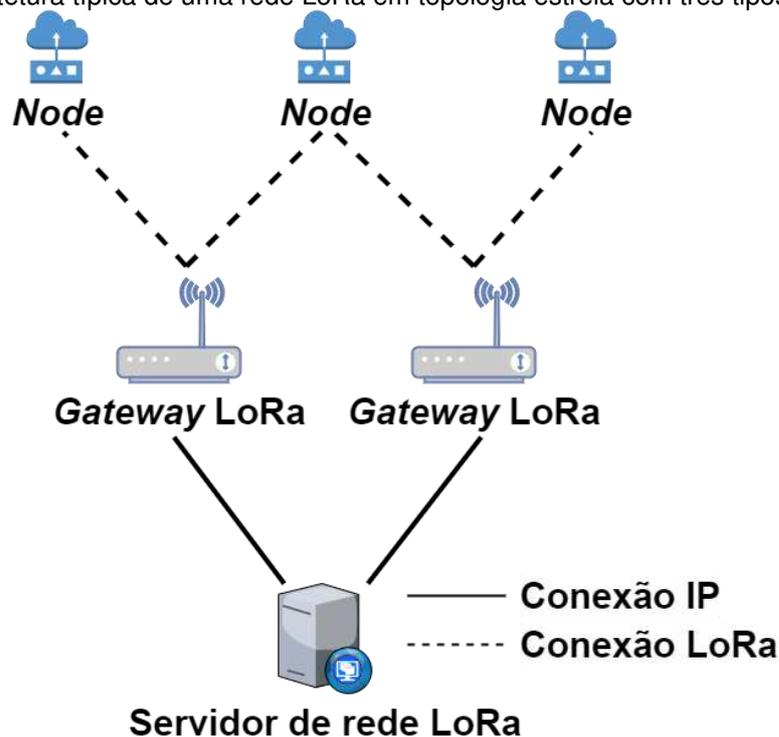
Uma proposta para contornar esses desafios foi apresentada pela empresa Semtech desenvolveu a tecnologia LoRa (em inglês, *Long Range*). A LoRa é a camada física do protocolo de rede de longo alcance (em inglês, *Long Range Network*

Protocol - LoRaWAN), definida pela LoRa *Alliance*, no qual permite a transferência de dados ao longo de dezenas de quilômetros (LAVRIC, 2019).

A LoRa *Alliance* idealizou a tecnologia LoRa para uso em dispositivos alimentados por bateria, nos quais o consumo de energia é de extrema importância, e requer comunicações de longo alcance com baixo consumo de energia. A camada física desenvolvida pela Semtech permite comunicações de longo alcance nas bandas ISM³ de 433, 868 e 915 MHz. No Brasil, a frequência permitida para uso em ISM é de 915 MHz (AUGUSTIN; CLAUSEN; TOWNSLEY, 2016).

A taxa de transmissão de dados pode atingir velocidades entre 300 bps e 50 kbps (LAVRIC; POPA, 2017) com carga útil que pode variar entre 2 a 255 octetos (AUGUSTIN; CLAUSEN; TOWNSLEY, 2016). Na Figura 8 é ilustrada uma arquitetura de rede LoRa.

Figura 8 - Arquitetura típica de uma rede LoRa em topologia estrela com três tipos de dispositivos.



Fonte: Adaptado de Augustin, Clausen e Townsley (2016).

A técnica de modulação utilizada na rede LoRa é a modulação de espalhamento espectral derivada da tecnologia de espectro de propagação de *chirp*

³ ISM, do inglês *Industrial Scientific and Medical*, são bandas de rádio reservadas internacionalmente para o uso em equipamentos industriais, científicos e médicos com radiocomunicação de radiação restrita.

(em inglês, *Chirp*⁴ *Spread Spectrum* - CSS) empregada para implementar redes de área ampla e baixa potência (em inglês, *Low Power Wide Area Network* - LPWAN) (REYNDERS; POLLIN, 2016).

A tecnologia de redes LPWAN complementa as tecnologias de redes sem fio de curto alcance, como *WiFi*, *Bluetooth* e *ZigBee* e são uma alternativa viável às redes de celulares para aplicações IoT. As redes LPWAN se sobressaem nas redes de celulares por sua capacidade de fornecer comunicação de longo alcance a milhares de dispositivos com recursos energéticos limitados e com custo reduzido (CATTANI; BOANO; RÖMER, 2017).

Outros protocolos de comunicação com propostas semelhantes para serem empregadas em IoT foram desenvolvidas e estão sendo implementadas dentre as quais destaca-se o *Sigfox* uma tecnologia proprietária, desenvolvida e fornecida pela empresa francesa *Sigfox* que promete uma capacidade de conexão de até um milhão de dispositivos com cobertura de 30 a 50 km em áreas rurais (AUGUSTIN; CLAUSEN; TOWNSLEY, 2016).

Lavric (2019) em sua pesquisa sobre a utilização dos dispositivos *IoT* na implementação de infraestrutura para cidades inteligentes, buscou estudar a escalabilidade da tecnologia LoRa e determinar o número máximo de sensores suportados nesse tipo de arquitetura de monitoramento e controle. Os resultados experimentais revelaram que a rede utilizada suportou 1500 dispositivos LoRa em um único canal.

Em Ma e Chen (2018) foi abordado o desenvolvimento de uma nova tecnologia de informação e comunicação denominada de agricultura inteligente que vem sendo usada para atender as necessidades de agricultores na coleta de informações, processamento de sinais, análise de dados e controle de equipamentos. Neste trabalho foi proposto uma plataforma inteligente de serviço baseada em RSSF com o objetivo de monitoramento ambiental para melhorar a eficiência da gestão agrícola, no qual fez uso de tecnologia de comunicação LoRa para resolver problemas de falha de comunicação e consumo de energia.

Ariza-Colpas et al. (2019) propuseram o desenvolvimento de uma plataforma que combina *hardware*, *software* e sistemas de comunicação baseada em padrões abertos para rastreamento e monitoramento de bovinos com objetivo de

⁴ *Chirt* é um sinal sinusoidal de aumento ou diminuição da frequência ao longo do tempo, modulados em frequência linear de banda larga e é propagada em faixa de frequência ISM.

solucionar problemas de perda de eficiência reprodutiva e roubo de animais. A solução proposta faz uso de tecnologias de sensores UMI para detecção de cio, GPS para rastreamento do animal no pasto e módulos de comunicação LoRa para transferir os dados a longa distância.

Munoz et al. (2020) também apresentaram um sistema para monitoramento automático do comportamento de bovinos em campos de pastagem com o objetivo de identificar estado de estro ou patologias como claudicação entre outras. Uma das dificuldades para a identificação do comportamento em ambientes naturais são a necessidade de cobrir grandes áreas de pasto e a distância do observador para o animal. Outros aspectos que também interferem são fatores climáticos como tempestades, neblinas e baixa luminosidade no período da noite. A solução apresentada faz uso de sensores de movimento UMI, GPS e um transceptor LoRa embarcado no animal por meio de colares, tornozeleiras e brincos.

2.8 Sistema de navegação inercial

A Unidade de Medida Inercial - UMI (em inglês, *Inertial Measurement Unit* - IMU) é um sensor que tem por objetivo registrar os efeitos da ação de forças resultante da alteração do estado inercial de um objeto sobre os quais estas forças são aplicadas (TORRES, 2020).

Os UMIs são constituídos da combinação de giroscópios e acelerômetros que são sensores inerciais. Os giroscópios têm a capacidade de registrar a rotação angular em relação a um eixo, e para isso, pode-se usar três efeitos físicos: o momento angular de um rotor giratório, o efeito *Sagnac* em feixes de luz em contra propagação, ou o efeito Coriolis em uma massa vibrante (CUREY, 2013).

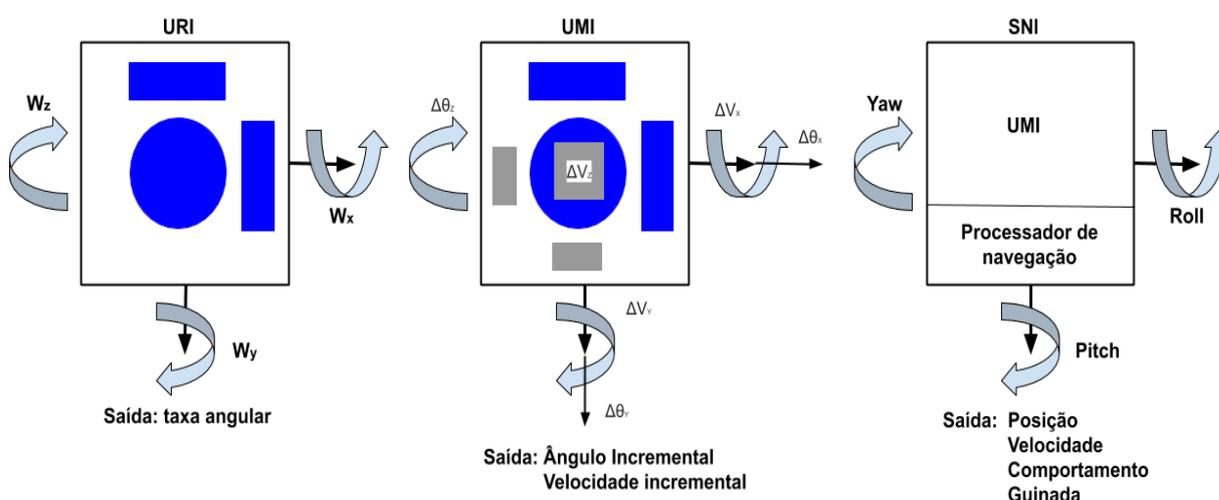
Já o acelerômetro pode ser do tipo linear que registra a aceleração em relação à queda livre ao longo de seu eixo de entrada usando uma massa pendular ou uma estrutura vibrante, ou pode ser do tipo angular mede a aceleração em torno do seu eixo de entrada usando *designs* semelhantes aos do acelerômetro linear, mas com pendularidade zero ou com um toro cheio de fluido (CUREY, 2013).

A combinação de três giroscópios, um para cada eixo mutuamente ortogonais para registro da rotação angular, em um único sistema cria uma unidade de referência inercial - URI (em inglês, *Inertial Reference Unit* - IRU). As URIs são usadas para estabilização e direcionamento. Adicionando mais três acelerômetros para registrar a aceleração linear a uma IRU, obtém-se uma IMU. As UMIs são usadas

para estabilização, determinação do posicionamento e controle de voo (CUREY, 2013).

A adição de um computador de navegação a uma IMU, cria-se um sistema de navegação inercial - SNI (em inglês, *Inertial Navigation System - INS*) que é usado para detecção de padrão de movimento, dados sobre velocidade e posicionamento para controle de atitude e direção. Na Figura 9 são ilustrados os sistemas inerciais.

Figura 9 - Sistemas inerciais, URI, UMI e SNI.



Notas:

O eixo Z positivo está entrando no papel

■ = Dispositivo de medição de rotação angular

■ = Dispositivo de medição de aceleração linear

Fonte: Adaptado de Curey (2013).

Atualmente nos sistemas mais completos, além dos três acelerômetros e os três giroscópios, também passou-se a colocar no conjunto um magnetômetro, assim o sistema que tinha seis graus de liberdade passou a ter nove graus, ou 9 DoF. O desempenho da UMI tipicamente definido pela largura de banda, fator de deriva, sensibilidade e taxa de amostragem entregues pelo sensor vai depender da tecnologia adotada na sua construção (COVIELLO; AVITABILE, 2020).

Existem várias tecnologias que podem ser utilizadas na construção dos sensores giroscópio, tais como: giroscópio a laser (efeito Sagnac), giroscópio interferométricos de fibra ótica (FOG), giroscópio vibratórios Coriolis (CVG) que podem ser do tipo ressonador hemisférico de alto desempenho e alto custo (HRG) ou baseado na tecnologia sistemas microeletromecânicos (em inglês, *Micro Electro-Mechanical Systems - MEMS*) construídos em *chips* de silício ou quartzo de baixo custo (CUREY et al., 2004).

Para uma boa estabilidade da saída do sensor, faz-se necessário um desvio mínimo do mesmo em especial o do seu giroscópio, uma vez que não se pode reiniciá-lo durante a fase de medição com informações de alto desempenho e longa duração. No entanto, os sensores baseados na tecnologia MEMS tem liderado o mercado em dispositivos móveis e consoles de jogos graças a seu custo e tamanho muito menor quando comparado com sistemas baseados em FOG mesmo apresentando qualidade de sinal inferior (CHULKOV; GRABS; IPATOV, 2020).

A cada dia mais aplicações estão fazendo uso dos sensores inerciais. Já pode-se encontrar mais de uma dúzia de sensores inerciais aplicados nos vários sistemas automotivos, desde o acionamento de *airbag*, sistemas automáticos de parada, controle eletrônico de estabilidade, detecção de rolagem e navegação (CUREY, 2013).

Outras aplicações para os UMIs são em celulares para detectar a orientação da tela ou no sistema de estabilização de imagem das câmeras. A comunidade científica aplicou os UMIs na sonda gravitacional B para validar as previsões da teoria geral da relatividade de Einstein. O telescópio Hubble usa giroscópios no sistema de apontamento e estabilização no espaço (CUREY, 2013). Esses sensores estão sendo usados em área militar para guiar mísseis, bombas e munições e nos sistemas de navegação de veículos aéreos, terrestres, marinhos e submarinos, como também nos sistemas de estabilização de satélites espaciais (CUREY, 2013).

Tijssen et al. (2020) propuseram dois algoritmos de detecção automática para classificar a marcha de cavalos utilizando dados de sinais de aceleração e velocidade angular registrados por dois sensores UMI fixados na parede lateral dos cascos dianteiro direito e traseiro direito. Os algoritmos demonstraram serem altamente promissores para fins de classificação da marcha.

Rossetto (2019) propôs um algoritmo para identificar os bocados desferidos durante a atividade de pastejo utilizando dados de um sensor UMI de um celular. Os resultados apontaram que o algoritmo proposto obteve um acurácia entre 76,48 e 91,10%, superior ao método utilizando registradores de movimento mandibulares (IGER) e mostrou-se eficaz na detecção de bocados em experimentos de pastejo.

Em Peng et al. (2019) foi proposto o desenvolvimento de uma Rede Neural Recorrente (RNR) com um modelo de memória longa de curta duração com o objetivo de monitorar e classificar padrões de comportamento utilizando dados obtidos de uma

UMI. A RNR foi treinada para classificar os comportamentos de pastagem, ócio, ruminação em pé e deitado, lambendo sal, caminhando, lambendo-se e dando cabeçada. Os resultados revelaram que a RNR proposta obteve acerto de 97,8% para o comportamento ingestivo pastejo, 88,7% para ócio, 88,4 e 92,9% para ruminação deitado e em pé respectivamente, 94,4% para lambendo sal, 84,8% caminhando, 80,3% lambendo-se e 81,9%, mostraram-se melhores quando comparados com outros modelos, demonstrando uma classificação do comportamento do gado razoável.

2.9 Fotoplestismografia

Pesquisadores das mais diversas áreas das ciências estão cada vez mais interessados na fotoplestismografia (em inglês, *photoplethysmography* - PPG), utilizada para estimar o fluxo sanguíneo da pele usando luz infravermelha por causa de suas vantagens como ferramenta de diagnóstico não invasiva, barata e conveniente (ELGENDI, 2012).

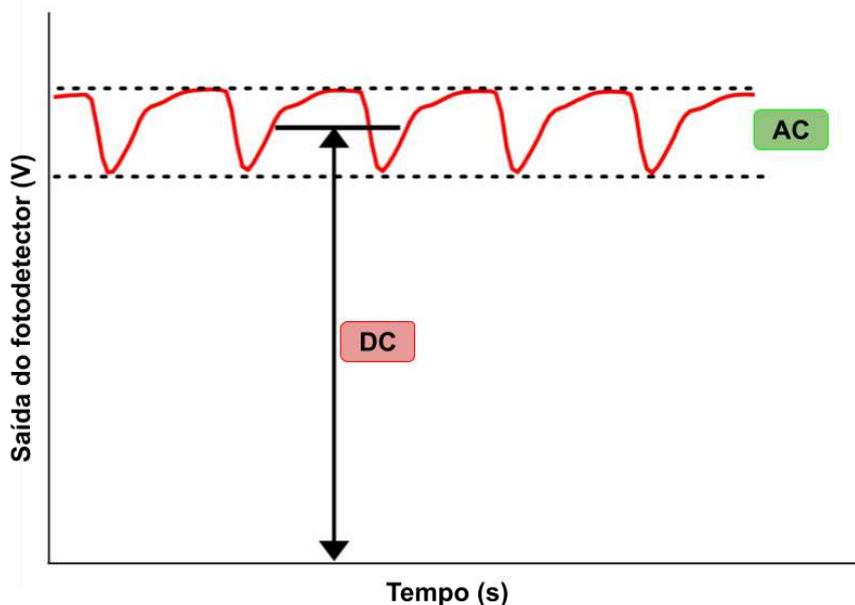
A fotoplestismografia é uma técnica utilizada para detectar alterações no volume sanguíneo no leito microvascular do tecido por meio de um dispositivo fotoelétrico. A técnica de pletismografia fotoelétrica foi descrita pela primeira vez por Alrick Hertzman em 1938, no qual foi reconhecido que um pletismografia fotoelétrico poderia ser usado para monitorar o tônus simpático vascular (SHELLEY; SHELLEY, 2001).

O pletismógrafo fotoelétrico é um dispositivo extremamente simples que são construídos com base em dois componentes, um diodo emissor de luz (LED) para gerar um sinal eletromagnético (luz) e um sensor fotossensível (Fotodiodo) com a função de medir o sinal gerado pelo LED. Pode ser adotadas duas técnicas: a pletismografia de transmissão na qual o fotodiodo é colocado de frente para a fonte de luz, e a pletismografia reflexiva em que o fotodiodo é colocado ao lado da fonte de luz (SHELLEY; SHELLEY, 2001).

Para descrever o sinal PPG foram utilizadas algumas nomenclaturas, das quais destaca-se a componente AC, uma modulação do sinal PPG, em que os pesquisadores supuseram como sendo a resultante da pulsação causada apenas pela variação do volume de sangue arterial, e a componente DC como a resultante da absorção constante dos tecidos (osso, gordura e músculos). É da componente AC que

é derivada a frequência cardíaca (ALIAN; SHELLEY, 2014). Na Figura 10 é ilustrado um sinal PPG com suas componentes AC e DC.

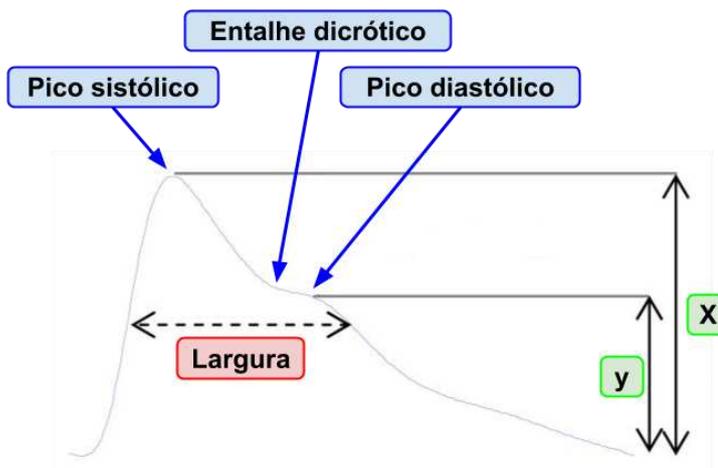
Figura 10 - Componentes de uma forma de onda PPG sem tratamento.



Fonte: Adaptado de Alian e Shelley (2014).

No processo de extração de informação do sinal PPG é utilizada a borda do pulso PPG que comumente é dividida em duas fases. A primeira fase, denominada de anacrótica, ocorre na borda ascendente do pulso e está relacionada principalmente com a sístole do ciclo cardíaco. Já a segunda fase, denominada de catacrótica, ocorre na borda descendente e está relacionada à diástole (ELGENDI, 2012). Na Figura 11 é ilustrado um pulso típico do sinal PPG.

Figura 11 - Pulso típico do sinal PPG.



Fonte: Adaptado de Elgendi (2012).

Os pontos em destaque na Figura 11 trazem informações importantes do sinal PPG. O X é a amplitude sistólica do sinal PPG, um indicador das mudanças pulsáteis no volume de sangue causada pelo fluxo de sangue arterial ao redor do local de medição. Y é a amplitude diastólica do sinal PPG (ELGENDI, 2012).

Na dissertação “Algoritmos para Obtenção de Frequência Cardíaca e Respiratória em Bovinos”, de Bressan (2016), é apresentado um algoritmo para a obtenção da FC e FR em bovinos utilizando dados de um sinal PPG gerados por um sensor oxímetro. O sinal PPG é coletado do animal e enviado para um computador no qual foi implementado o algoritmo de derivação da FC e FR.

No artigo “*Cattle health monitoring system using Arduino and LabVIEW for early detection of diseases*”, de Swain, K. B., et al. (2017), publicado na 3ª ICSSS descreveu-se o desenvolvimento de um dispositivo para monitoramento e comparação de variáveis fisiológicas de bovinos. Os dados coletados remotamente são comparados com um padrão de dados de referência pelos quais são detectadas alterações que podem ser causadas por doenças nos animais monitorados. No desenvolvimento do dispositivo foram utilizados módulos Arduino UNO, Arduino NANO, rádio Xbee e diferentes tipos de sensores.

Cugmas et al. (2020) propuseram o uso da fotoplestismografia como um método alternativo, acessível e conveniente para detecção de estado de cio em bovinos. Foram analisadas a linha de base e componente DC do sinal PPG em duas profundidades de medição 4 e 8 cm da superfície vulvar com o objetivo de verificar se existem diferenças significativas na cor da mucosa vaginal em função do estado de cio. Os resultados apontaram que na profundidade de 8 cm foram observadas variações significativas na cor do muco em função do estado de cio do animal.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Nesta seção será apresentada a metodologia adotada para a realização desse trabalho, bem como serão listados os materiais, equipamentos, infraestruturas de laboratórios e animais utilizados nos testes de desenvolvimentos, também foi realizada uma prova de conceito com a Plataforma IoT para validar o seu funcionamento.

O desenvolvimento da plataforma proposta nesta pesquisa foi dividido em três etapas: desenvolvimento teórico da plataforma, implementação e testes dos protótipos e estudos de caso para validação do funcionamento do *hardware* e *softwares* desenvolvidos e implementados nas etapas anteriores.

3.1 Local do experimento

O trabalho foi realizado no Laboratório de Construções Rurais e Ambiente (LaCRA) da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, (UAEA) na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), localizado na cidade de Campina Grande, no estado da Paraíba, Brasil. O local tem latitude 7° 12' Sul e longitude de 35° 54' Oeste, com altitude média de 512 metros.

Na primeira etapa, desenvolveram-se os projetos conceituais de *hardware*: esquema elétricos do circuito e o *layout* da placa de circuito impresso (PCI) dos dispositivos IoT (*Nodes*). Em seguida, implementou-se três protótipos do *hardware* e iniciou-se a elaboração do *firmware* para serem utilizados na segunda etapa.

Na segunda etapa do trabalho, que consistiu na execução de testes em campo para ajustes e correções do funcionamento do hardware e firmware, foi realizada com os animais pertencentes ao rebanho bovino do Laboratório de Bovinocultura do setor de Bovinocultura de Leite do Departamento de Zootecnia (DZ) ligado ao Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Campus II - Areia - PB.

O município de Areia está localizado na microrregião do brejo paraibano a 6° 58'12" de latitude sul e 35° 42'15" de longitude oeste com altitude de 573,0 m, clima quente e úmido do tipo As' segundo a classificação de Köppen com chuvas no período entre outono e inverno com precipitação anual entre 800,0 a 1600,0 mm.

Os primeiros testes da segunda etapa, iniciados em setembro de 2019 e perduraram até o mês de março de 2020, foram testados todos os componentes,

módulos e suas bibliotecas, placas de circuitos impresso e *firmware*. Após a conclusão dos testes, foi iniciada a verificação de todas as funcionalidades propostas para a validação da Plataforma IoT.

Na terceira etapa, foram realizados os primeiros testes de validação da Plataforma IoT entre os meses de setembro e outubro de 2020, também realizada no Laboratório de Bovinocultura da UFPB em Areias/PB.

3.2 Plataforma IoT

A definição de um *Node*, componente (1) da Plataforma IoT, utilizado neste trabalho refere-se ao conjunto formado por: *Node* (1) responsável por todo *hardware* do *Node*, um invólucro de proteção no qual o *Node* (1) é inserido com o objetivo de protegê-lo de choques mecânicos causados pela movimentação natural do animal e um cabresto de suporte para tornar possível o embarque do *Node* (1) no animal. No Apêndice A são ilustradas fotos com um animal utilizando o *Node* (1).

Estabeleceram-se que o *Node* (1) tivesse a capacidade de coletar e transmitir as variáveis fisiológicas da Frequência Cardíaca (FC) e Temperatura Superficial Corporal (TSC), dados de atividade comportamentais: pastando, ócio e deslocando-se (caminhando) e também de rastreamento (localização no pasto) em tempo real.

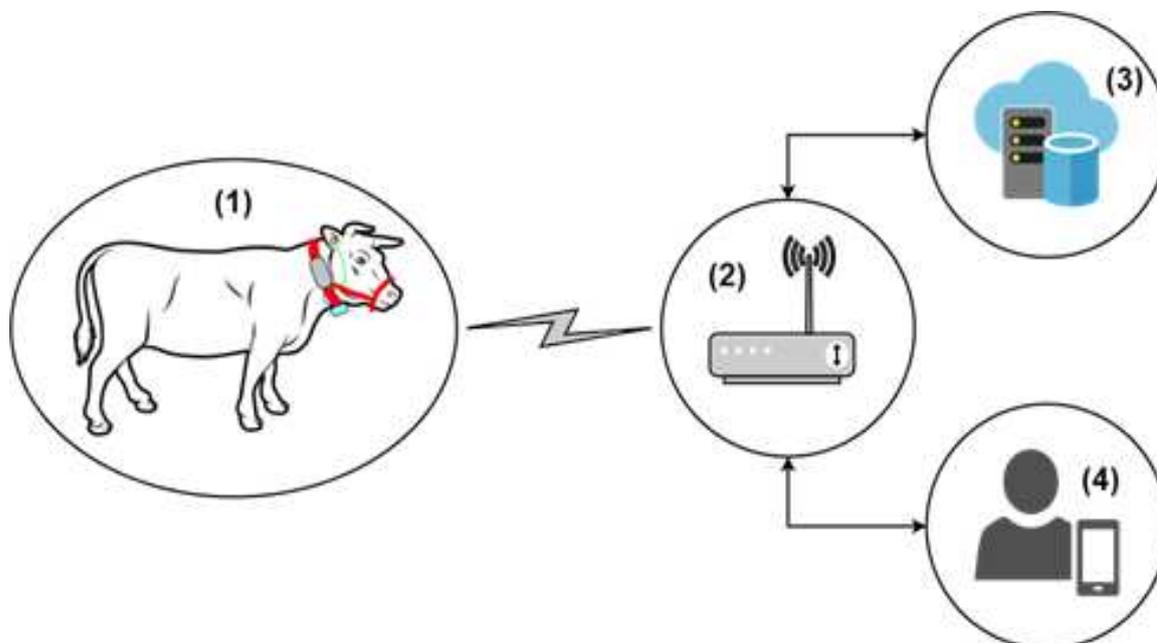
Os mesmos documentos do projeto também foram elaborados para o componente (2) da Plataforma IoT denominado de *Gateway*. O *Gateway* tem a função de interface de rede, entre a rede baseada na tecnologia de longo alcance LoRa (em inglês, *Long Range*) e a rede sem fio padrão 802.11 (ou WiFi) que está interligada à *internet* e na qual implementou-se o componente (3) da Plataforma IoT.

No componente (3), rodando na nuvem, implementou-se um servidor para o protocolo de mensagens MQTT, denominado de *Broker*, com a função de decodificar as mensagens recebidas dos *Nodes*. O componente (3) implementa também um banco de dados responsável por armazenar todos os dados enviados pelos *Nodes* que ficaram disponíveis para consulta dos aplicativos clientes, componente (4), da Plataforma IoT.

No componente (4) elaborou-se um aplicativo para apresentar as variáveis fisiológicas FC e TCS, os dados de rastreamento e do comportamento dos bovinos leiteiros monitorados no pasto ou confinados aos usuários do sistema, com o objetivo de facilitar o uso dessas informações na avaliação do nível de bem-estar do animal.

Na Figura 12 é ilustrada a visão conceitual da Plataforma IoT de rastreamento e monitoramento de bovinos proposta neste trabalho.

Figura 12 - Visão conceitual da plataforma IoT de rastreamento e monitoramento de bovinos a pasto.



Fonte: Elaborada pelo autor.

3.2.1 Nodes

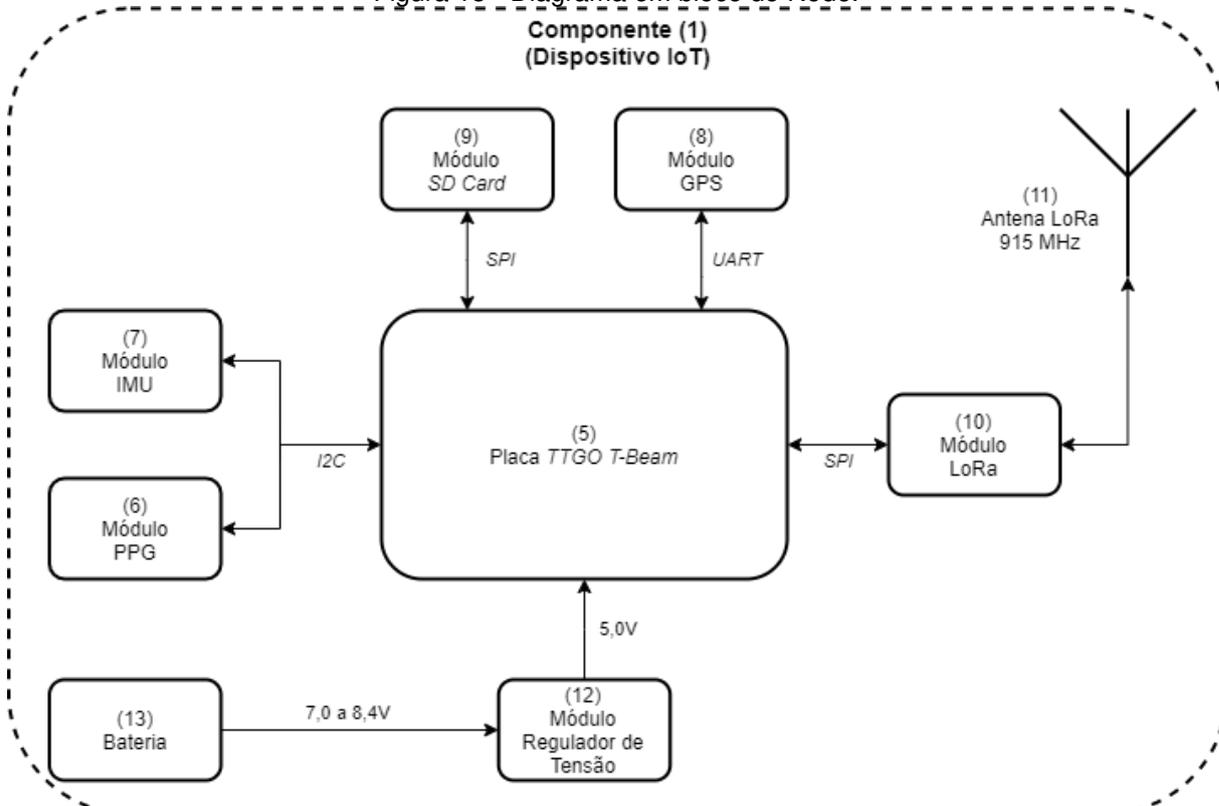
Desenvolveu-se um dispositivo baseado em tecnologias IoT com capacidade de coletar dados para as: variáveis fisiológicas FC e TSC; Registro de localização em campo (latitude, longitude, altitude e velocidade); Registro de atividades e estado do animal (pastando, ócio e caminhando). Na Figura 13 é apresentado o diagrama em bloco do *hardware* do *Node* (1) proposto neste trabalho.

Os *Nodes* (1) são responsáveis por coletar dados individualizados do animal monitorado por meio de sensores e módulos eletrônicos. Esses dados são tratados localmente para extrair informações sobre variáveis fisiológicas de comportamento e rastreamento e logo depois, as informações extraídas são enviadas via transceptor LoRa para o servidor conectado à rede *internet* no qual as informações serão armazenadas.

Adotou-se na implementação do *Node* (1) uma placa de rastreamento da série TTGO desenvolvida pela Xinyuan (*Shenzhen Xin Yuan Electronic Technology Co., Ltd*). A placa TTGO T-Beam (5) é construída em torno do *ESP32* da *Espressif Systems*, uma família de microcontroladores de baixo custo e consumo de energia

que emprega um microprocessador *dual-core Xtensa LX6* da *Tensilica* que já conta com *Wi-Fi* e *Bluetooth LE* integrados no próprio *chip* do *ESP32*.

Figura 13 - Diagrama em bloco do Node.

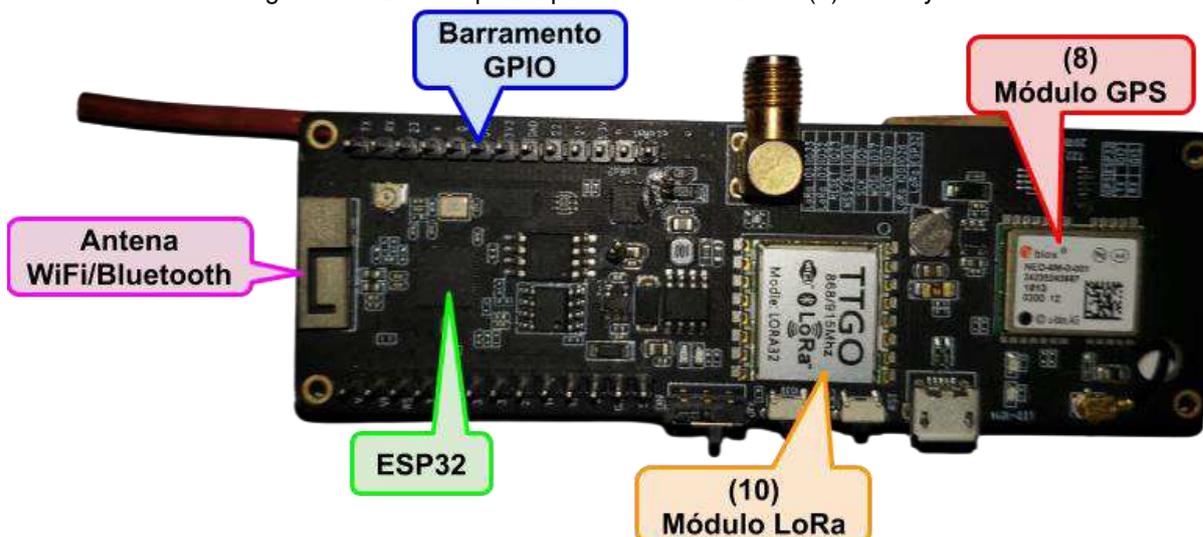


Fonte: Elaborada pelo autor.

Na placa *TTGO T-Beam* (5) já têm integrados uma memória do tipo *Flash* de 4 MB, um transceptor do tipo LoRa operando na frequência de 915 MHz e um GPS NEO-6M da U-blox (XINYUAN-LILYGO, 2020). Na Figura 14 é ilustrada a placa TTGO T-Beam (5) utilizada neste trabalho.

A placa *TTGO T-Beam* também conta com 26 pinos *GPIO* que podem ser usados para acesso aos recursos tais como, portas de comunicação seriais síncronas que implementam os protocolos de interfaces de periféricos serial (*Serial Peripheral Interface* - *SPI*) e circuito inter-integrado (*Inter-Integrated Circuit* - *I2C*) e portas de comunicação serial assíncrona do protocolo Receptor/Transmissor Universal Assíncrono (*Universal Asynchronous Receiver/Transmitter* - *UART*), conversores analógico digital (*ADC*) e um suporte para bateria do tipo Li-Ion de uma célula 18650.

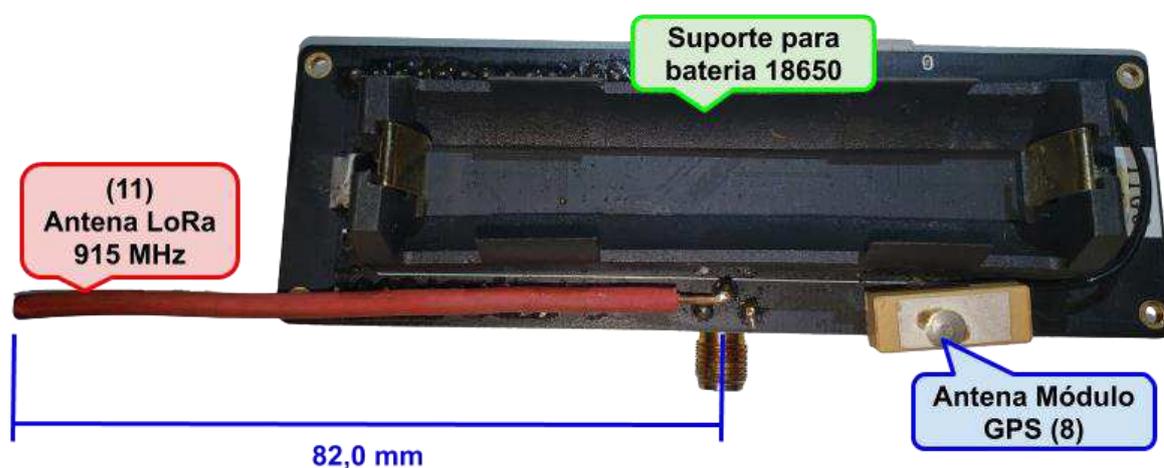
Figura 14 - Lado superior placa TTGO T-Beam (5) da Xinyuan.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na Figura 15 é ilustrada a parte traseira da placa TTGO T-Beam (5) (XINYUAN-LILYGO, 2020).

Figura 15 - Lado inferior da placa TTGO T-Beam (5) da Xinyuan.



Fontes: Elaborada pelo autor.

Os *Nodes* (1) são responsáveis por coletar as variáveis fisiológicas, comportamentais e de rastreamento. Para atender esses requisitos utilizou-se dois módulos sensores externos: a placa *TTGO T-Beam* (5), também denominada de *Shields*, responsáveis por capturar os sinais das variáveis fisiológicas e comportamentais e um módulo receptor GPS integrado a placa *TTGO T-Beam* (5) responsável pelos dados de localização do animal.

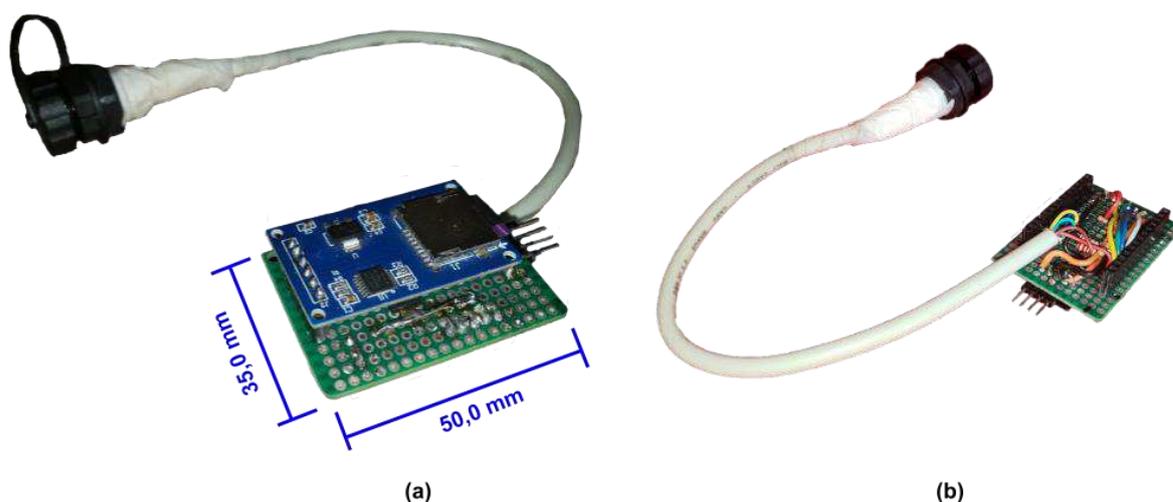
Para a conexão física e elétrica dos módulos externos (PPG, UMI, *SD Card*, Regulador de tensão), a placa *TTGO T-Beam* (5) foi desenvolvida e implementada

uma placa de interface, denominada de interface principal. Na Figura 16 (a) é ilustrada a interface principal criada para este trabalho.

A interface principal tem o objetivo de compatibilizar física e eletricamente o acesso aos pinos das portas SPI e I2C da placa *TTGO T-Beam* (5) por meio do barramento GPIO. A placa *TTGO T-Beam* (5) utiliza duas barras de pinos macho em 180° do tipo PH 13 x 1, conforme pode ser verificado na Figura 14, nas quais são inseridos os conectores do tipo FH 13x1 da interface principal.

Na Figura 16 (b) é ilustrada a parte inferior da interface principal na qual pode-se observar os conectores FH 13x1. Todos os componentes utilizados na montagem da interface principal estão montados em uma placa para protótipos universal de dupla face com dimensões de 50,0x35,0 mm, espessura de 1,6 mm fabricada em fibra de vidro (FR-4) com furos metalizados.

Figura 16- Interface principal que interliga os módulos externos à placa TTGO T-Beam.

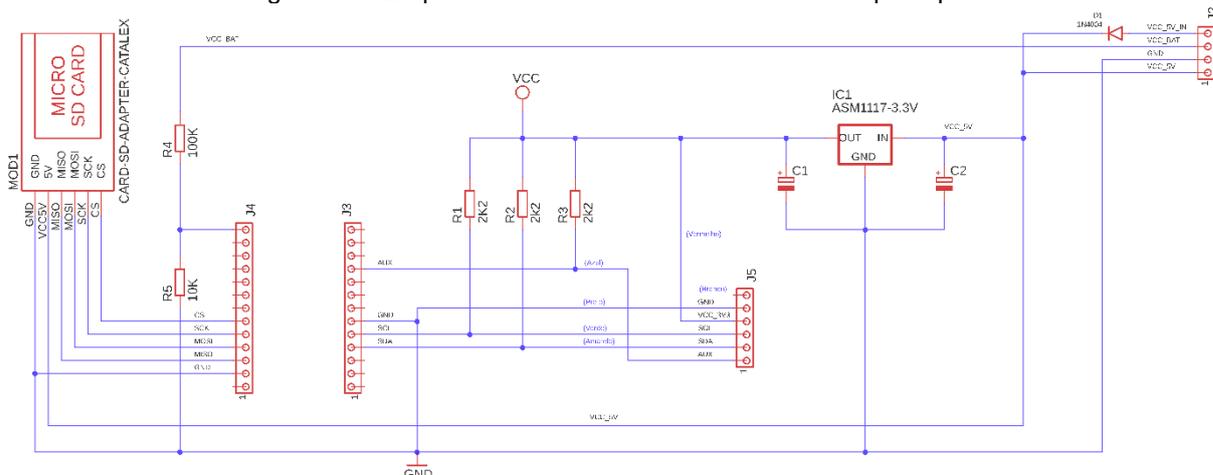


Fonte: Elaborada pelo autor.

A interface principal conta com mais dois conectores. Um conector fêmea tipo SP16-6P utilizado para conexão com os módulos sensores e uma barra de pino machos em 90° do tipo PH 4x1 utilizado para conexão com o módulo regulador de tensão.

Ainda conta também com um regulador de tensão ASM1117 com saída de 3,3 VS utilizada para alimentar os módulos sensores e um sinal de referência (VCC-BAT) para monitoramento da tensão da bateria. O esquema do circuito elétrico da interface principal é apresentado na Figura 17.

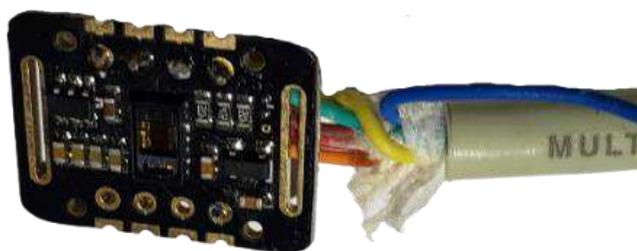
Figura 17 - Esquema do circuito elétrico da interface principal.



Fonte: Elaborada pelo autor.

O módulo PPG (6) utilizado na captura das variáveis fisiológicas FC e TSC faz uso do circuito integrado MAX30102 desenvolvido pela *Maxim Integrated*. Um *chip* sensor com capacidade de mensurar a FC e temperatura de contato de alta sensibilidade. Na Figura 18 é ilustrada a *shield* MAX30102 utilizada no *Node* (1) para coletar dados da FC e TSC do animal.

Figura 18 - Módulo MAX30102 para leitura de FC e TSC.

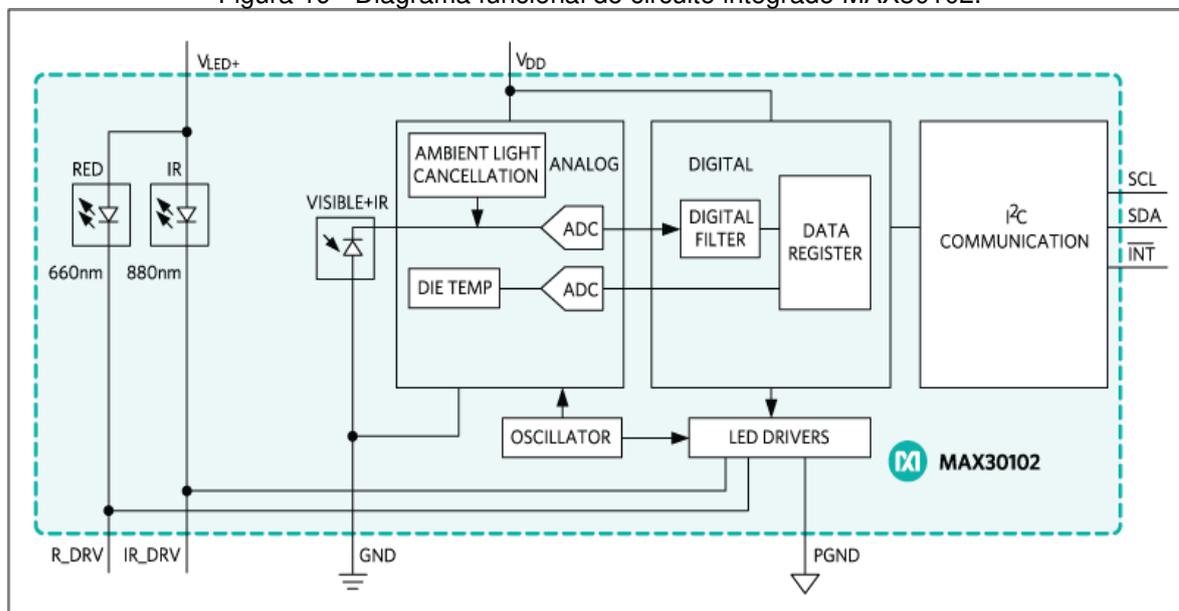


Fonte: Elaborada pelo autor.

Integrado no *chip* tem-se dois diodos emissores de luz (LED) os quais emitem luz nos comprimentos de onda de 660 nm (visível) e 880 nm (infravermelho) e um fotodetector para faixa visível e infravermelha que mede a absorbância do sangue pulsante. O sinal elétrico do fotodetector é processado por uma unidade de processamento de sinal analógico de baixo ruído gerando-se um sinal fotoplestismográfico (*Photoplethysmography* - PPG) que é enviado para a placa *TTGO*

T-Beam (5) juntamente com a temperatura de contato. Na Figura 19 é ilustrado o diagrama funcional do circuito integrado MAX30102 (MAXIM INTEGRATED, 2020).

Figura 19 - Diagrama funcional do circuito integrado MAX30102.



Fonte: (MAXIM INTEGRATED, 2020).

O circuito integrado MAX30102, foi concebido para operar com fontes de alimentação de 1,8 a 3,3 V e conta com um baixíssimo consumo devido sua capacidade de ser desligado por comando em nível de *software* (MAXIM INTEGRATED, 2020).

A interface de dados utilizada pelo MAX30102, implementa o protocolo de comunicação serial I2C que utiliza uma conexão física entre o módulo PPG (6) e a placa *TTGO T-Beam* (5) é feita por meio de um cabo manga 5x26 AWG e de um par de conectores SP16-6P. Na Figura 20 (a) é ilustrado o cabo manga 5x26 AWG e na Figura 20 (b) ilustra o conector SP16-6P.

Dos cinco fios disponíveis no cabo, dois (VCC_3V3 e GND) são utilizados para alimentação elétrica do módulo PPG (6), outros dois fios (SDA e SCL) são usados para a transferência dos dados e o quinto fio (INT) é utilizado pelo módulo PPG (6) para sinalizar a placa *TTGO T-Beam* (5) que um novo registro está disponível para leitura. Para o correto funcionamento do barramento se faz necessário o uso de resistores de *pull-up* nos fios que transportam os sinais SDA, SCL e INT (MAXIM INTEGRATED, 2020).

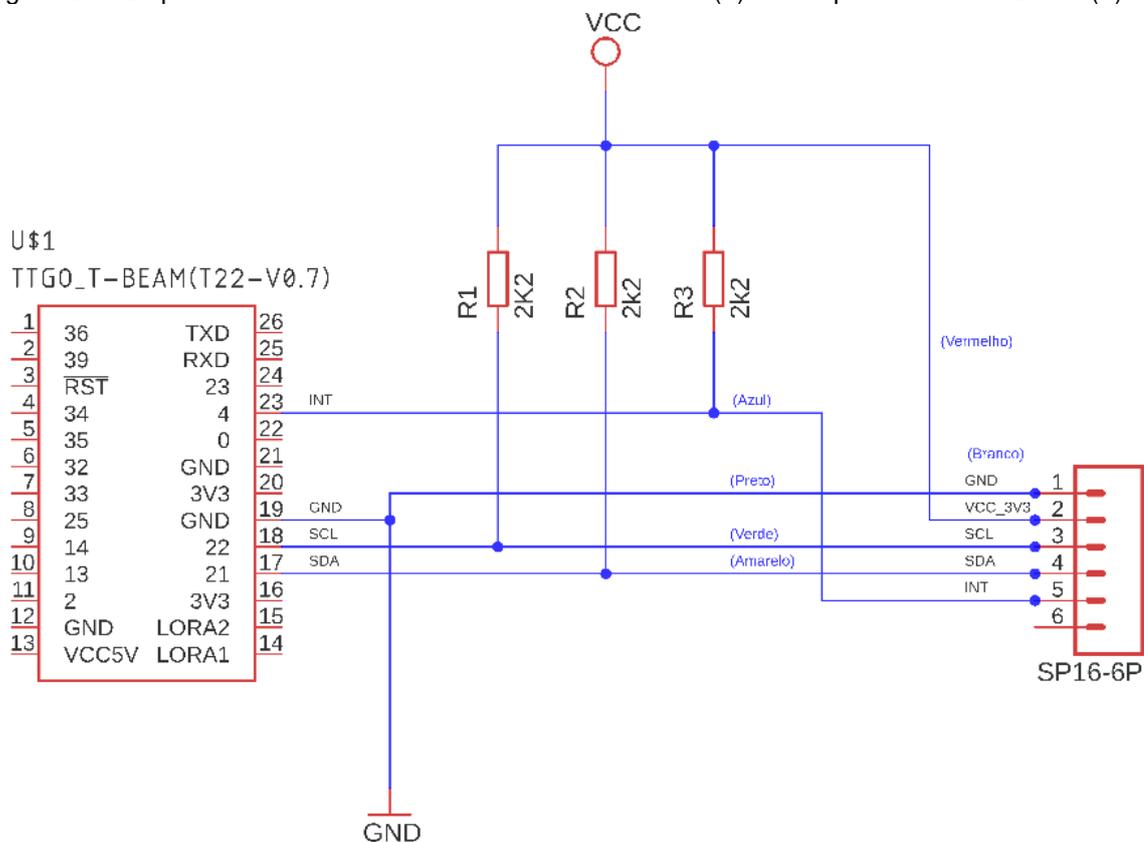
Figura 20 - (a) Cabo manga 5x26 AWG e (b) conector SP16-6P utilizados neste trabalho.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na Figura 21 é ilustrado o esquema do circuito elétrico de conexão do módulo PPG (6) a placa *TTGO T-Beam* (5), onde as ligações nomeadas de SDA e SCL correspondem respectivamente aos pinos lógicos GPIO21 e GPIO22 do *ESP32* e os resistores de *pull-up* R1, R2 e R3 são todos de 2,2 K Ohms.

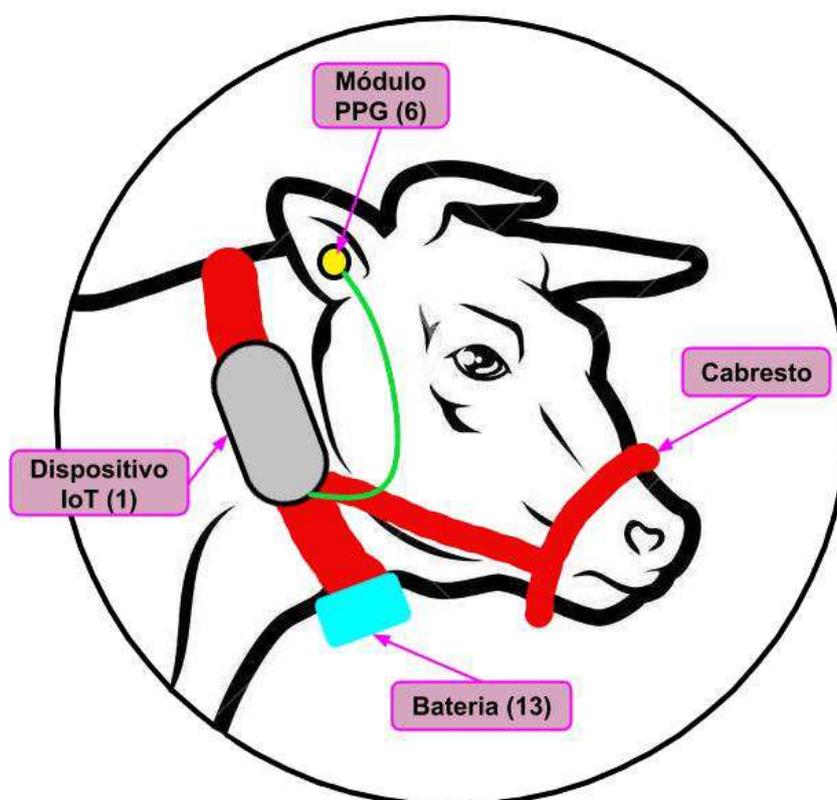
Figura 21 - Esquema do circuito de conexão do módulo PPG (6) com a placa TTGO T-Beam (5).



Fonte: Elaborada pelo autor.

A tecnologia utilizada no sensor ótico do módulo MAX30102 sofre menos atenuação quando o sensor é instalado em regiões com contato direto com a pele, livres de pelos. Portanto, adotou-se posicionar o sensor ótico no lado interno da orelha do animal, pois é uma das regiões com menos pelos do animal e que também fica próxima ao local onde está o cabresto com o *Node*. Na Figura 22 é ilustrado o local de instalação do sensor ótico.

Figura 22 - Local de instalação do sensor ótico para coleta do sinal PPG do animal.



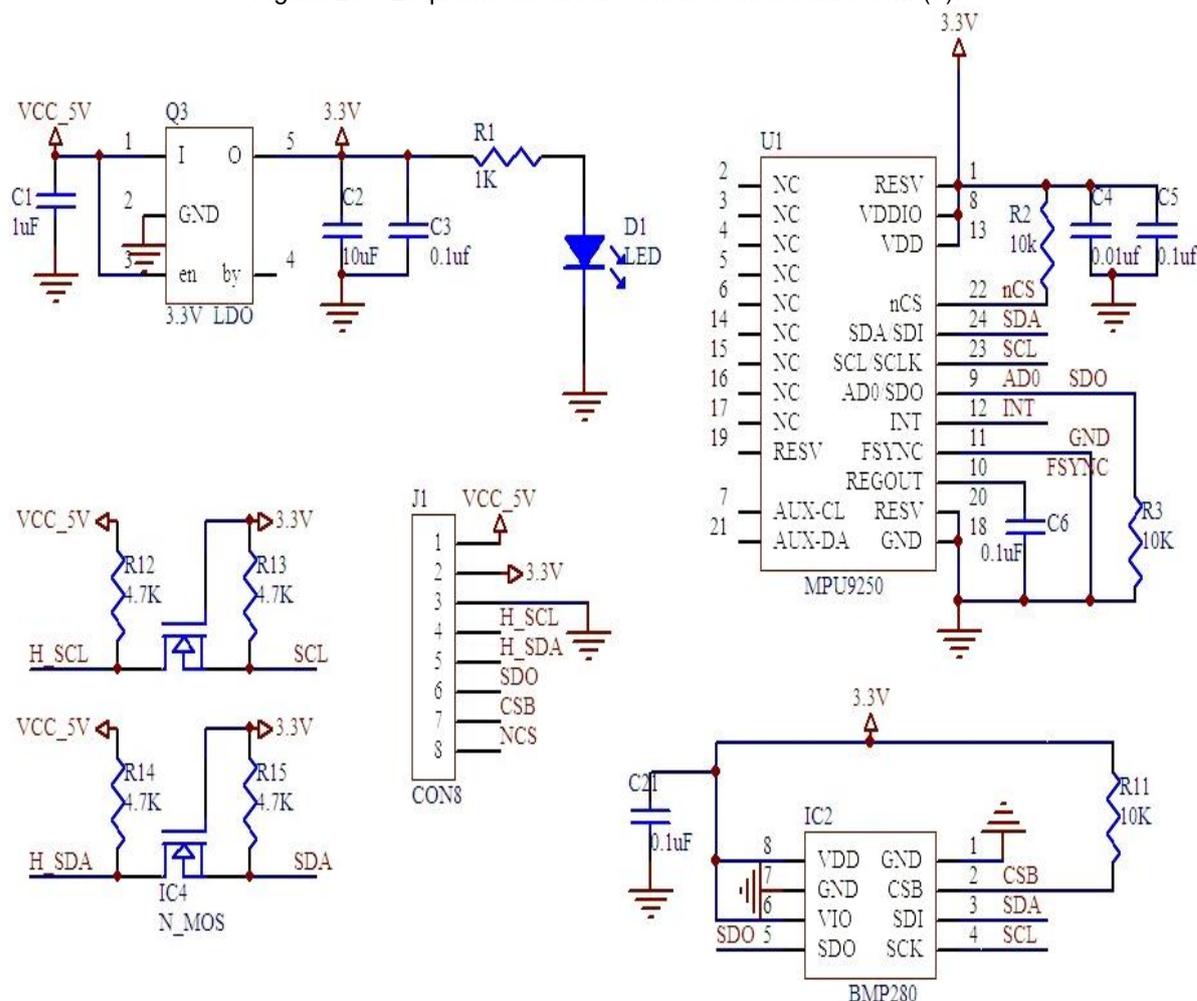
Fonte: Elaborada pelo autor.

A tecnologia utilizada para registrar o comportamento do animal é baseada em Unidade de Medição Inercial - UMI (*Inertial Measurement Unit* - IMU) mede a variação da aceleração linear e a taxa de rotação por meio de acelerômetros e giroscópios sendo utilizados frequentemente em sistemas de navegação inercial de aeronaves ou em sistemas robóticos (AHMAD et al., 2013).

O módulo UMI (7) tem como base o MPU-9250 sendo a segunda geração da unidade de processamento de movimento de nove eixos da *InvenSense®* e conta também com o circuito integrado BMP280 da Bosch é um sensor de pressão. Na Figura 23 é ilustrado o circuito elétrico do módulo UMI (7) (INVENSENSE, 2020).

O MPU-9250 é um sistema em pacote (*System in Package - SiP*) combina dois circuitos integrados, o MPU-6500 e o AK8963 fornecidos em um único pacote QFN de 3,0x3,0x1,0 mm proporcionando uma redução no tamanho e no consumo de energia, e ao mesmo tempo, melhora o desempenho e o custo (INVENSENSE, 2020).

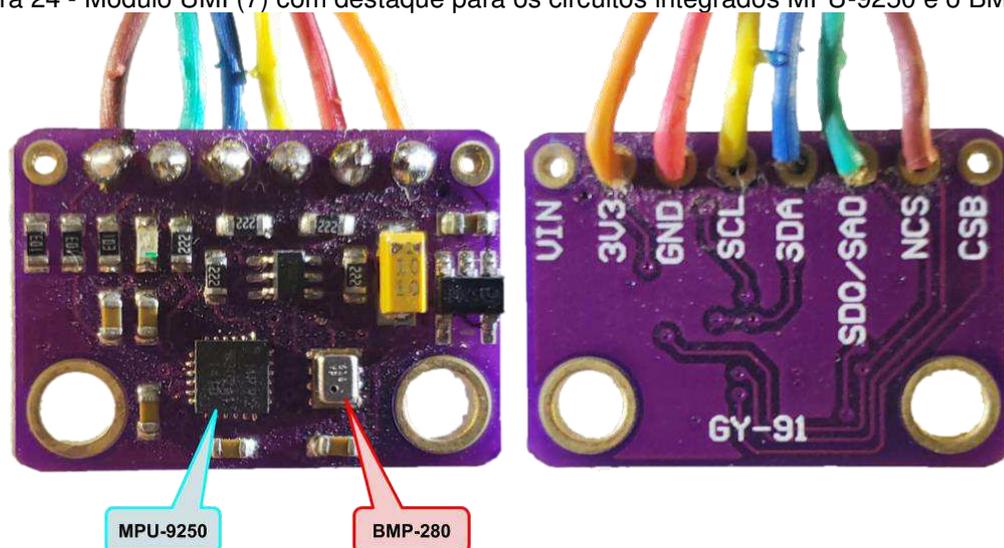
Figura 23 - Esquema do circuito elétrico do módulo UMI (7).



Fonte: (HAOYU ELECTRONICS, 2020).

O MPU-6500 é construído com um acelerômetro de três eixos, um giroscópio de três eixos e um processador de movimento (*Digital Motion Processor - DMP*) integrados com capacidade de processar algoritmos complexos. Enquanto AK8963 é uma bússola digital de três eixos com tecnologia de *sensor hall* de alta sensibilidade adaptado para uso em navegação de pedestre fabricado pela Asahi Kasei Microdevices Corporation. Na Figura 24 é ilustrado um módulo UMI (7) utilizado neste trabalho, com destaque para o MPU-9250 e o BMP280 (HAOYU ELECTRONICS, 2020).

Figura 24 - Módulo UMI (7) com destaque para os circuitos integrados MPU-9250 e o BMP280.



Fonte: Elaborada pelo autor.

O módulo UMI (7) também utiliza o mesmo protocolo de comunicação de dados serial I2C e compartilha a mesma porta da placa *TTGO T-Beam* utilizada pelo módulo PPG (6), mas na conexão física é utilizado um cabo manga 4x26 AWG e o par de conector SP16-6P. Na Figura 25 é apresentada a ilustração do módulo UMI (7) protegido por uma caixa modelada no *software Fusion 360* e prototipado na impressora 3D em material tipo ABS verde, um conector do tipo SP16-6P e um cabo do tipo manga interligando os dois.

Figura 25 - Módulo UMI (7) com destaque para os circuitos integrados MPU-9250 e o BMP280.

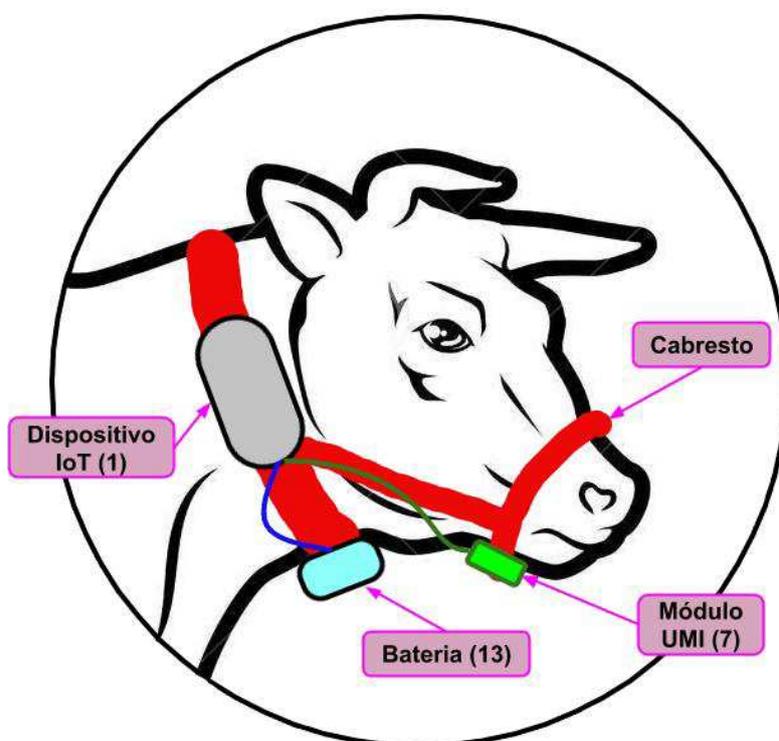


Fonte: Elaborada pelo autor.

Os quatro fios do cabo tipo manga foram empregados para os sinais de alimentação VCC e GND e os sinais de dados SDA e SCL. Como o módulo UMI (7) compartilha a porta I2C com o módulo PPG (6), o circuito é o mesmo apresentado na Figura 17 com a diferença que o módulo UMI não necessita do sinal de controle INT.

O local escolhido para instalar o módulo UMI (7) foi a região inferior da mandíbula do animal montado no cabresto, conforme observado na Figura 26. Na escolha dessa posição, procurou-se colocar o sensor em um local que pudesse capturar os movimentos do animal de modo que melhor caracterizasse seu comportamento, mas que ao mesmo tempo, fosse um local seguro para o módulo.

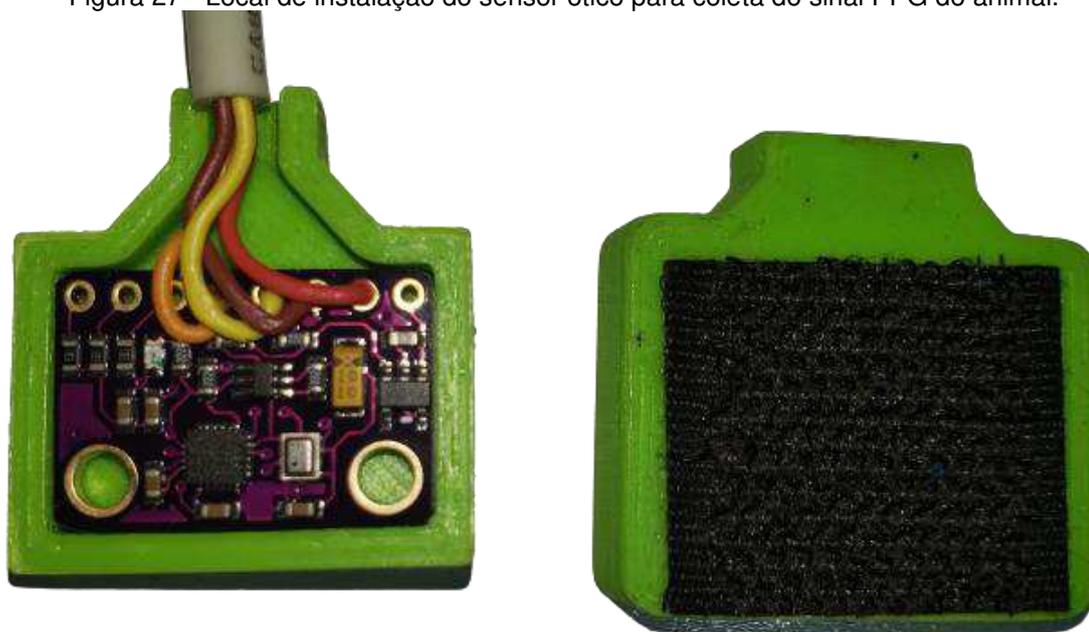
Figura 26 - Local de instalação do sensor ótico para coleta do sinal PPG do animal.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Para a proteção do módulo UMI (7) também foi modelada, utilizando-se o *software CAD Fusion 360* da *Autodesk*, uma caixa especificamente adaptada para ser instalado no mesmo cabresto usado como suporte para a placa *TTGO T-Beam*. Após a modelagem, a caixa foi confeccionada empregando-se tecnologia de impressão 3D aditiva em material do tipo ABS. Na Figura 27 é ilustrada a caixa com o módulo UMI (7) utilizado neste trabalho.

Figura 27 - Local de instalação do sensor ótico para coleta do sinal PPG do animal.



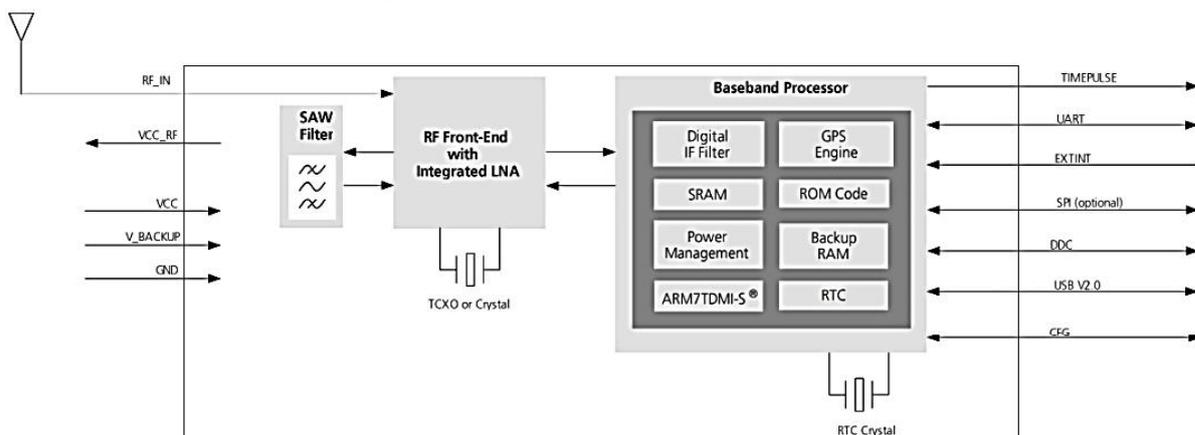
Fonte: Elaborada pelo autor.

Buscou-se com o módulo GPS (8) obter informações precisas da localização do animal com o objetivo de rastrear seu deslocamento no pasto ou no curral. Para isso, foi utilizado um receptor GPS de alto desempenho da família NEO-6 com motor de seis posições u-blox 6 que foi projetado pensando no baixo consumo de energia e custo de produção (BLOX, 2017).

O NEO-6 conta com várias interfaces de comunicação que implementam os protocolos (UART, SPI, USB e I2C), arquitetura compacta com dimensões de 16,0x12,2x2,4 mm, um gerenciador inteligente de energia com faixa de alimentação entre 2,7 a 3,6 V. Seu motor de posicionamento de 50 canais com tempo para primeira correção (*Time-To-First-Fix* - TTFF) de menos de 1 s em conjunto com inovações tecnológicas e novo design, deram ao NEO-6 um excelente desempenho de navegação mesmo nos ambientes mais desafiadores. Na Figura 28 é ilustrado o diagrama em bloco do receptor GPS NEO-6 (BLOX, 2017).

A interface de comunicação adotada pela placa *TTGO T-Beam* (5) para conectar-se ao receptor GPS NEO-6 utiliza um protocolo de recepção/transmissão universal assíncrono, denominado *UART* (BRAGA, 2018). A conexão elétrica faz uso de dois pinos da placa *TTGO T-Beam* (5) nos quais trafegam os sinais TX e RX. Devido ao módulo GPS (8) e a placa *TTGO T-Beam* estarem integrados na mesma placa de circuito impresso, não foi necessário a utilização de cabos para interligá-los.

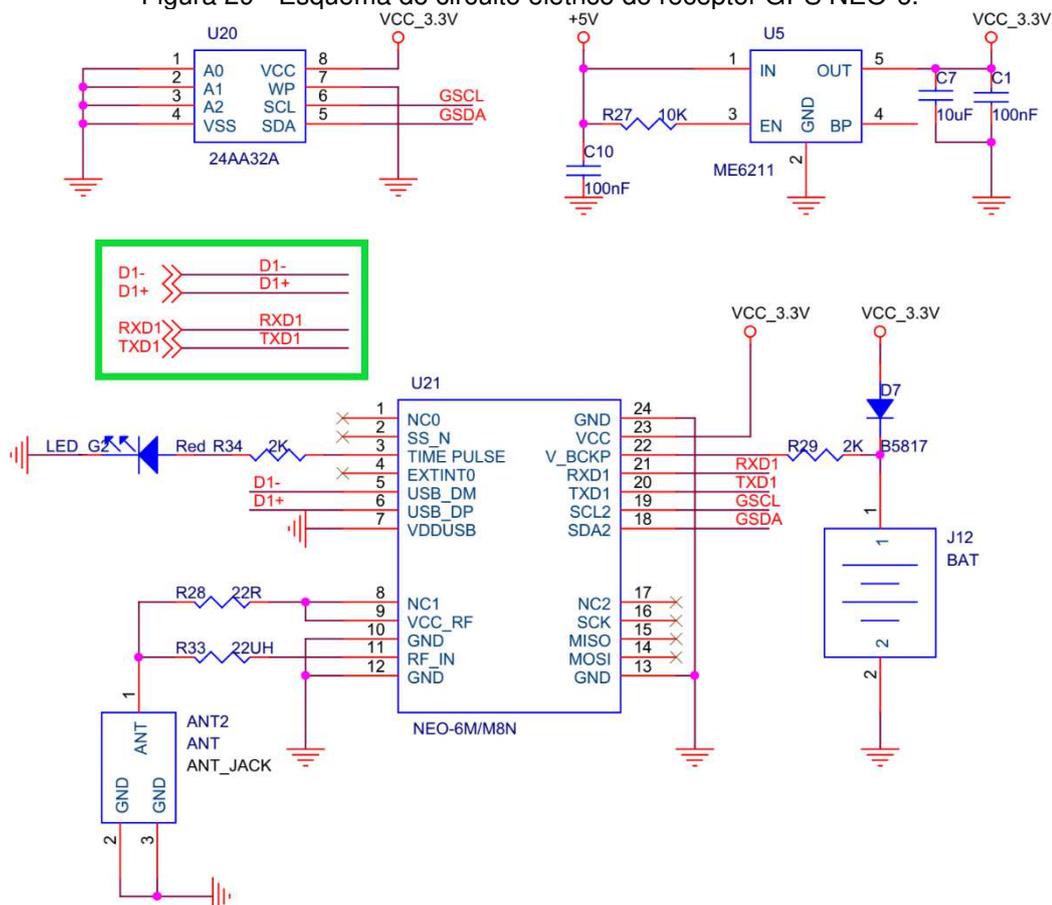
Figura 28 - Diagrama em bloco conceitual do receptor GPS NEO-6.



Fonte: (BLOX, 2017).

Na Figura 29 é ilustrado o esquema do circuito elétrico do receptor GPS NEO-6 com destaque para os pinos do *ESP32* utilizados para conectar-se ao módulo GPS (8), onde os pinos nomeados de RXD1 e TXD1 correspondem, respectivamente, aos pinos lógicos GPIO12 e GPIO15 do *ESP32* (XINYUAN-LILYGO, 2020).

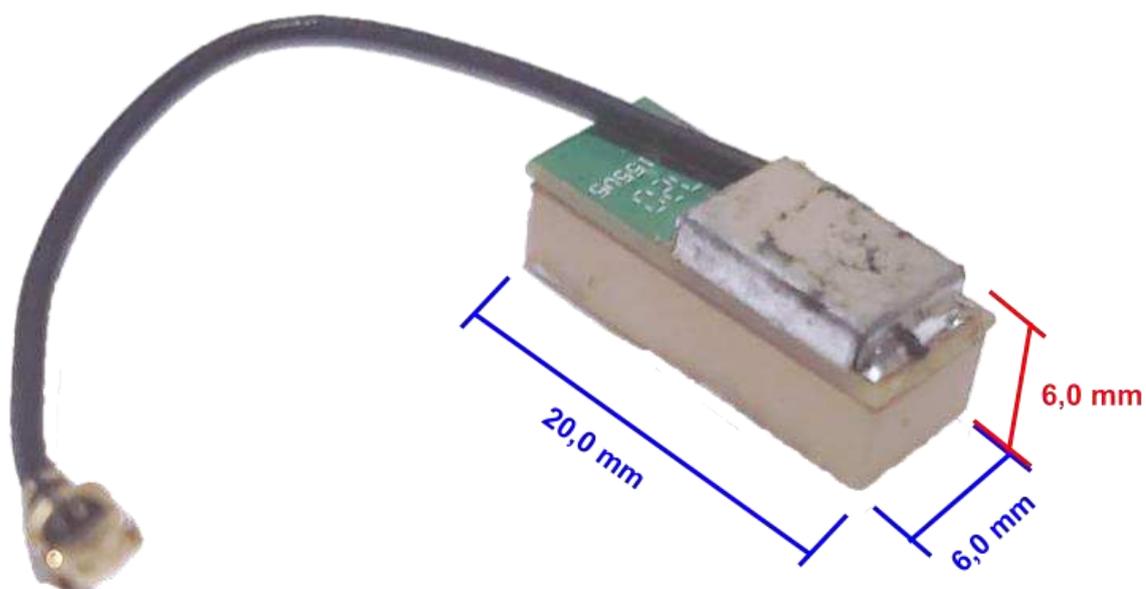
Figura 29 - Esquema do circuito elétrico do receptor GPS NEO-6.



Fonte: (XINYUAN-LILYGO, 2020).

A antena utilizada pelo módulo GPS (8) é do tipo passiva, construída em material cerâmico com dimensões de 6,0x20,0x6,0 mm e sua conexão na placa *TTGO T-Beam* (5) é feita por meio de um conector do tipo *IPX uFL* (XINYUAN-LILYGO, 2020). Na Figura 30 é ilustrada a antena.

Figura 30 - Antena do módulo GPS (8).



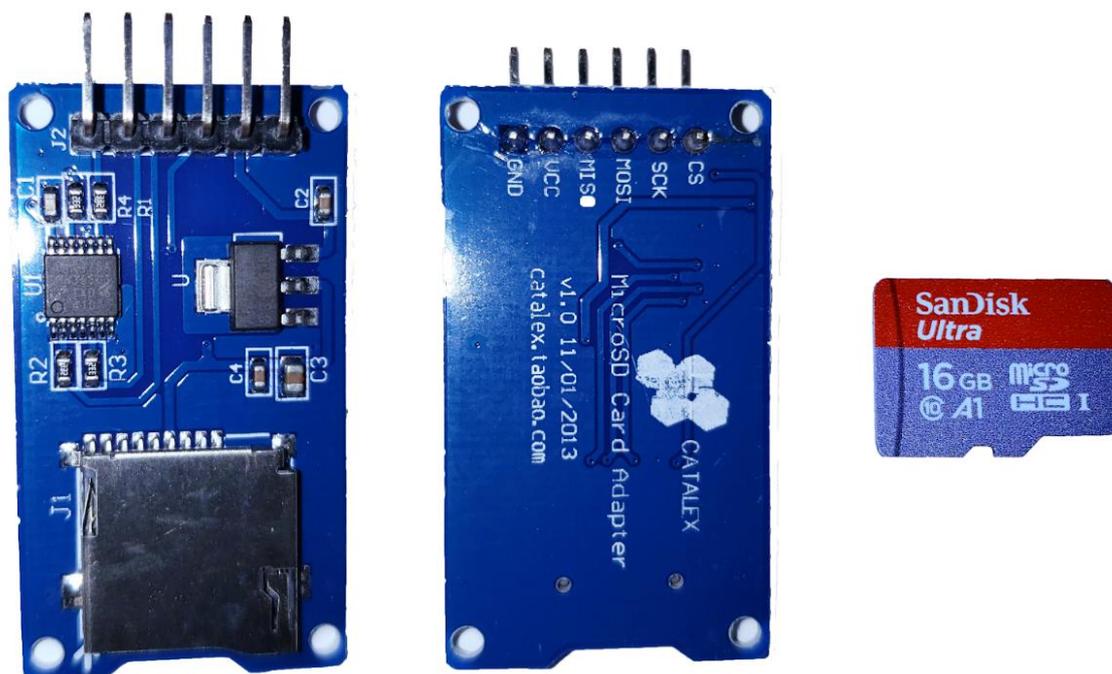
Fonte: Elaborada pelo autor.

O módulo *SD Card* (9) utilizado no *Node* (1) tem a função de armazenar todos os dados coletados por meio dos sensores PPG e UMI e do receptor GPS, servindo como *backup* de dados para o caso da perda de conexão do *Node* (1) com o *Gateway*.

O módulo *SD Card* (9) é baseada na tecnologia de cartão *microSD* que utilizam memórias *NAND Flash*, uma evolução das memórias EEPROM (sigla do inglês *Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory*) do tipo não volátil, no qual os dados gravados ficam armazenados permanentemente (AIEA, 2017; ALECRIM, 2018; SD ASSOCIATION, 2017).

Para conectar física e eletricamente o cartão *microSD* ao circuito elétrico do *Node* (1), utilizou-se o adaptador de cartão *MicroSD Card Adapter* CATALEX. Um módulo compatível com as *Shields* do ecossistema de prototipagem de *hardware* Arduino que tem a função de interface para cartões de memória *microSD* (AIEA, 2017). Na Figura 31 é ilustrado o adaptador de cartão *microSD* utilizado neste trabalho.

Figura 31 - *Shield* adaptador para cartão *microSD*.

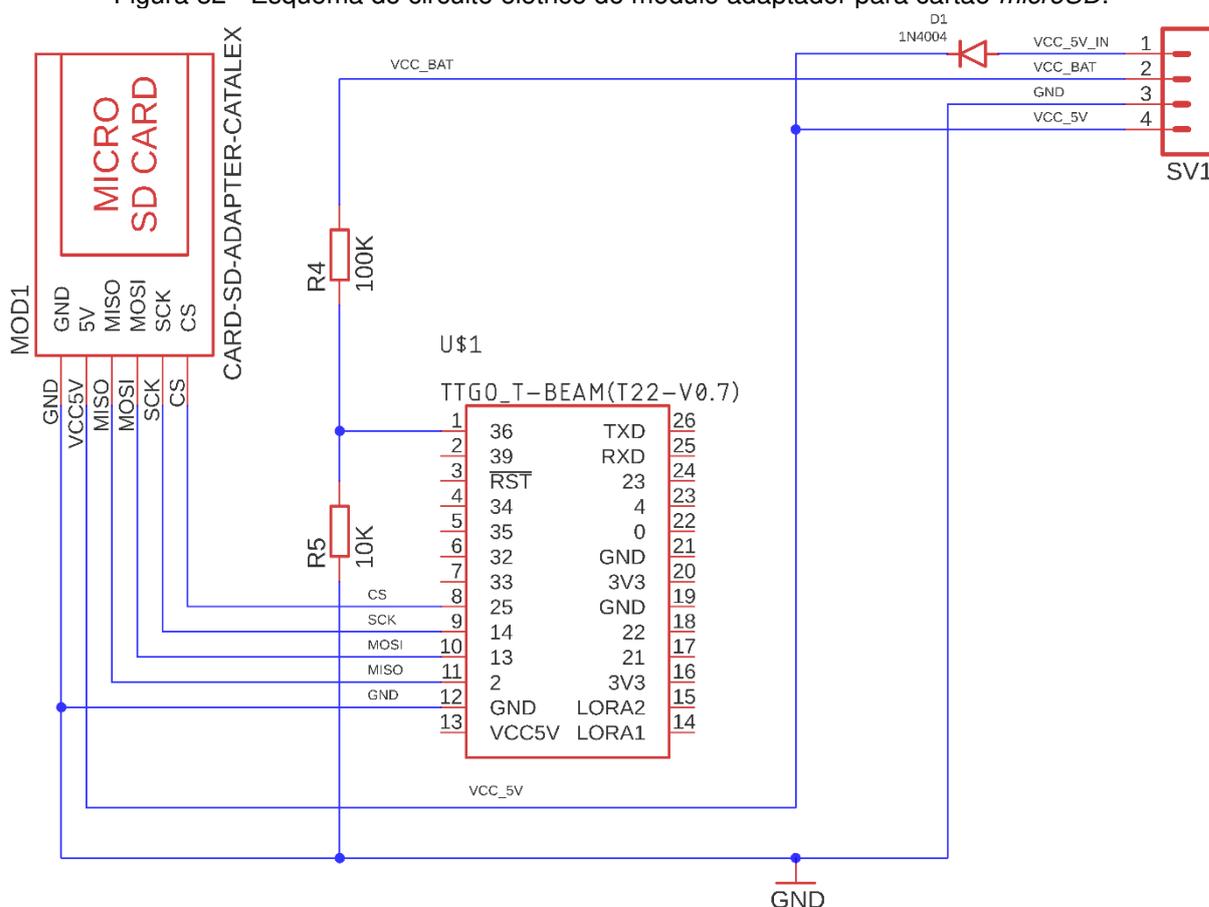


Fonte: Elaborada pelo autor.

A interface de comunicação adotada pela placa *TTGO T-Beam* (5) para conectar-se ao módulo *SD Card* (9) utiliza o protocolo de comunicação serial síncrona *SPI (Serial Peripheral Interface)*. Fisicamente o *SPI* é uma interface simples o qual necessita de quatro fios (*MISO*, *MOSI*, *SCK* e *CS*) para os sinais de comunicação operam em modo *full duplex*. Outros dois fios (*VCC_5V* e *GND*) são usados para alimentação do módulo (LEENS, 2009).

Na Figura 32 é ilustrado o esquema do circuito elétrico no qual pode-se verificar os pinos da placa *TTGO T-Beam* (5) utilizados para conectar ao módulo *SD Card* (9), nos quais os pinos nomeados de *MISO*, *MOSI*, *SCK* e *CS* do módulo *SD Card* (9) estão logicamente interligados aos *GPIO2*, *GPIO13*, *GPIO14* e *GPIO25* do *ESP32*.

Buscou-se com o módulo *LoRa* (10) atender os requisitos de conectividade da Plataforma *IoT* tais como: uma rede de altíssima densidade, na qual seja possível manter todos os animais de um rebanho conectados ao mesmo tempo; rede de longo alcance, pois os animais passam boa parte do dia no pasto; rede robusta que garanta a integridade dos dados transmitidos pelos *Nodes* em uma rede de altíssima densidade e que ao mesmo tempo tenha eficiência energética, pois os *Nodes* utilizam baterias como fontes de energia.

Figura 32 - Esquema do circuito elétrico do módulo adaptador para cartão *microSD*.

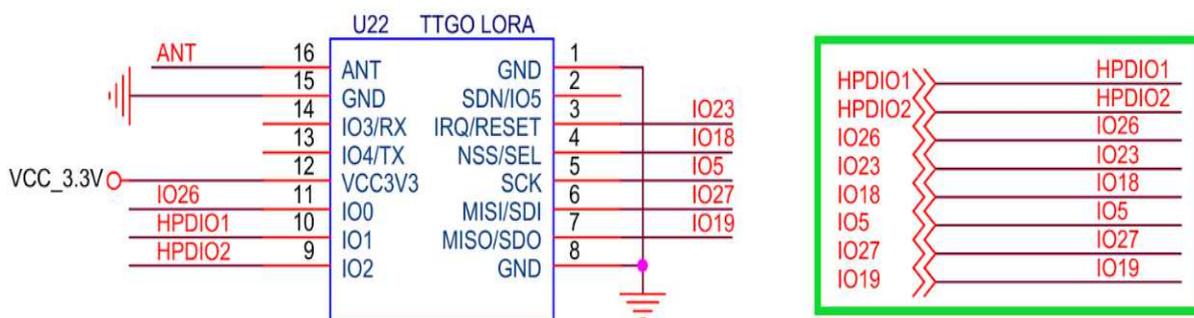
Fonte: Elaborada pelo autor.

O módulo LoRa (10) integrado a placa *TTGO T-Beam* (5) é baseado no transceptor de baixa potência e longo alcance SX1276 da Semtech. Ele utiliza a técnica de modulação LoRa e conta com um amplificador de potência de +20 dBm e um receptor com sensibilidade acima de -148 dBm com custo reduzido, o que torna-o ideal para aplicações que requer alcance, imunidade a interferências e baixo consumo de energia (SEMTECH, 2020).

Na Figura 33 é ilustrado o esquema do circuito elétrico, no qual pode-se verificar os pinos do *ESP32* utilizados para conectar ao módulo LoRa (10), sendo que os pinos nomeados de MISO, MOSI, SCK e CS do módulo LoRa (10) estão logicamente interligados aos GPIO19, GPIO27, GPIO5 e GPIO18 do *ESP32*.

A antena LoRa 915 MHz (11) utilizada no módulo LoRa (10) foi desenvolvida especificamente para o *Node* (1) proposto neste trabalho. Optou-se por desenvolver uma antena devido ao reduzido espaço do invólucro de proteção utilizado para abrigar o circuito do *Node*.

Figura 33 - Esquema do circuito elétrico de conexão do módulo LoRa (10) ao ESP32.

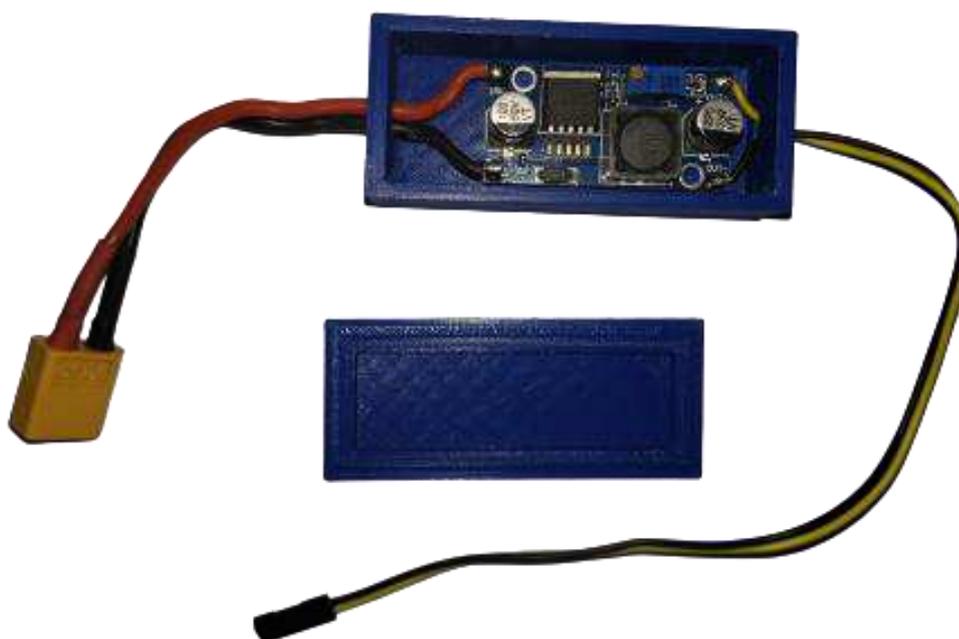


Fonte: (XINYUAN-LILYGO, 2020).

Adotou-se o tipo de antena quarto de onda por esse arranjo oferecer um padrão de propagação omnidirecional no plano horizontal que consiste em um fio ou haste flexível reta de modo que não se quebre facilmente. O comprimento do fio de 8,2 cm foi calculado para a frequência de 915 MHz. Na confecção da antena foi utilizado um fio rígido 14 AWG conforme observado na Figura 15.

O módulo regulador de tensão (12) tem a função de compatibilizar a tensão fornecida pela bateria com a requerida pela placa *TTGO T-Beam* (5). Utilizou-se de um módulo conversor *step down* baseado no LM2596, um circuito integrado monolítico conversor DC-DC abaixador de tensão regulável do tipo *buck* da *Texas Instruments* (TEXAS INSTRUMENTS, 1999). Na Figura 34 é apresentada a ilustração do módulo regulador de tensão (12) e uma caixa utilizada para a proteção do módulo.

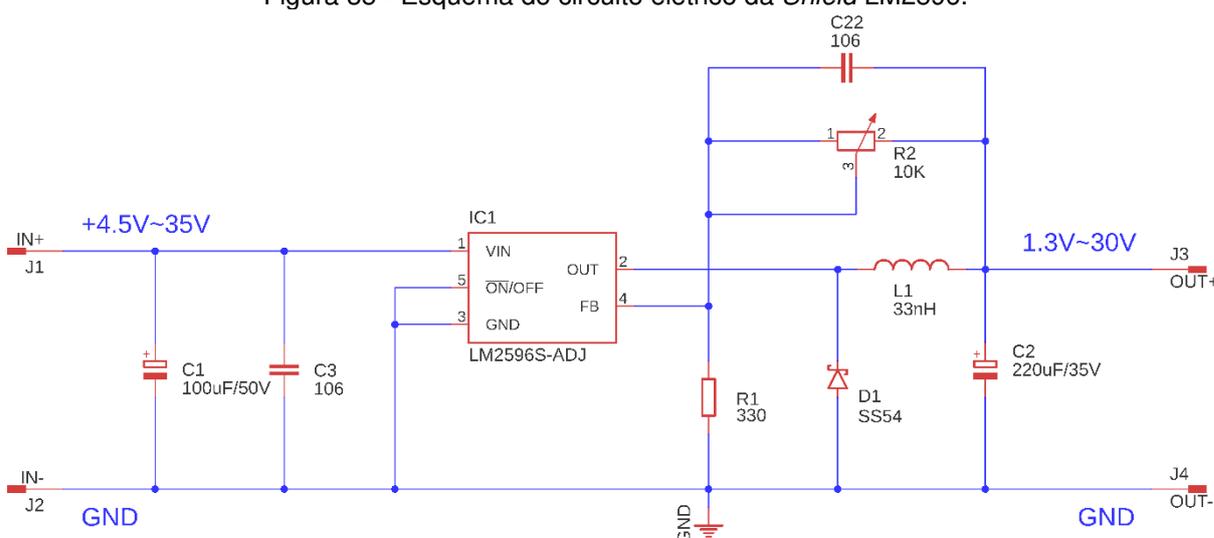
Figura 34 - Módulo regulador de tensão (12) e caixa de proteção.



Fonte: Elaborada pelo autor.

O LM2596 tem capacidade de fornecer uma corrente de saída de 3 A com excelente regulagem, opera em uma frequência de chaveamento de 150 kHz (*TEXAS INSTRUMENTS*, 1999). Para alimentar a placa *TTGO T-Beam* (5) corretamente, o módulo regulador de tensão (12) foi ajustado para fornecer uma tensão de saída de 5 V conforme pode ser observado nas Figuras 13 e 17. Na Figura 35 é ilustrado o circuito elétrico do módulo conversor *step down* LM2596.

Figura 35 - Esquema do circuito elétrico da *Shield* LM2596.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A bateria (13) é responsável por fornecer energia elétrica para todos os módulos do *Node* (Figura 36). Esse módulo é constituído de uma bateria do tipo *LiPo* de 2 células, com tensão de saída de 7,4 V com 5200 mAh de capacidade e dimensões de 135,0x43,0x20,0 mm pesando 250 g e conector do tipo *XT60*.

Figura 36 - Bateria (13) *Lion Power* 7,4V com 5200 mAh.

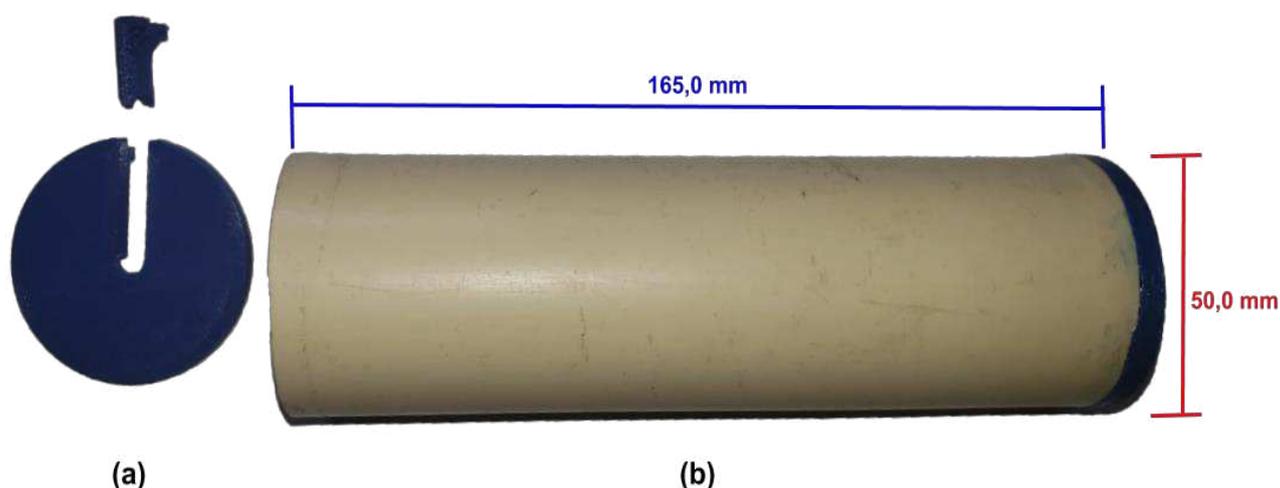


Fonte: Elaborada pelo autor.

Adotou-se o uso de um invólucro de proteção para o *Node* (1) com o objetivo de protegê-lo de eventuais choques mecânicos causados pela movimentação normal do animal no pasto e principalmente, nos momentos de manejo nas salas de ordenha. Além da proteção aos choques, ele também protege o *Node* (1) da exposição a água de chuva ou quando o animal estiver ingerindo água nos bebedouros ou outras fontes de água disponíveis no pasto.

Na construção do invólucro, utilizou-se um tubo de PVC de 50 mm de diâmetro e 165,0 mm de comprimento (Figura 37). O *design* das tampas foi desenvolvido utilizando *software* de modelagem 3D, *Fusion 360* da *Autodesk*, e utilizou-se uma impressora 3D aditiva para prototipar as tampas em material ABS.

Figura 37 - Invólucro de proteção do *Node* (1), (a) tampas em ABS e (b) tubo PVC 50 mm.



Fonte: Elaborada pelo autor.

O embarque do *Node* (1) e módulos sensores no animal foram feitos por meio de um cabresto adquirido no comércio especializado em bovinos que precisou ser modificado para abrigar o invólucro de proteção no qual encontrava-se o *Node* (1) e o módulo sensor UMI (7).

Na Figura 38 é ilustrado o cabresto adaptado para embarque do *Node* (1) no animal na qual pode-se observar uma fita tubo maleável de 50 mm confeccionada em *nylon* na cor preta. Outra fita foi fixada no cabresto também confeccionada em *nylon*, mas na cor vermelha.

Figura 38 - Cabresto para embarque do *Node* (1) no animal.

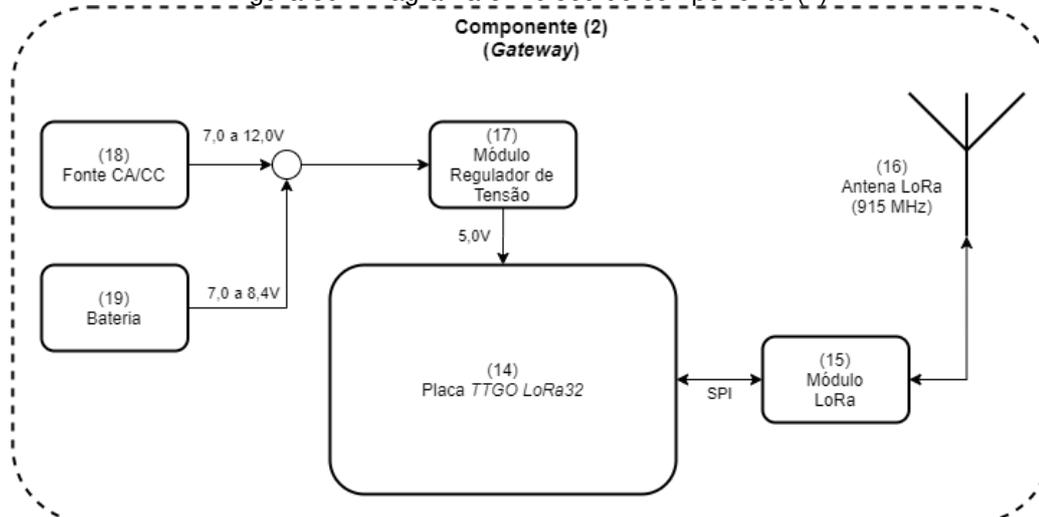


Fonte: Elaborada pelo autor.

3.2.2 Interface de rede LoRa (*Gateway*)

A interface de rede LoRa, o componente (2) da Plataforma IoT ilustrada na Figura 12, também chamado de *Gateway*; foi utilizada neste trabalho para compatibilizar a rede de comunicação dos *Nodes* baseada na rede LoRa com as tecnologias de rede da *internet*. Na Figura 39 é ilustrado o diagrama de bloco conceitual do componente (2).

Figura 39 - Diagrama em bloco do componente (2).

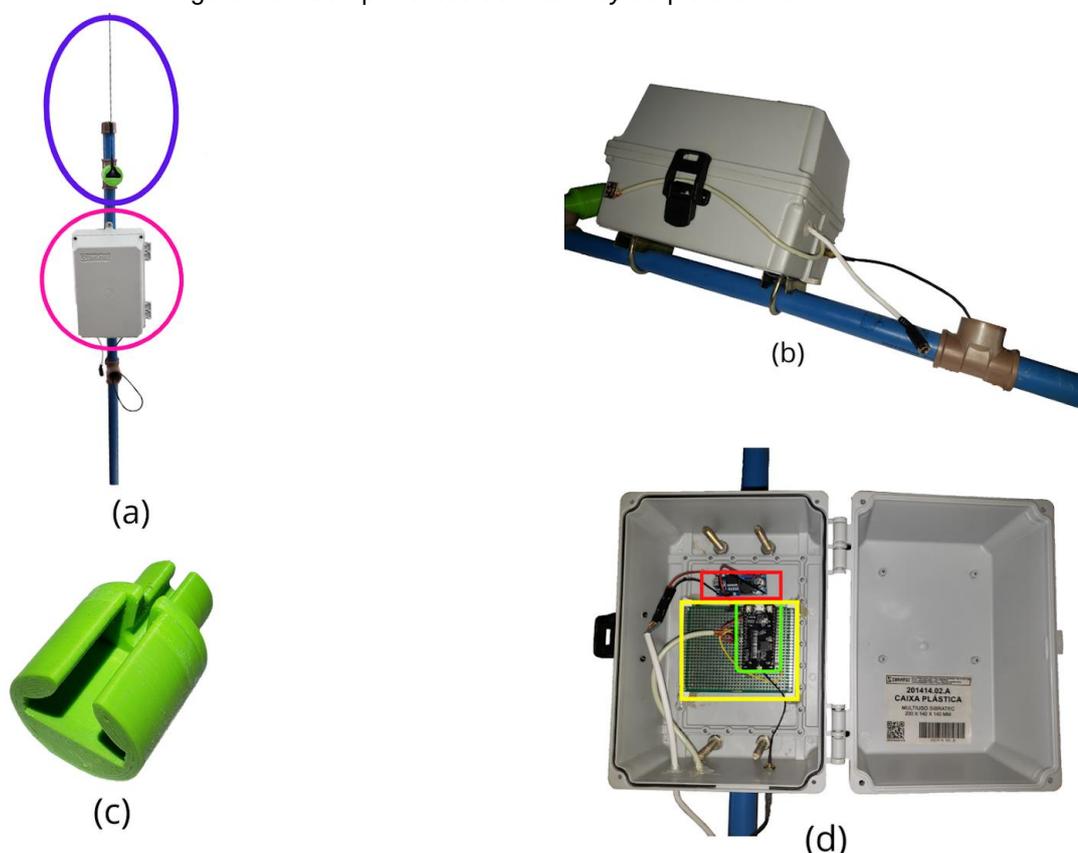


Fonte: Elaborada pelo autor.

O *Gateway* implementou uma conexão entre os *Nodes* embarcados nos animais com os servidores de aplicação hospedados em centros de dados na nuvem (*cloud computing*), componente (3) da Plataforma IoT.

Na Figura 40 são ilustrados os componentes *Gateway*: em (a), pode-se observar todas as peças que compõem o *Gateway*; em (b), o detalhe para caixa de proteção do *Gateway*; em (c), o suporte da Antena LoRa 915 MHz (16); e em (d), os detalhes do *Gateway* com destaques para a placa suporte (em amarelo), placa *TTGO LoRa32* (14) (em verde) e módulo regulador de tensão (17) (em vermelho).

Figura 40 - Componentes do *Gateway* da plataforma IoT.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na confecção da infraestrutura de suporte e proteção do componente (2) foi utilizado uma caixa plástica multiuso da Sibratec com dimensões de 200,0x140,0x140,0 mm, destaque rosa da Figura 40 (a), na qual foram instalados os módulos eletrônicos que implementam o *Gateway*, Figura 40 (d), que denominamos de caixa de proteção do *Gateway*.

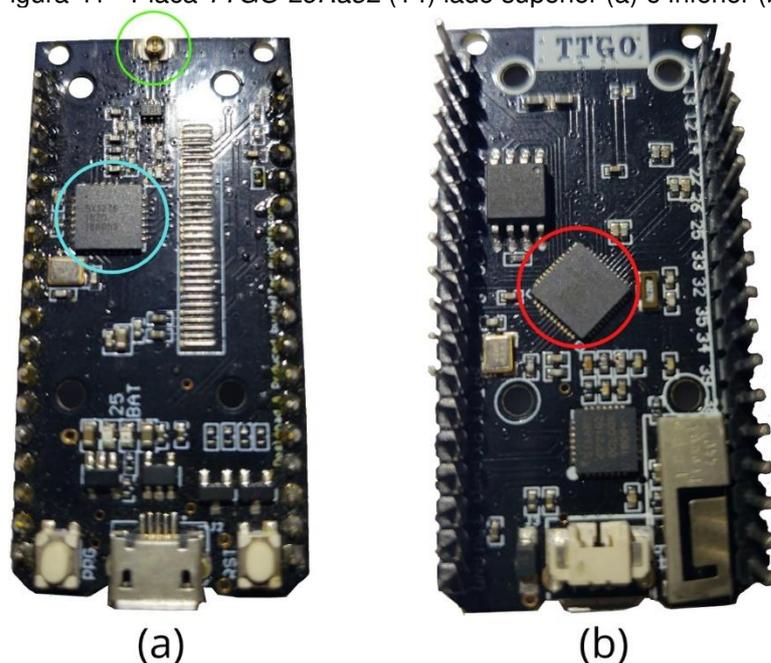
O mastro que suporta a caixa de proteção do *Gateway* e antena, Figuras 40 (a) e 40 (b), foram utilizados canos, conexões tipo T, cap (todos PVC de 25 mm) e abraçadeiras metálicas tipo U para fixação.

O *designer* do suporte da antena LoRa 915 MHz (16) foi desenvolvido em *software* de modelagem 3D, *Fusion 360* da *Autodesk*, e prototipado em impressoras 3D utilizando material ABS conforme pode ser observado com destaque em azul na Figura 40 (a) e na Figura 40 (c).

Adotou-se na implementação do *Gateway* uma placa *TTGO LoRa32* (14) também da *Xinyuan*. Assim como a placa *TTGO T-Beam* (5), ela também é construída em torno do *ESP32* da *Espressif Systems* com seus mesmos recursos, mas só tem integrado o transceptor LoRa operando na frequência de 915 MHz.

Na Figura 41 são apresentadas ilustrações da placa *TTGO LoRa32* (14), em (a), com destaque para o módulo LoRa (15), também implementado com o transceptor *SX1276* da *Semtech* e o conector *IPX uFL* para a antena LoRa 915 MHz (16), e em (b), destaque para o *ESP32*.

Figura 41 - Placa *TTGO LoRa32* (14) lado superior (a) e inferior (b).

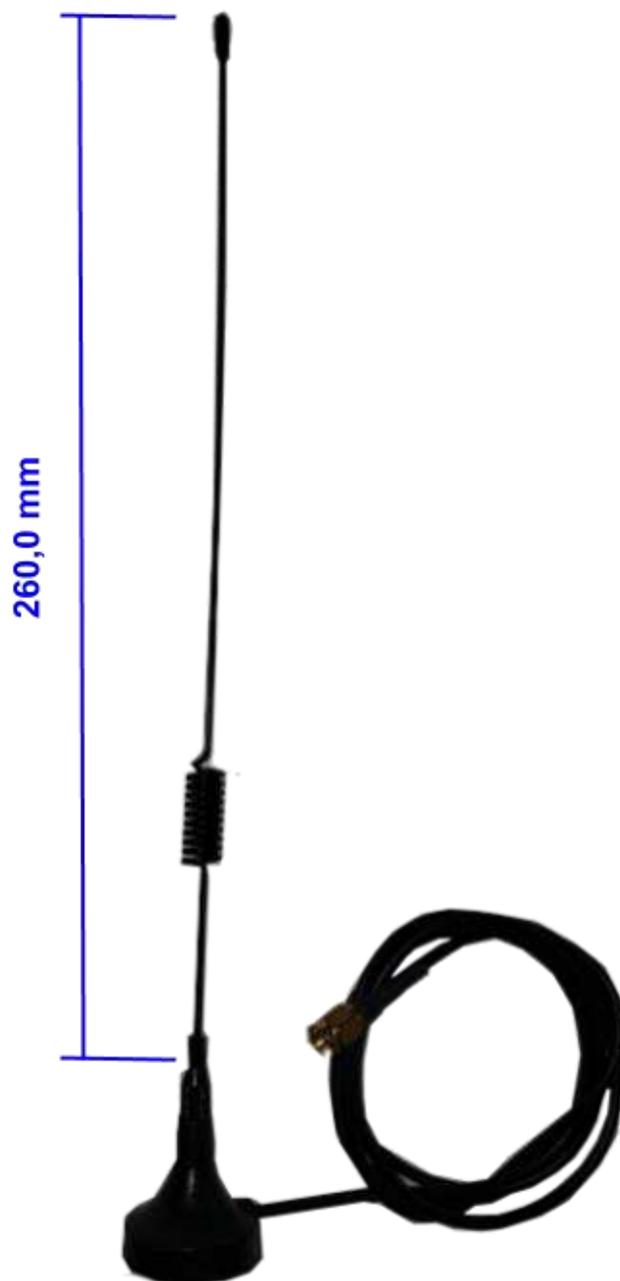


Fonte: Elaborada pelo autor.

O módulo LoRa (15) também utiliza a mesma configuração de interconexão com o *ESP32* que foi apresentado no circuito elétrico da Figura 3.20, mas optou-se por substituir a antena por uma de maior ganho. A antena LoRa 915 MHz (16) omnidirecional com ganho de 2,0 a 3,0 dBi projetada para sistemas de comunicações sem fio em 915 MHz.

Na Figura 42 é ilustrada a antena LoRa 915 MHz (16), constituída de uma haste metálica com 26 cm, 2 m de cabo RG174 com impedância nominal de 50 ohms e um conector do tipo SMA macho.

Figura 42 - Antena LoRa 915 MHz (16) do *Gateway* (2).



Fonte: Elaborada pelo autor.

O módulo regulador de tensão (17), assim como o utilizado no *Node*, também é baseado no módulo conversor *step down* LM2596 e tem função equivalente no *Gateway*, mas utilizou-se um conector do tipo P4 para conectar o módulo fonte CA/CC.

A alimentação dos módulos que compõem o *Gateway* pode ser fornecida pelo módulo fonte CA/CC (18), uma fonte comercial de uso geral do tipo chaveada bivolt automático com entrada em corrente alternada (AC) de 100 a 240 V e 50/60 Hz e saída em corrente contínua (CC) de 8 V podendo fornecer até 600 mA (Figura 43).

Figura 43 – Fonte CA/CC (18) do tipo chaveada 100-240 V AC para 8 V DC com 600 mA.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Foi necessário também, utilizar-se de uma fonte de alimentação alternativa para locais nos quais não se tinha acesso a rede de energia elétrica comercial. Nesses locais foi utilizada uma bateria (19) do tipo estacionária de 12 V e 7 Ah.

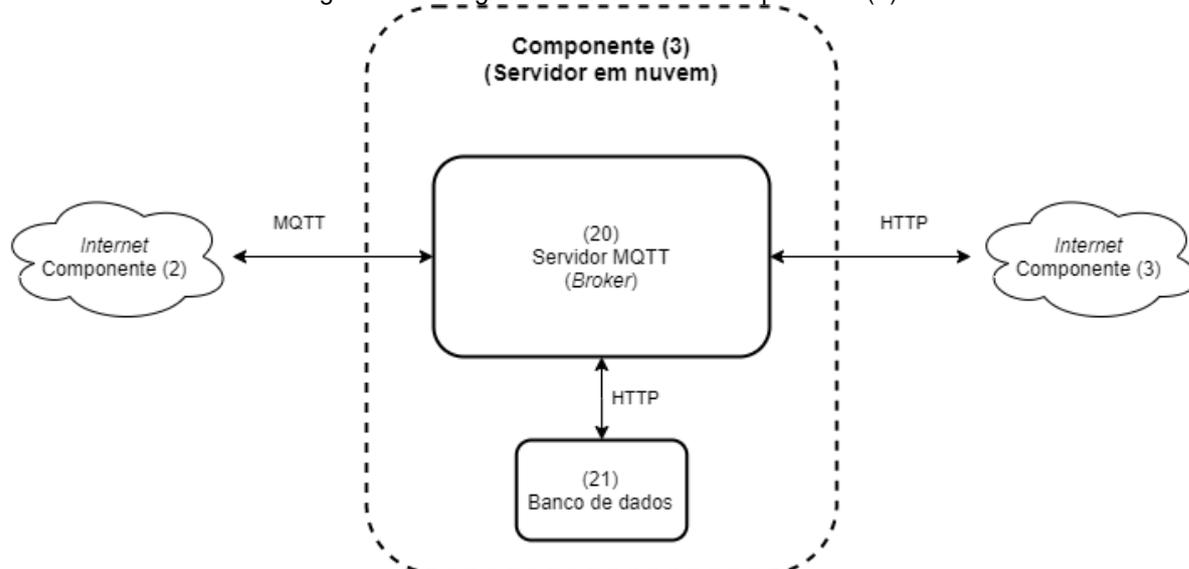
3.2.3 Servidor em nuvem

O servidor em nuvem, componente (3) da Plataforma IoT apresentado na Figura 12, implementa um servidor para o protocolo MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*), que tem a função de gerenciar o intercâmbio de notificações e as instâncias (clientes) conectados ao servidor. Na Figura 44 é ilustrado o diagrama de bloco conceitual do componente (3).

O MQTT é um protocolo de mensagens desenvolvido pela IBM em 1999, baseado na topologia publicação-assinatura (*publish-subscribe*), para aplicações que rodam em dispositivos extremamente simples e leve, que demanda redes com alta

latência, instabilidade na comunicação e baixa largura de banda (PAULA et al., 2018; TORRES; ROCHA; SOUZA, 2020).

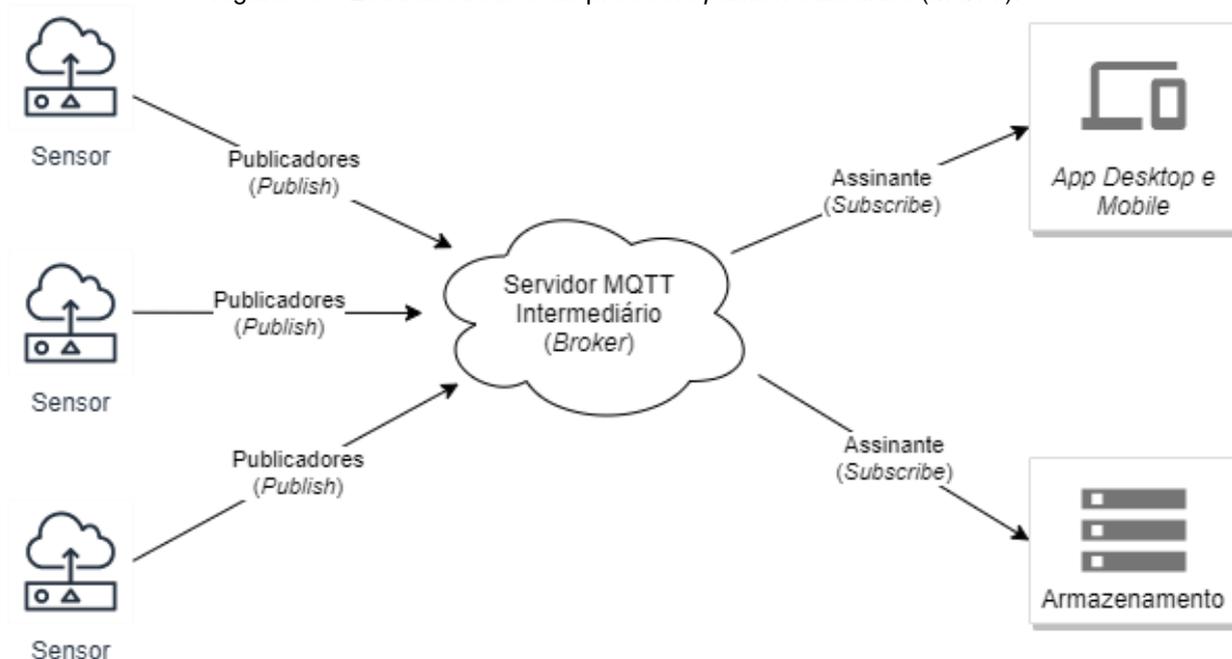
Figura 44 - Diagrama em bloco do componente (3).



Fonte: Elaborada pelo autor.

Devido a essas características o protocolo MQTT, cuja estrutura básica é ilustrada na Figura 45, tornou-se o padrão para a conectividade máquina-a-máquina (*Machine-to-Machine* - M2M) de *nodes* (1).

Figura 45 - Estrutura básica do protocolo *publish-subscribe* (MQTT).



Fonte: Elaborada pelo autor.

O servidor MQTT também chamado de intermediários (*Broker*) proposto para este trabalho foi hospedado no *Amazon Elastic Compute Cloud* (EC2), um

serviço que fornece um sistema computacional composto por processadores, memória e armazenamento baseado no modelo de infraestrutura como serviço (*Infrastructure as a Service* - IaaS) pertencente a *Amazon Web Services* (AWS) (CARISSIMI, 2015).

O protocolo MQTT divide-se em três componentes: os sensores responsáveis por coletar informações são os publicadores (*Publishers*) que enviam dados para um servidor na nuvem; o intermediário (*Broker*), responsável por decodificar as mensagens MQTT enviadas pelos sensores e notificar os assinantes (*Subscribers*) que são os aplicativos; e banco de dados, da ocorrência de disponibilidade de uma nova informação.

O *Broker* instalado na EC2 foi implementado com o pacote *Eclipse Mosquitto*, sua escolha levou em consideração a facilidade de instalação, por ser código aberto e dispor de versões para os principais sistemas operacionais do mercado. Já para o banco de dados foi utilizado o *MongoDB* orientado a documentos livres classificado como *NoSQL*, de código aberto e multiplataforma.

3.2.4 Aplicativos

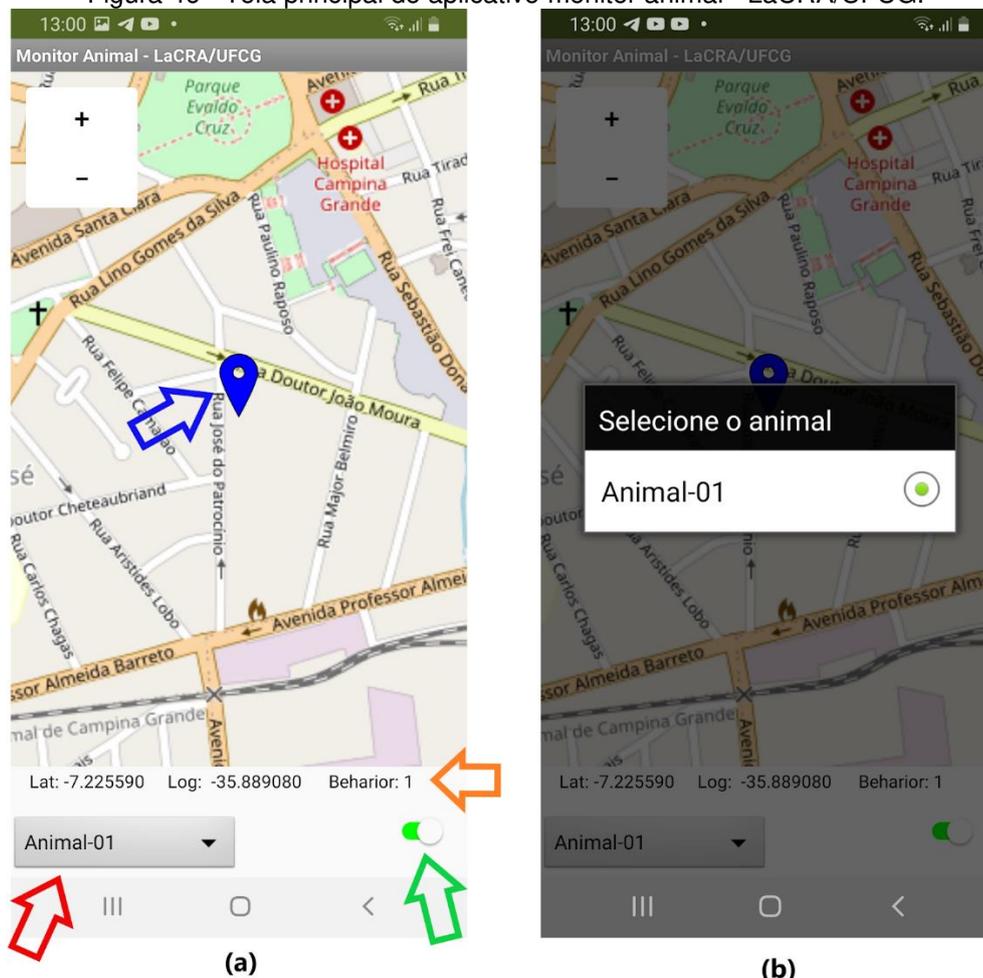
Na criação do aplicativo deste trabalho, componente (4) da Plataforma IoT apresentado na Figura 12, adotou-se o *App Inventor*, uma plataforma de programação orientada a *design* para *smartphones* e *tablets* da família *Google Android*, desenvolvida pelo *Massachusetts Institute of Technology* - MIT em conjunto com a *Google*. Sua utilização deveu-se ao mesmo ser baseada em conceitos de programação que abstrai a complexidade do programa, e normalmente estão presentes nas linguagens tradicionais (FINIZOLA et al., 2014).

Objetivou-se com a implementação do aplicativo, simplificar para os usuários o acesso às informações produzidas pela Plataforma IoT. Atende-se assim, todos perfis de usuário que necessitam das informações produzidas, desde outros pesquisadores a produtores que tenham ou não familiaridade com sistemas de aquisição de dados.

O aplicativo desenvolvido e disponibilizado neste trabalho, foi especificado para apresentar informações sobre a localização e comportamento do animal em tempo real de forma gráfica. Os dados utilizados pelo aplicativo para extrair essas informações foram coletados por meio dos módulos GPS (8) e UMI (7) do *Node* (1) embarcado no animal.

Na Figura 46 são ilustradas as duas telas do aplicativo, (a) a tela principal e (b) a tela de seleção do animal a ser monitorado. Na tela principal, são destacados os principais elementos de informação utilizados pelo aplicativo para interagir com o usuário.

Figura 46 - Tela principal do aplicativo monitor animal - LaCRA/UFCCG.



Fonte: Elaborada pelo autor.

O elemento destacado com a seta azul é o “balão” representa o animal. O elemento destacado com a seta verde é um indicador sobre o qual o aplicativo está conectado ao servidor na nuvem e recebendo informações em tempo real. A seta vermelha destaca o elemento botão ao ser acionado abre a tela, Figura 46 (b), para a escolha do animal a ser monitorado. Por fim, a seta laranja destaca a barra de *status* onde apresenta as informações da latitude, longitude e comportamento do animal de forma textual.

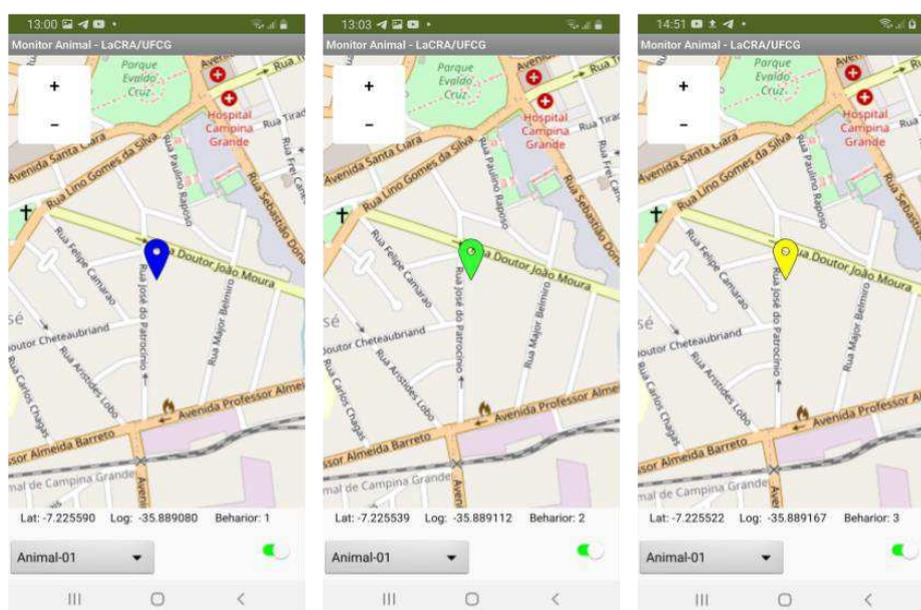
A informação da localização do animal, em tempo real, é apresentada no aplicativo por meio de um mapa sobre o qual é posicionado um ícone em forma de “balão” representando o animal. Os dados utilizados para determinar a posição correta

da representação do animal no mapa foram a latitude e longitude fornecidos pelo módulo GPS (8).

Já a informação sobre o comportamento, também em tempo real, é apresentada de forma gráfica utilizando-se da estratégia de alterar a cor do “balão” de acordo com o comportamento do animal no momento.

Na Figura 47 são ilustradas as telas para os possíveis três comportamentos monitorados. Em (a), utilizou-se o “balão” de cor azul para indicar o comportamento de caminhada; em (b), o comportamento indicado por meio do “balão” na cor verde é de pastando; em (c), o comportamento indicado por meio do “balão” na cor amarela é de ócio.

Figura 47 - Telas do aplicativo apresentando os quatro comportamentos monitorados.



Fonte: Elaborada pelo autor.

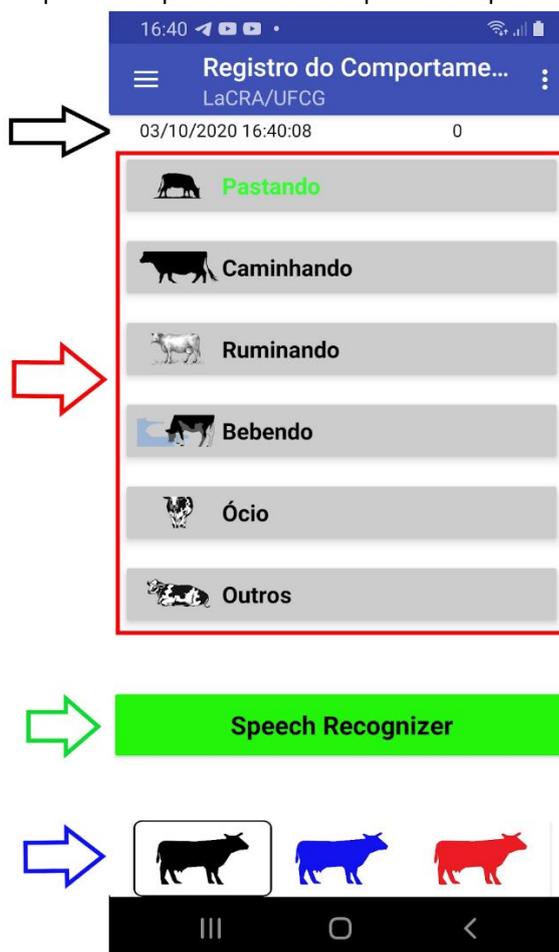
Um segundo aplicativo para celular, que não faz parte da Plataforma IoT, foi desenvolvido como uma ferramenta de apoio na coleta de informações utilizada durante as fases de testes e desenvolvimento da Plataforma IoT. O aplicativo foi usado para registrar o comportamento do animal, que era identificado de forma visual pelo pesquisador, substituindo-se assim, o uso de planilhas preenchidas de forma manual.

Na Figura 48 é ilustrada a tela principal do aplicativo para registro do comportamento. O aplicativo foi desenvolvido para registrar até três animais ao mesmo tempo e seis comportamentos, sendo cinco opções de comportamentos distintos e mais uma opção para os demais casos não especificados.

A utilização do aplicativo consiste em dois passos:

- Passo 1 - escolhe-se uma das seis opções do comportamento, destacado na Figura 48 pela seta vermelha, para isso, basta clicar sobre a barra com o comportamento observado;
- Passo 2 - escolhe-se qual dos três animais, destacado na Figura 48 pela seta azul, deseja-se registrar o comportamento, para isso, é preciso clicar sobre a silhueta do animal e segurar por três segundos.

Figura 48 - Telas do aplicativo apresentando os quatro comportamentos monitorados.



Fonte: Elaborada pelo autor.

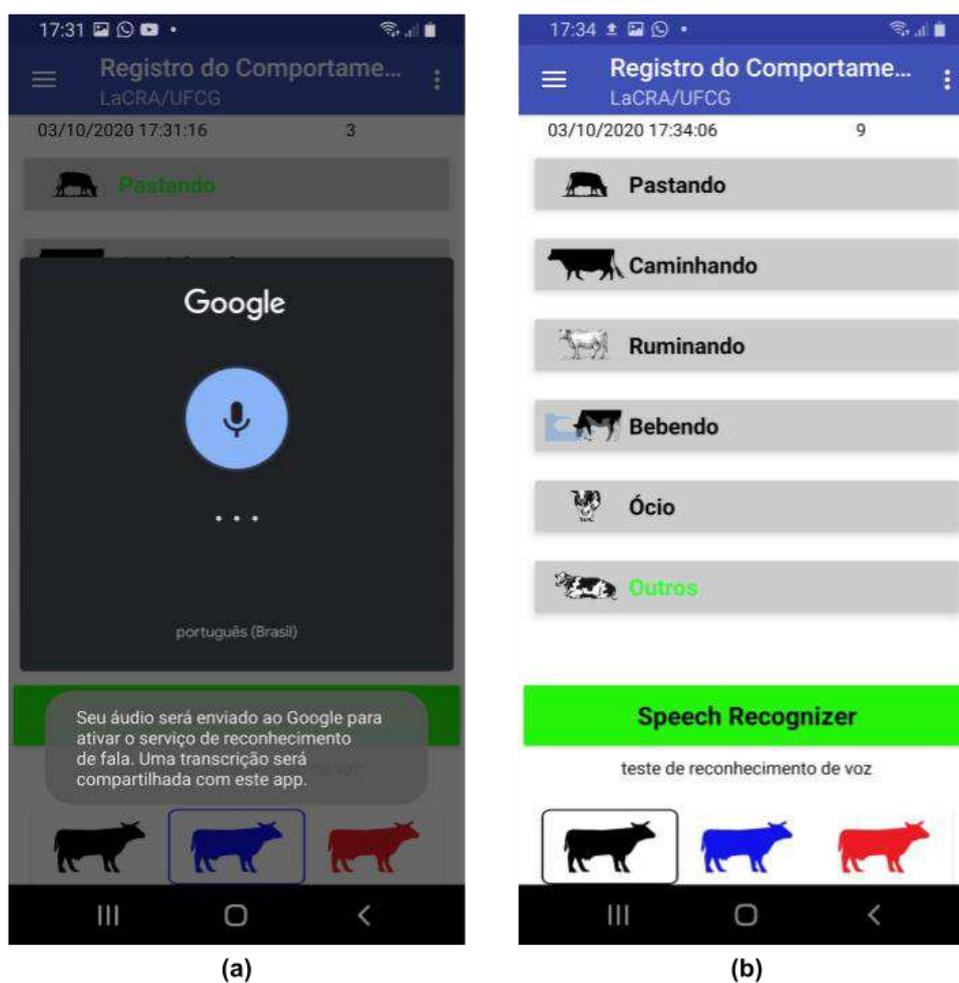
Após executado o passo 2, o aplicativo registra no banco de dados as seguintes informações: o animal selecionado no passo 2, o comportamento selecionado no passo 1 e a data e hora da ocorrência do registro capturada de forma automática pelo aplicativo, como destacada pela seta preta na Figura 48.

Foi implementado também, uma segunda forma para utilização do aplicativo, essa faz uso da capacidade de reconhecimento de fala dos celulares para registrar o comportamento do animal de forma mais detalhada.

A diferença para a forma de utilização anterior, é que nessa o usuário irá clicar no botão “*Speech Recognizer*” por três segundos, destacado pela seta verde na Figura 48, e o aplicativo irá abrir o reconhecedor de fala do celular para que usuário fale qual é o comportamento observado do animal. Após concluir a fala, o aplicativo irá mostrar a frase reconhecida para que o usuário verifique se ocorreu o correto reconhecimento.

Para enviar o registro para o banco de dados, basta executar o passo 2 descrito acima, e todo o processo de inclusão da nova informação também obedecerá a sequência da forma anterior. Na Figura 49 são ilustradas as telas com o reconhecedor de fala do celular ativo e logo depois do reconhecimento, o retorno a tela do aplicativo com a frase reconhecida.

Figura 49 - Telas do reconhecedor de fala e do aplicativo de registro de comportamento.



Fonte: Elaborada pelo autor.

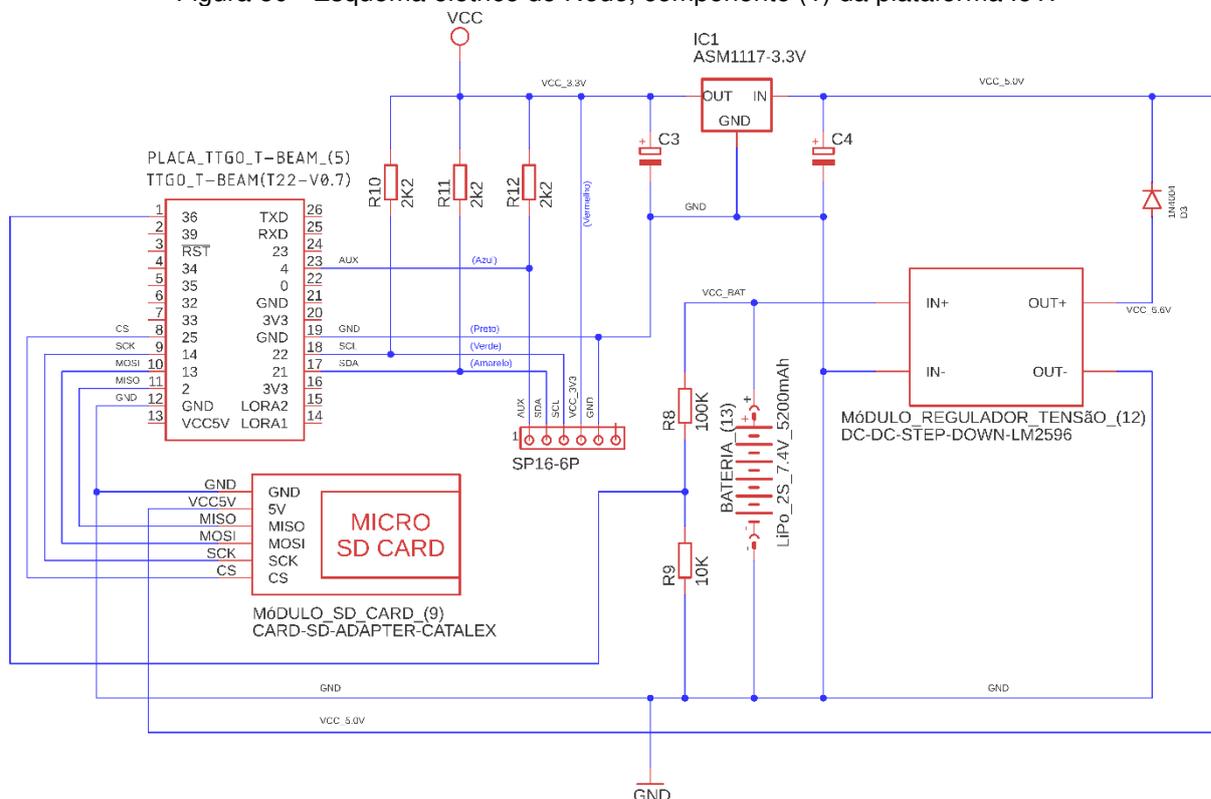
3.3 Esquemas dos circuitos elétricos

Na elaboração dos esquemas elétricos dos *hardwares* desenvolvidos neste trabalho foi utilizado o *Autodesk EAGLE*, um aplicativo de automação de projeto eletrônico (*Electronic Design Automation - EDA*) com recursos para editor de esquema elétrico e de *layout* de placa de circuito impresso (PCI), roteador automático para PCI e manufatura auxiliada por computador (*Computer-Aided Manufacturing - CAM*) pertencente a *Autodesk Inc.*

Adotou-se o *Autodesk EAGLE*, por ser um dos aplicativos de desenvolvimento de projetos eletrônicos que abrange todas as etapas do ciclo de desenvolvimento de uma PCI, da criação do esquemático do circuito a geração dos arquivos *gerber* utilizados nas empresas de fabricação de PCI e com uma das curvas de aprendizagem mais branda. Além disso, a *Autodesk* disponibiliza uma versão gratuita para uso não comercial (AUTODESK, 2020).

Na Figura 50 tem-se o circuito elétrico do *Node*, componente (1), da Plataforma IoT proposta neste trabalho. No esquema pode-se observar a Placa *TTGO T-Beam* (5), o Módulo *SD Card* (9), o Módulo Regulador de Tensão (12) e a Bateria (13).

Figura 50 - Esquema elétrico do *Node*, componente (1) da plataforma IoT.



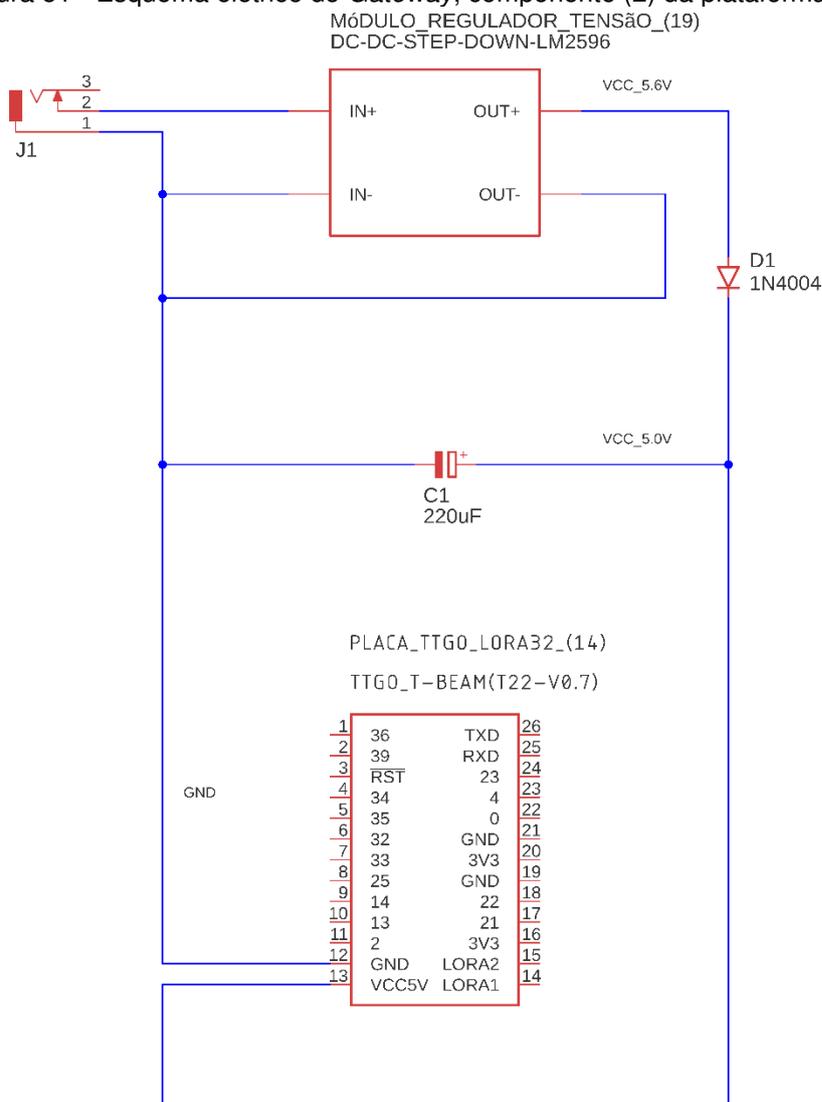
Fonte: Elaborada pelo autor.

Os Módulos GPS (8) e LoRa (10) são integrados na Placa *TTGO T-Beam* (5) e seus circuitos elétricos podem ser vistos na Figura 29 e Figura 33.

Já os Módulos PPG (6) e UMI (7) são módulos externos que são conectados por meio do conector SP16-6P e o seu circuito elétrico foi apresentado na Figura 23.

Na Figura 51 tem-se o esquema do circuito elétrico do *Gateway*, componente (2), da Plataforma IoT proposta neste trabalho. No esquema observa-se a Placa *TTGO LoRa32* (14), o Módulo Regulador de Tensão (17) e o plugue P4 utilizado para a conexão da Fonte CA/CC (18) ou da Bateria (19). O Módulo LoRa (15) é integrado na Placa *TTGO LoRa32* (14) e o esquema elétrico é o mesmo já ilustrado na Figura 33.

Figura 51 - Esquema elétrico do *Gateway*, componente (2) da plataforma IoT.



Fonte: Elaborada pelo autor.

3.4 Firmware

Na elaboração do *firmware* usou-se o *PlatformIO IDE*, um ambiente de programação integrado para desenvolvimento de sistemas embarcados. Ele reúne um conjunto de ferramentas que dá suporte aos principais *frameworks* de prototipagem de *hardware*, incluindo-se os utilizados no desenvolvimento para *ESP32*, o *framework* específico *ESP-IDF* e também o *framework* para *Arduino* que foi utilizado neste trabalho (PLATFORMIO, 2020).

O *PlatformIO* é uma extensão do *VSCode*, um editor de código fonte de código aberto desenvolvido pela *Microsoft*, altamente customizável, com suporte para depuração, sistema de controle de versões e complementação inteligente de código para várias linguagens de programação. A extensão *PlatformIO* possibilita que sejam desenvolvidos *firmwares* para vários microcontroladores (KAHLERT; GIZA, 2016).

O termo *Firmware* foi cunhado por Ascher Opler em 1967 para designar os microprogramas que residem na memória de um computador, os quais controlam diretamente o *hardware*, em muitos casos sem intermédio de um sistema operacional e são armazenados em memórias não voláteis, como os presentes nos sistemas embarcados (TAN et al., 2017).

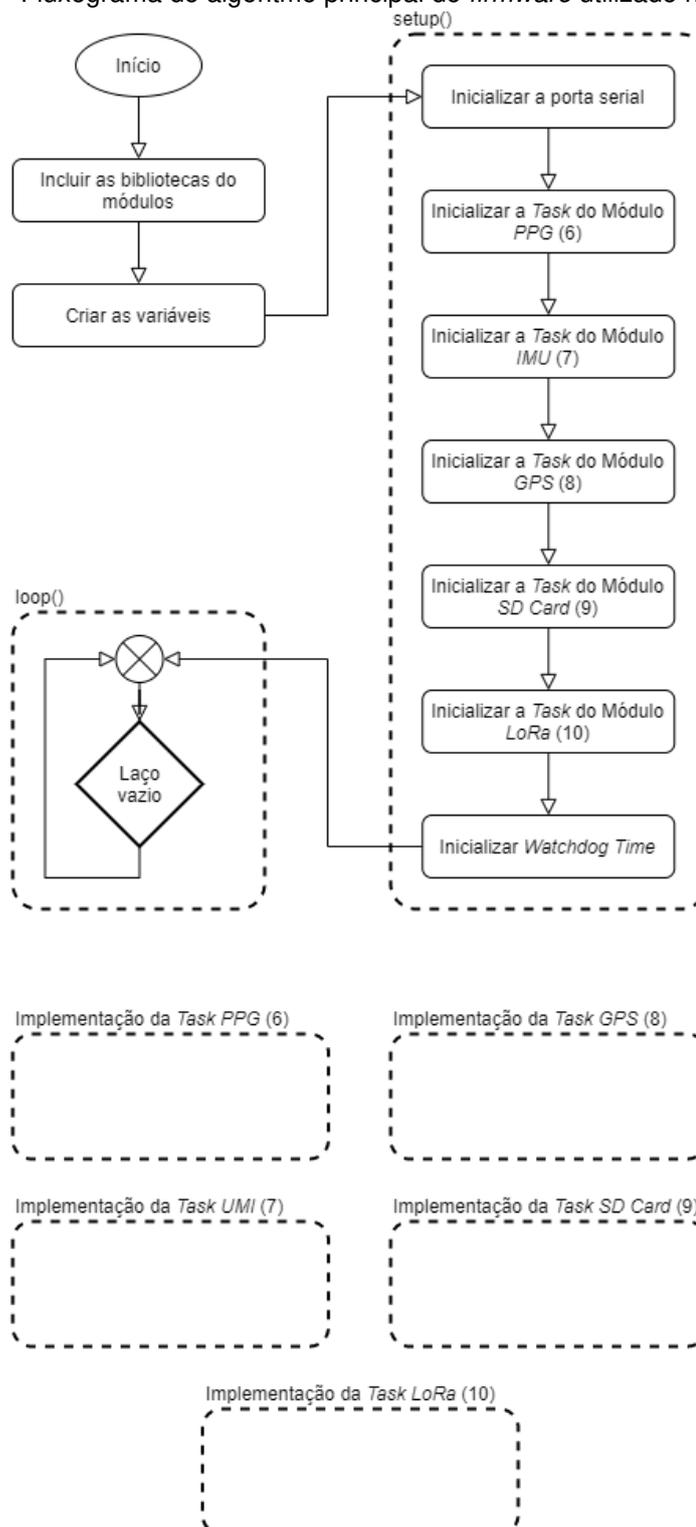
Foram desenvolvidos dois *firmwares* para este trabalho, um para o *Node*, componente (1), e o segundo para o *Gateway*, componente (2), da plataforma. Os dois *hardwares* são baseados no microcontrolador do *ESP32* e adotou-se o uso do *framework* para *Arduino* devido à maior disponibilidade de bibliotecas para os módulos utilizados em comparação aos disponíveis para o *framework ESP-IDF*.

Os *firmwares* para *Arduino* são tipicamente estruturados em duas partes ou rotinas, uma rotina de inicialização, denominada de “*setup*”, em que são instanciados todos os módulos por meio das suas bibliotecas e uma rotina principal, denominada de “*loop*”, na qual é implementada toda a lógica do algoritmo.

Nos *firmwares* para o *Node* (1) e *Gateway* (2) foram utilizadas uma estrutura diferente, no qual, faz-se uso de múltiplas tarefas (*Tasks*), para tirar proveito dos dois núcleos do microcontrolador *Xtensa LX6* utilizado no *ESP32*.

Na Figura 52 é ilustrado o fluxograma para o algoritmo do *Node* (1). Adotou-se utilizar uma tarefa exclusiva para cada um dos Módulos PPG (6), UMI (7), GPS (8), *SD Card* (9) e LoRa (10).

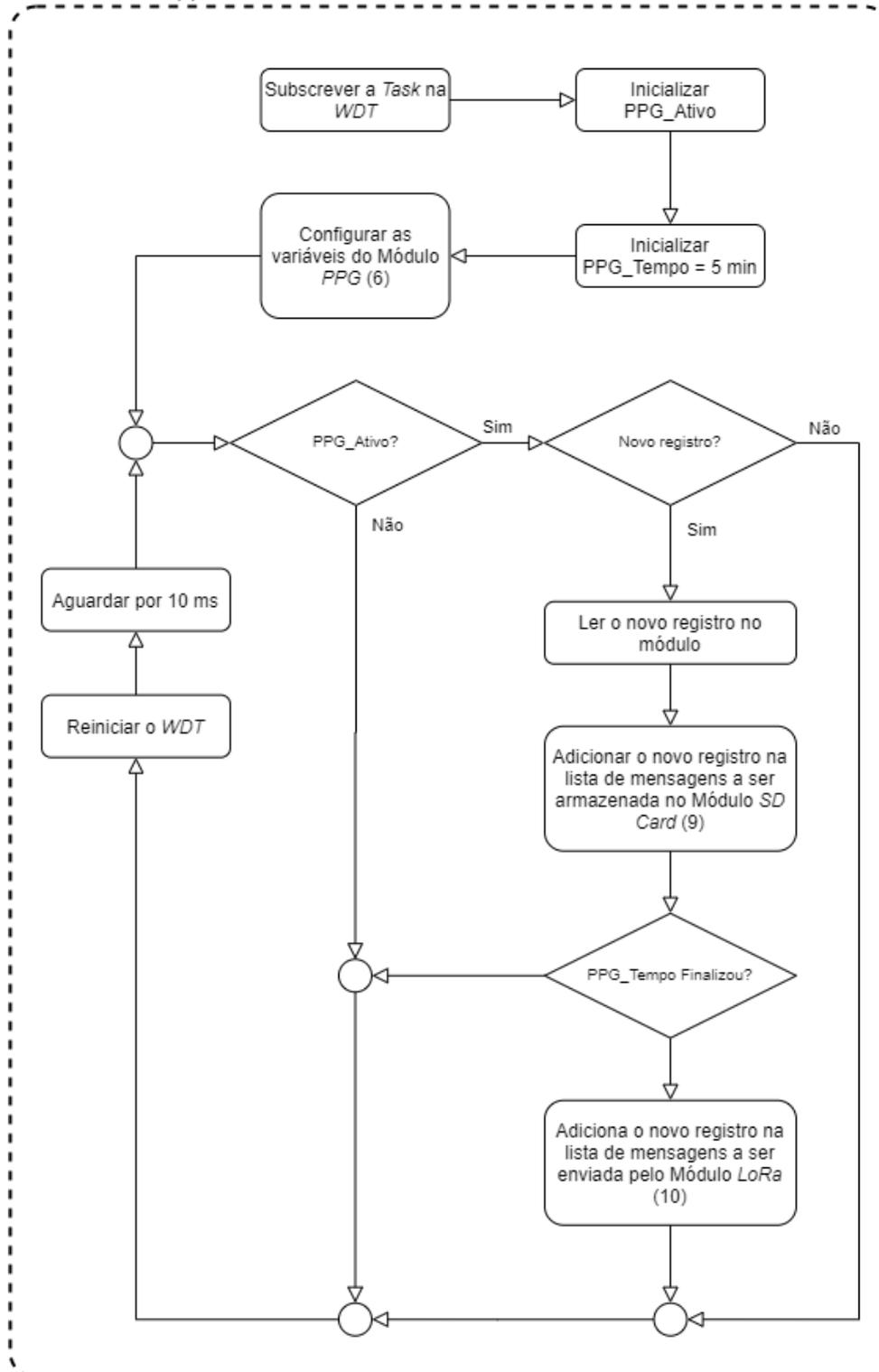
Figura 52 - Fluxograma do algoritmo principal do *firmware* utilizado no *Node* (1).



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na Figura 53 é ilustrado o fluxograma para o algoritmo da *Task* PPG (6) do *Node* (1). Programou-se o núcleo 1 para executar a *Task* PPG (6).

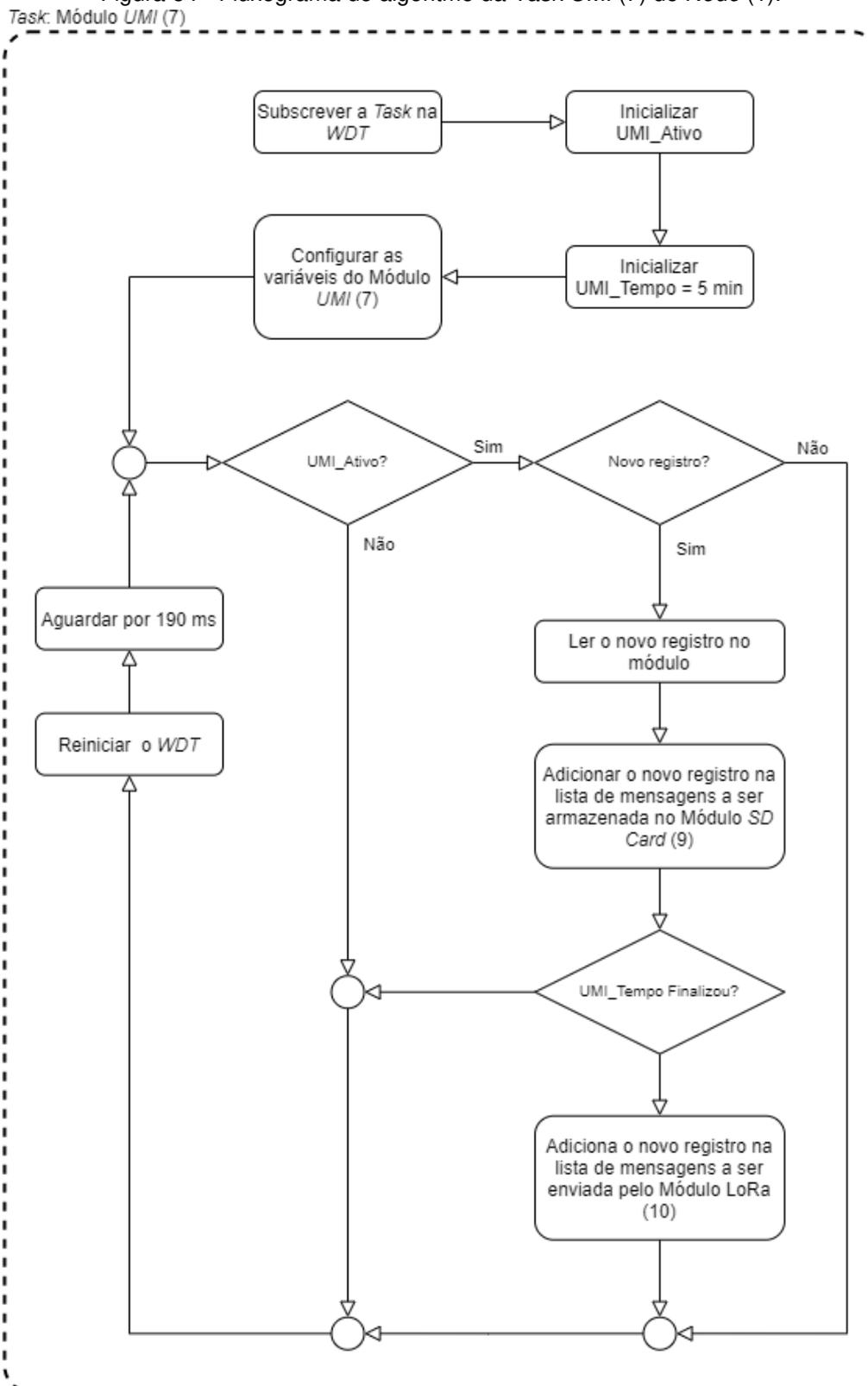
Figura 53 - Fluxograma do algoritmo da *Task* PPG (6) do *Node* (1).
Task: Módulo PPG (6)



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na Figura 54 é ilustrado o fluxograma para o algoritmo da *Task* UMI (7) do *Node* (1). Programou-se o núcleo um para executar a *Task* UMI (7).

Figura 54 - Fluxograma do algoritmo da *Task* UMI (7) do *Node* (1).

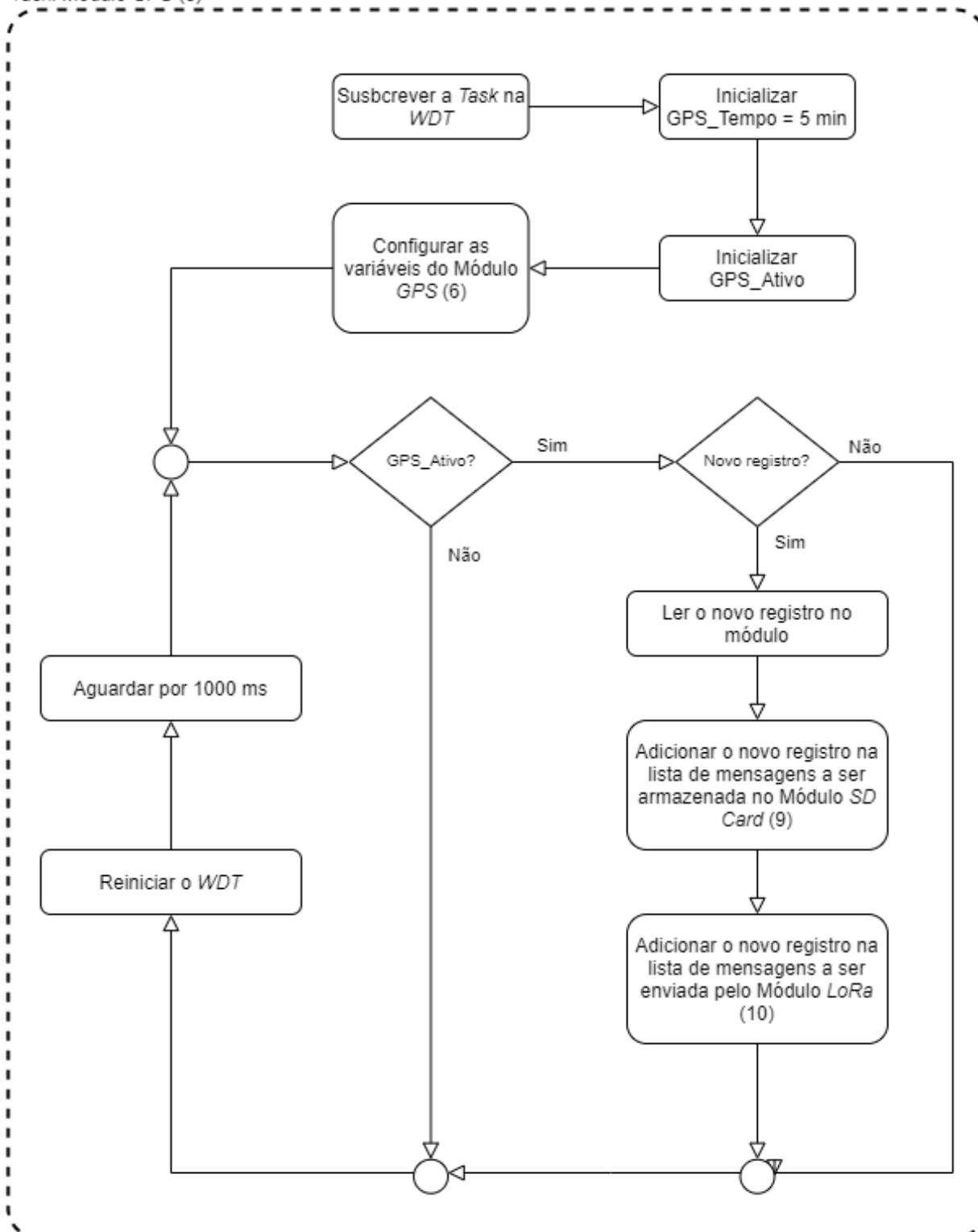


Fonte: Elaborada pelo autor.

Na Figura 55 é ilustrado o fluxograma para o algoritmo da *Task* GPS (8) do *Node* (1). Programou-se o núcleo zero para executar a *Task* GPS (8).

Figura 55 - Fluxograma do algoritmo da *Task* GPS (8) do *Node* (1).

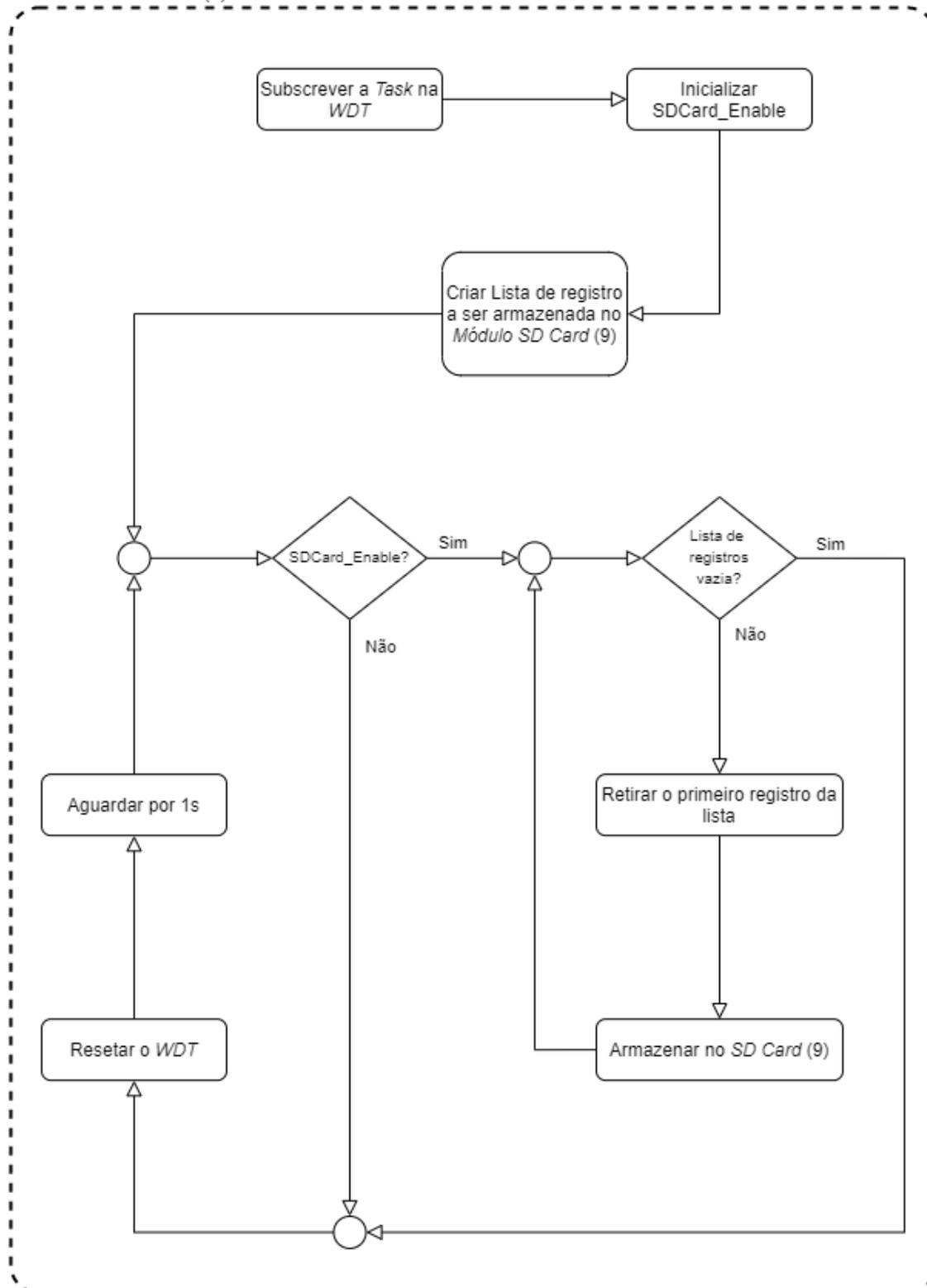
Task: Módulo GPS (8)



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na Figura 56 é ilustrado o fluxograma para o algoritmo da *Task SD Card* (9) do *Node* (1). Programou-se o núcleo zero para executar a *Task SD Card* (9).

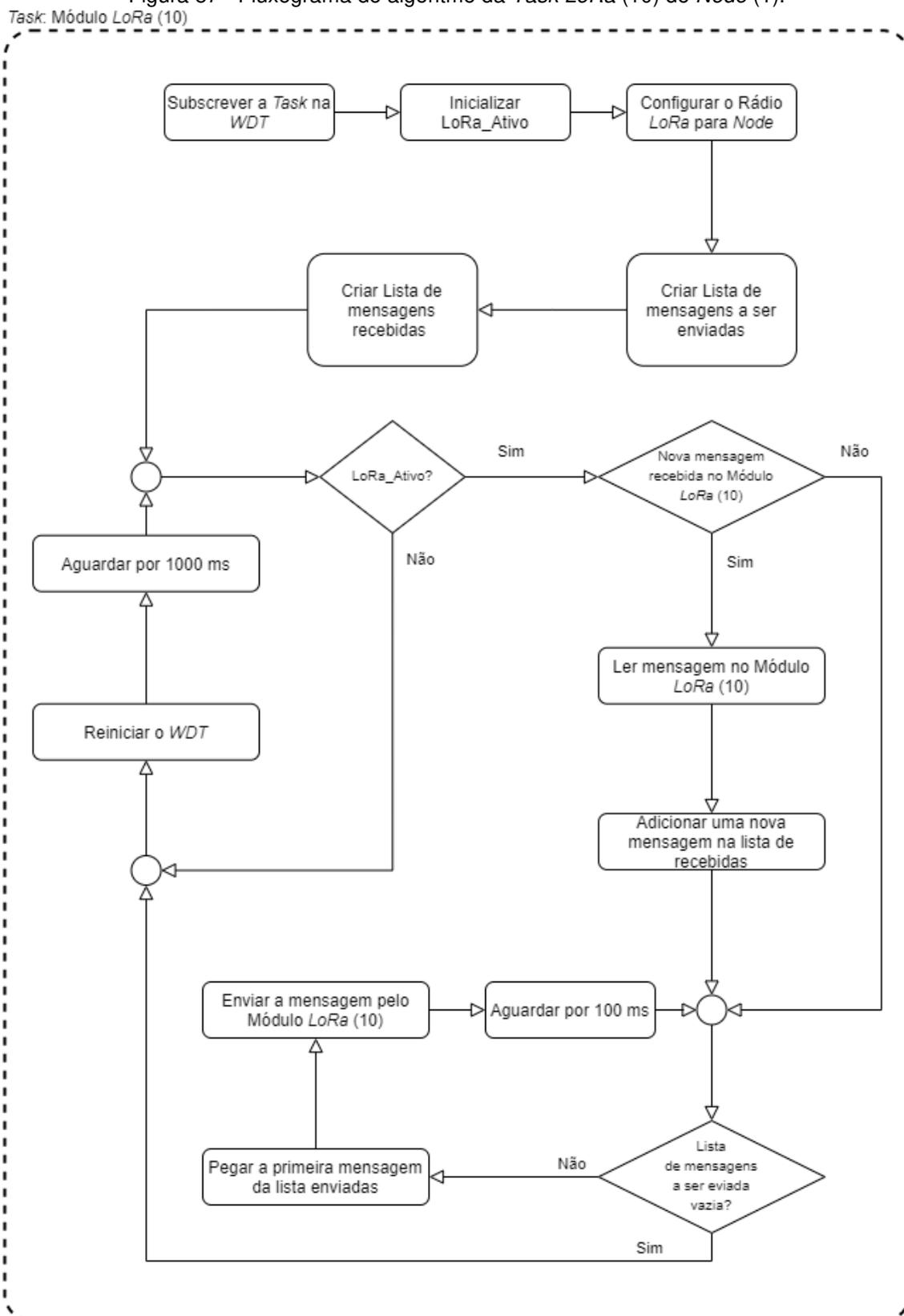
Figura 56 - Fluxograma do algoritmo da *Task SD Card* (9) do *Node* (1).
Task: Módulo *SD Card* (9)



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na Figura 57 é ilustrado o fluxograma para o algoritmo da *Task LoRa* (10) do *Node* (1). Programou-se o núcleo um para executar a *Task LoRa* (10).

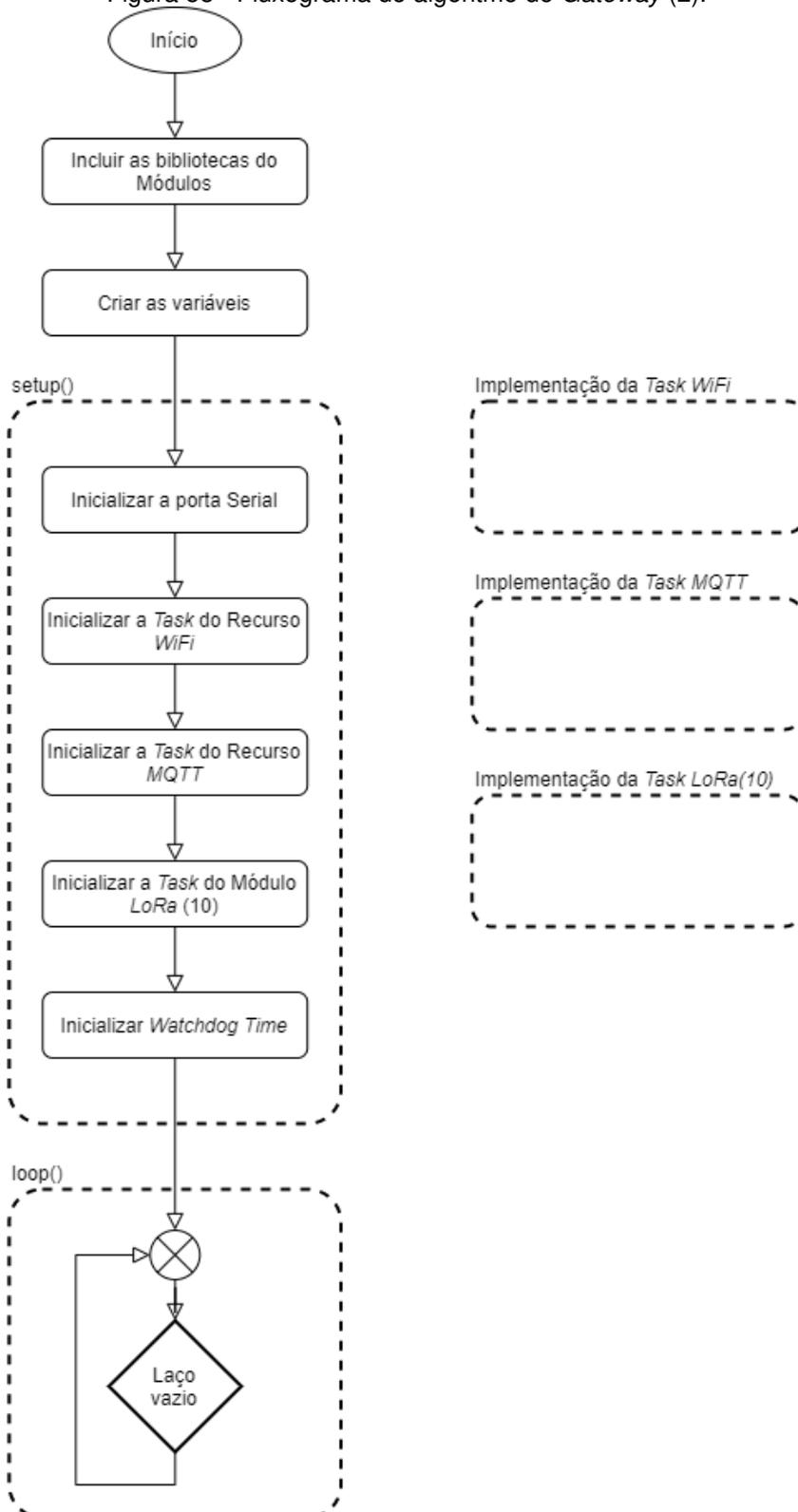
Figura 57 - Fluxograma do algoritmo da *Task LoRa* (10) do *Node* (1).



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na Figura 58 é ilustrado o fluxograma para o algoritmo do *Gateway* (2). Adotou-se uma tarefa exclusiva para cada um dos recursos *Wi-Fi* e MQTT e uma para o Módulo LoRa (10).

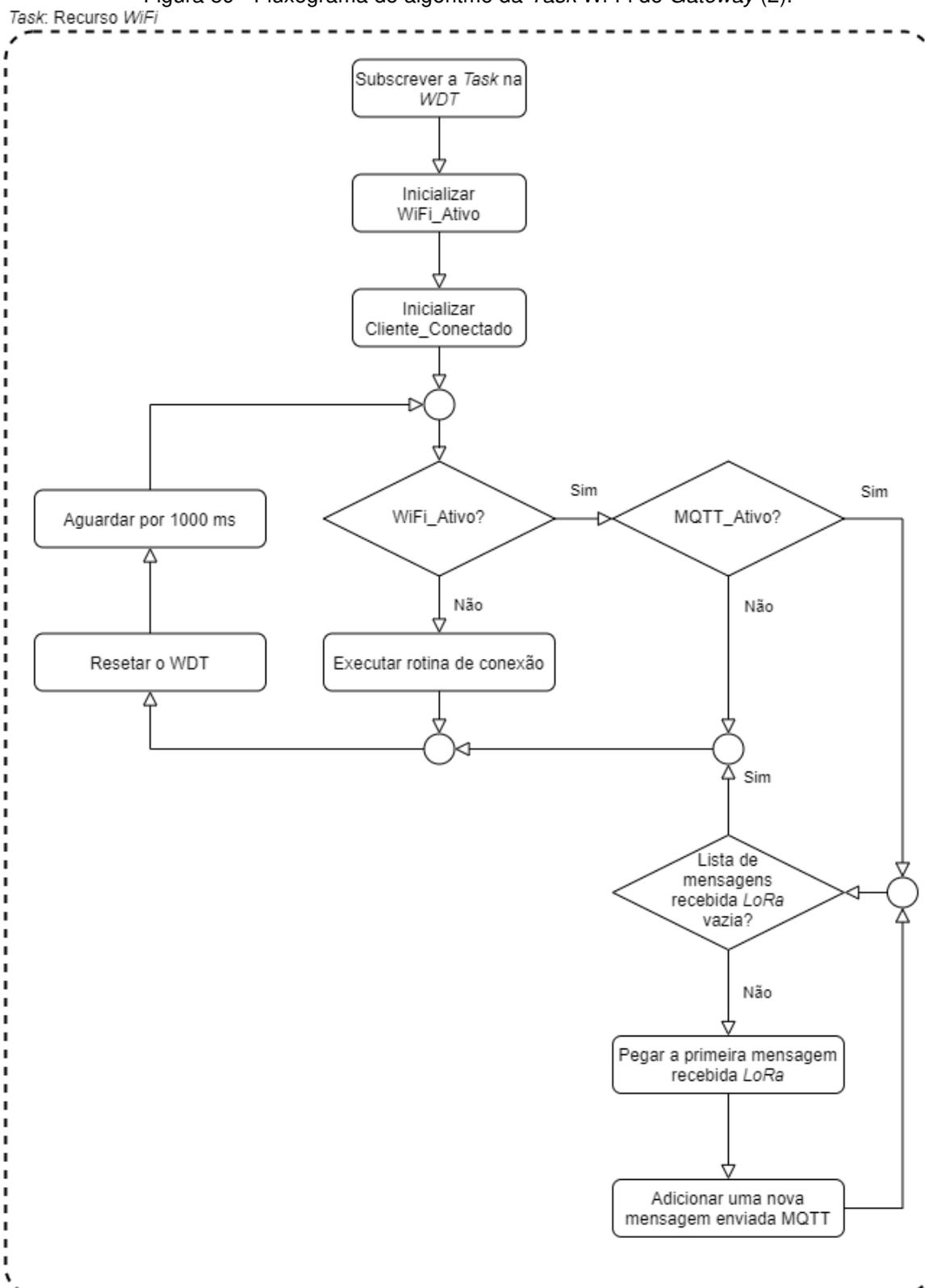
Figura 58 - Fluxograma do algoritmo do *Gateway* (2).



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na Figura 59 é ilustrado o fluxograma para o algoritmo da *Task Wi-Fi* do *Gateway (2)*. Programou-se o núcleo 0 (zero) para executar a *Task Wi-Fi*.

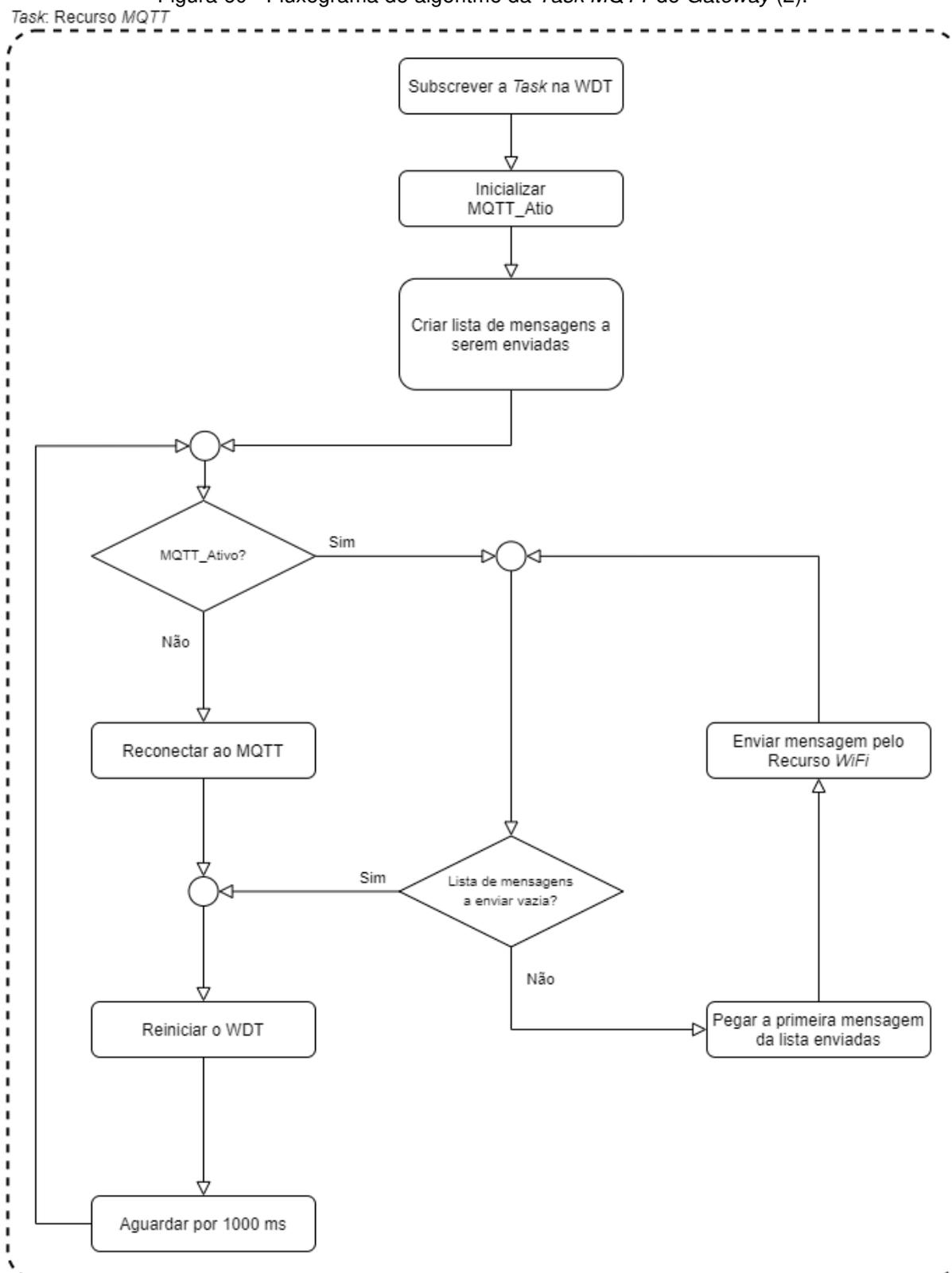
Figura 59 - Fluxograma do algoritmo da *Task Wi-Fi* do *Gateway (2)*.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na Figura 60 é ilustrado o fluxograma para o algoritmo da *Task MQTT* do *Gateway (2)*. Programou-se o núcleo 0 (zero) para executar a *Task MQTT*.

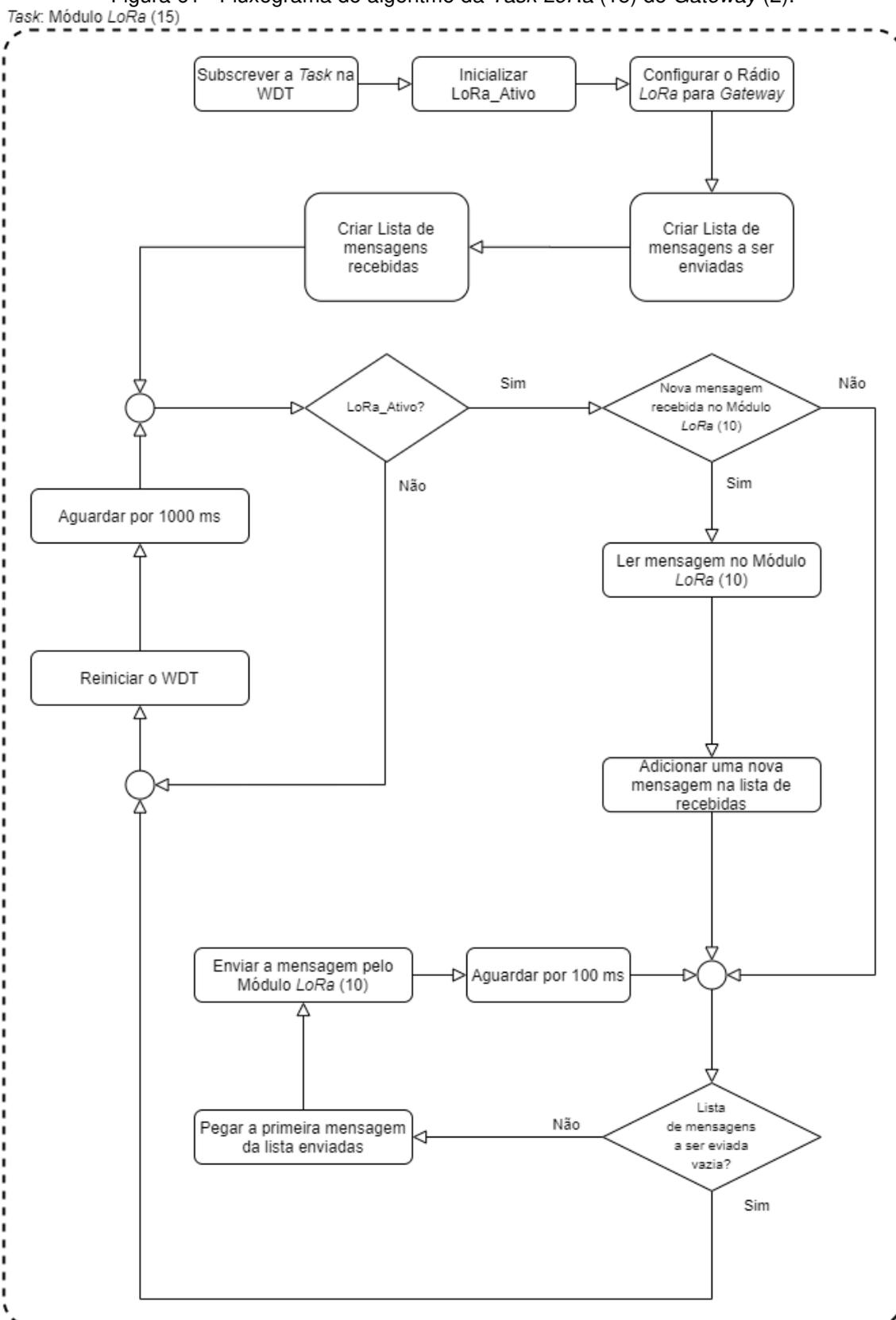
Figura 60 - Fluxograma do algoritmo da *Task MQTT* do *Gateway (2)*.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na Figura 61 é ilustrado o fluxograma para o algoritmo da *Task LoRa* (15) do *Gateway* (2). Programou-se o núcleo um para executar a *Task LoRa* (15).

Figura 61 - Fluxograma do algoritmo da *Task LoRa* (15) do *Gateway* (2).



Fonte: Elaborada pelo autor.

3.5 Aferição de sensores

Os testes realizados para validar o correto funcionamento dos módulos que compõem a Plataforma IoT proposta neste trabalho foram: aferição do sensor do Módulo PPG (6), aferição do sensor do Módulo UMI (7) e aferição do Módulo GPS (8). Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey e Student (t) ao nível de 5% de probabilidade pelo PROC GLM (SAS, 2001).

3.5.1 Aferição do sensor do Módulo PPG (6)

No desenvolvimento do Módulo PPG (6) foram realizados testes reais em campo com animais com objetivo de validar o funcionamento do módulo na captura do sinal PPG e da TSC.

Nesses testes foram utilizados três bovinos da linhagem Girolando com aproximadamente 168 meses de idade e peso de 400 Kg, pertencentes ao Laboratório de Bovinocultura do Departamento de Zootecnia, do Campus II da Universidade Federal da Paraíba. O período experimental foi de setembro a outubro de 2020.

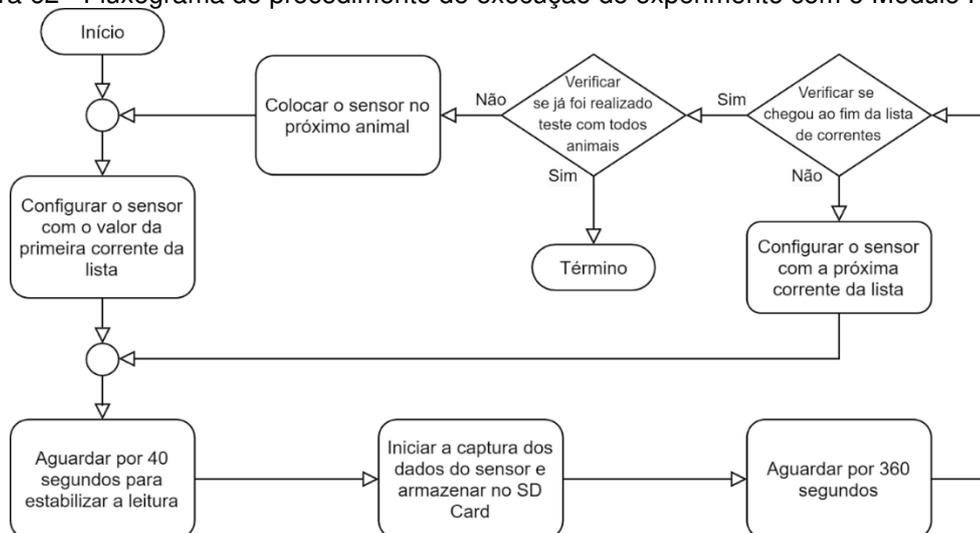
No teste de captura do sinal PPG e da TSC, além da aferição do sensor do Módulo PPG (6), também foi realizado o teste de integração da Placa *TTGO T-Beam* (5), com os Módulos PPG (6), *SD Card* (9), LoRa (10), Regulador de Tensão (12) e Bateria (13).

Para a realização da aferição foi instalado um sensor ótico, responsável por coletar o sinal PPG e a TSC, na parte interna da orelha do animal e o sensor foi conectado ao *Node* (1) responsável por armazenar os dados coletados pelo sensor e também enviá-los para um banco de dados na nuvem.

Buscou-se com esse teste de aferição verificar se há relação entre a intensidade da corrente aplicada no LED do sensor e o número de extração bem sucedida da FC do animal. A corrente de alimentação do LED foi configurada nos valores (6,0; 8,0; 10,0; 11,0; 12,0; 14,0 e 16,0) mA. Também foram realizadas a comparação dos dados da TCS coletados pelo sensor do Módulo PPG (6) e por um termômetro infravermelho *Fluke 62Max* que tem uma precisão para leitura de $\pm 1,5$ °C ou $\pm 1,5\%$ e a FC extraída do sinal PPG com os valores mensurado por uma especialista utilizando um estetoscópio.

Para cada um dos três animais escolhidos de forma aleatória, foi executado o procedimento seguindo o fluxograma apresentado na ilustração da Figura 62.

Figura 62 - Fluxograma do procedimento de execução do experimento com o Módulo PPG (6).



Fonte: Elaborada pelo autor.

3.5.2 Aferição dos sensores do Módulo UMI (7)

Objetivou-se com esse teste avaliar a acurácia dos sensores, acelerômetro, giroscópio e magnetômetro, do circuito integrado MPU-9250 empregados no Módulo UMI (7) na mensuração do ângulo *Pitch* dos Ângulos de *Euler*. Os testes foram realizados no Laboratório de Construções Rurais e Ambiente - LaCRA, da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola (UAEA), da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG no mês de outubro de 2020.

Nesse teste foi utilizado além do *Node* (1), uma plataforma confeccionada para suportar o sensor do Módulo UMI (7) e o celular. A plataforma contém uma placa móvel utilizada para posicionar o sensor e o celular nos ângulos predefinidos para o teste.

A base da plataforma tem dimensões de 420 mm x 150 mm na qual foi instalada uma placa móvel com dimensões de 240 mm x 150 mm confeccionadas com chapas de MDF de 15 mm de espessura. Na conexão da base com a placa móvel foram utilizadas duas dobradiças de metal. O celular utilizado foi um *Samsung* modelo *S9* que utiliza o sistema *Android* no qual foi instalado o *APP Multi Clinometer* da *Calmetrics* que utilizando-se dos sensores UMI do celular fornece informação do ângulo *Pitch*.

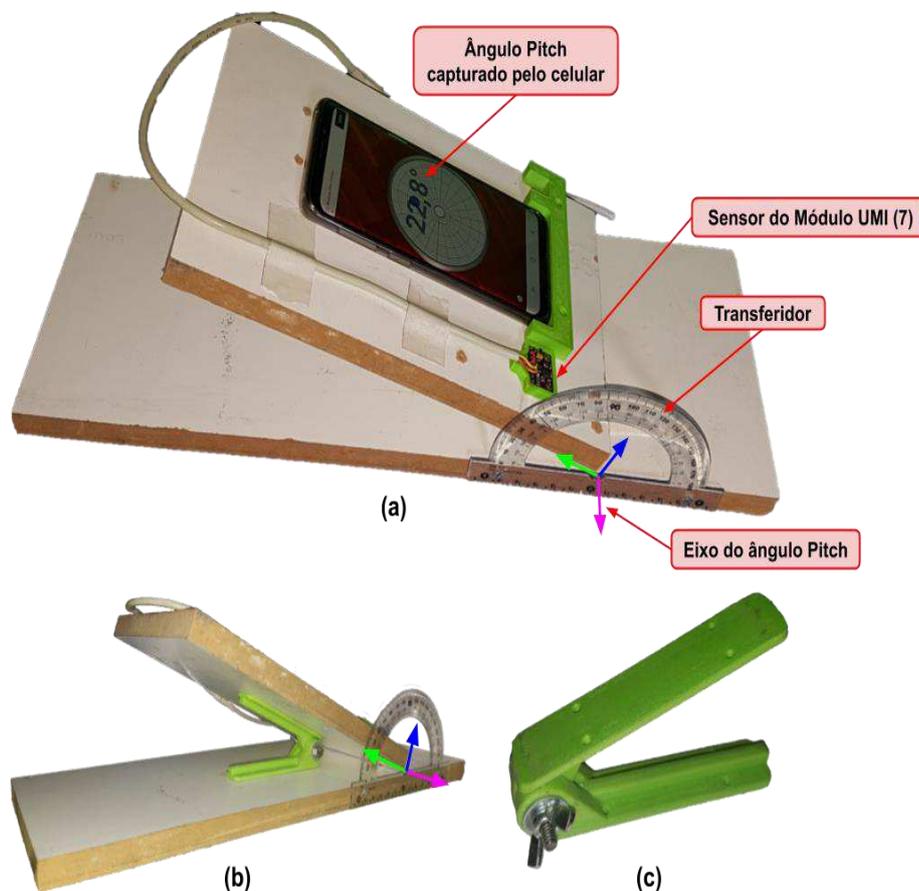
O transferidor foi fixado na base da plataforma e seu ponto zero foi posicionado no eixo formado entre a base e a placa móvel da plataforma para que fosse possível colocar a placa móvel da plataforma nos ângulos utilizados no teste.

Modelou-se um suporte para o celular no *software 3D Fusion 360* da *Autodesk* e depois esse suporte foi prototipado por meio de uma impressora 3D utilizando de material ABS na cor verde. Também foi modelado e prototipado um suporte articulado utilizado para suportar a placa móvel nos ângulos de interesse do teste de aferição.

Na Figura 63 são ilustradas a: (a) Vista superior plataforma; (b) Vista lateral da plataforma; e o (c) Suporte articulado, componentes e equipamentos utilizados no teste para verificar a acurácia do Módulo UMI (7).

A placa móvel da mesa de madeira foi usada como plano de referência para o Módulo UMI (7) e o celular, a inclinação deste plano era estabelecida com o auxílio de um transferidor. O celular foi utilizado como testemunha, por possuir um sensor de UMI.

Figura 63 - (a) Vista superior da plataforma de MDF, (b) Vista lateral da plataforma de MDF, (c) Suporte articulado da placa móvel.

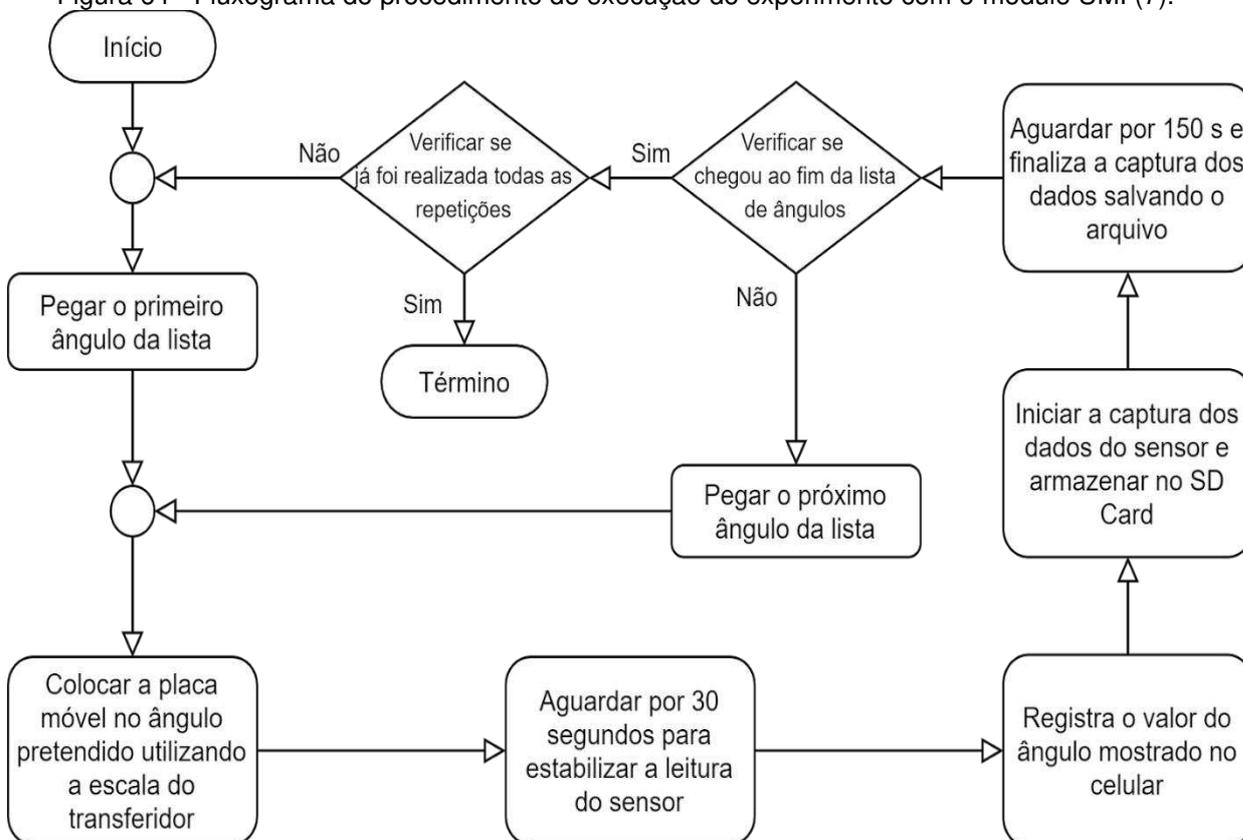


Fonte: Elaborada pelo autor.

Na execução do teste de aferição foram sorteados de forma aleatória, por meio do *site* www.sorteios.org, 10 ângulos entre 10° e 90°. Os ângulos sorteados foram (23, 25, 33, 39, 49, 53, 63, 76, 83 e 88). Esses ângulos serão comparados com os ângulos *Pitch* capturados pelo sensor do Módulo UMI (7) e também por meio do celular.

Para cada um dos ângulos da lista foi executado o procedimento seguindo o fluxograma apresentado na ilustração da Figura 64. Foram realizadas dez repetições do teste de aferição.

Figura 64 - Fluxograma do procedimento de execução do experimento com o módulo UMI (7).



Fonte: Elaborada pelo autor.

3.5.3 Aferição do Módulo GPS (8)

Neste teste objetivou-se confirmar a acurácia de 2,5 m informada no *datasheet* do GPS baseado no NEO-6 da *u-blox* utilizado no Módulo GPS (8). Foi coletado nos testes os dados da latitude e longitude de quatro pontos distantes de 10 m um dos outros, formando a figura de um quadrado. O teste foi repetido por seis vezes.

Os quatro pontos foram marcados em uma quadra pertencente ao Clube Campestre localizada na cidade de Campina Grande, PB. Esse local foi escolhido pois

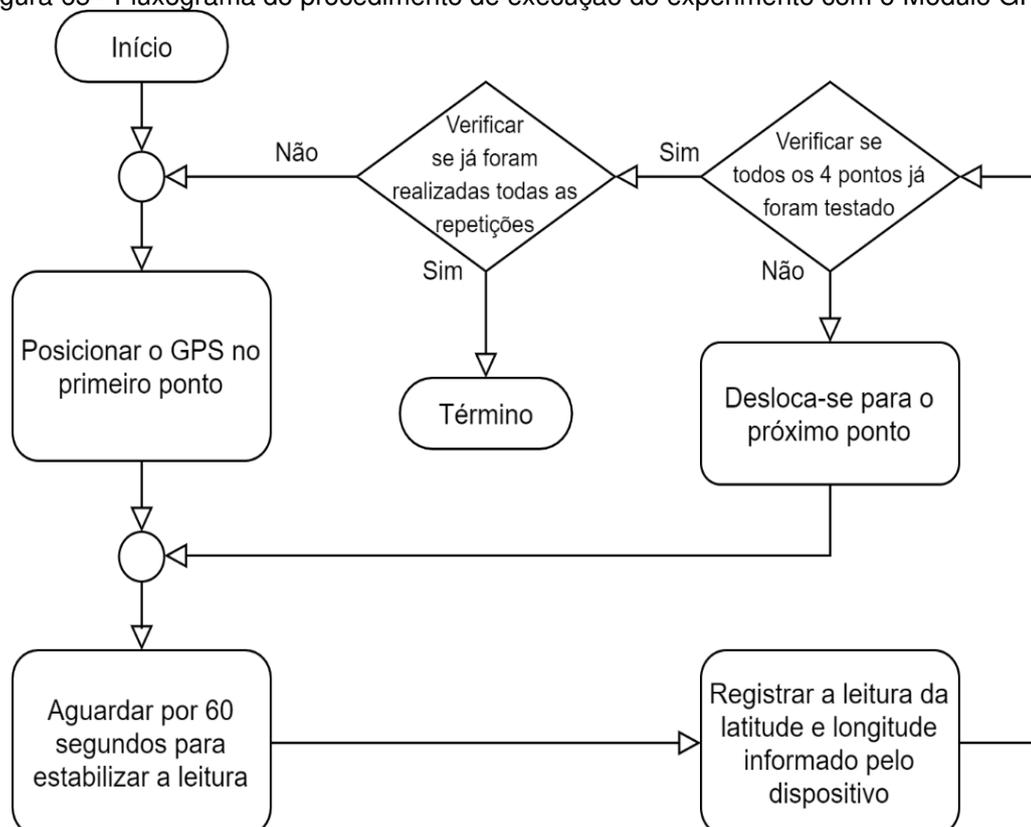
buscou-se uma área livre de obstáculos que pudesse reduzir a quantidade e / ou qualidade do sinal enviados dos satélites que afeta diretamente a acurácia do GPS. O teste foi realizado no mês de outubro de 2020.

No teste foram utilizados os seguintes equipamentos:

- *Node* (1) baseado na placa *TTGO T-Beam* (5) equipada com um Módulo GPS, um módulo de armazenamento tipo *SDCard*, um módulo de transceptor LoRa para transmissão de longo alcance e uma bateria de LiPo com 5200 mAh para alimentar o *Node*;
- Um *Gateway* de interface LoRa baseado na placa *TTGO LoRa32 V1* equipada com um módulo de transceptor LoRa para transmissão de longo alcance e módulo de rede sem fio padrão 802.11 b/g/n;
- Servidor virtual com o protocolo MQTT (*Broker*);
- Uma trena de 30 m para marcar os pontos na quadra de tênis;
- Quadra de tênis do Clube Campestre.

A execução do teste de aferição seguiu o procedimento apresentado no fluxograma ilustrado na Figura 65. Foram realizadas cinco repetições do teste de aferição.

Figura 65 - Fluxograma do procedimento de execução do experimento com o Módulo GPS (8).



Fonte: Elaborada pelo autor.

3.6 Experimento de monitoramento e rastreamento

Neste teste de funcionalidade foi verificada a capacidade da plataforma em rastrear o deslocamento do animal no pasto e transmitir sua localização em tempo real para ser armazenado no banco de dados na nuvem. Também foi observado do o funcionamento do algoritmo classificador do comportamento ingestivo para as atividades de pastejar, ócio e caminhar.

O experimento foi realizado no Laboratório de Bovinocultura do Departamento de Zootecnia, do Campus II da Universidade Federal da Paraíba entre os meses de setembro e outubro de 2020.

No teste foram utilizados os seguintes equipamentos e animais:

- Um animal da linhagem Girolando fêmea com idade e peso aproximados de 108 meses e 380 kg respectivamente;
- Um cabresto em material nylon modificado para ser equipado com o *Node*;
- *Node* (1) baseado na placa *TTGO T-Beam* (5) equipada com um Módulo GPS, um módulo sensor UMI, um módulo de armazenamento tipo *SDCard*, um módulo de transceptor LoRa para transmissão de longo alcance e uma bateria de LiPo com 5200 mAh para alimentar o *Node*;
- Um *Gateway* de interface LoRa baseado na placa *TTGO LoRa32 V1* equipada com um módulo de transceptor LoRa para transmissão de longo alcance e módulo de rede sem fio padrão 802.11 b/g/n;
- Servidor virtual com o protocolo MQTT (*Broker*).

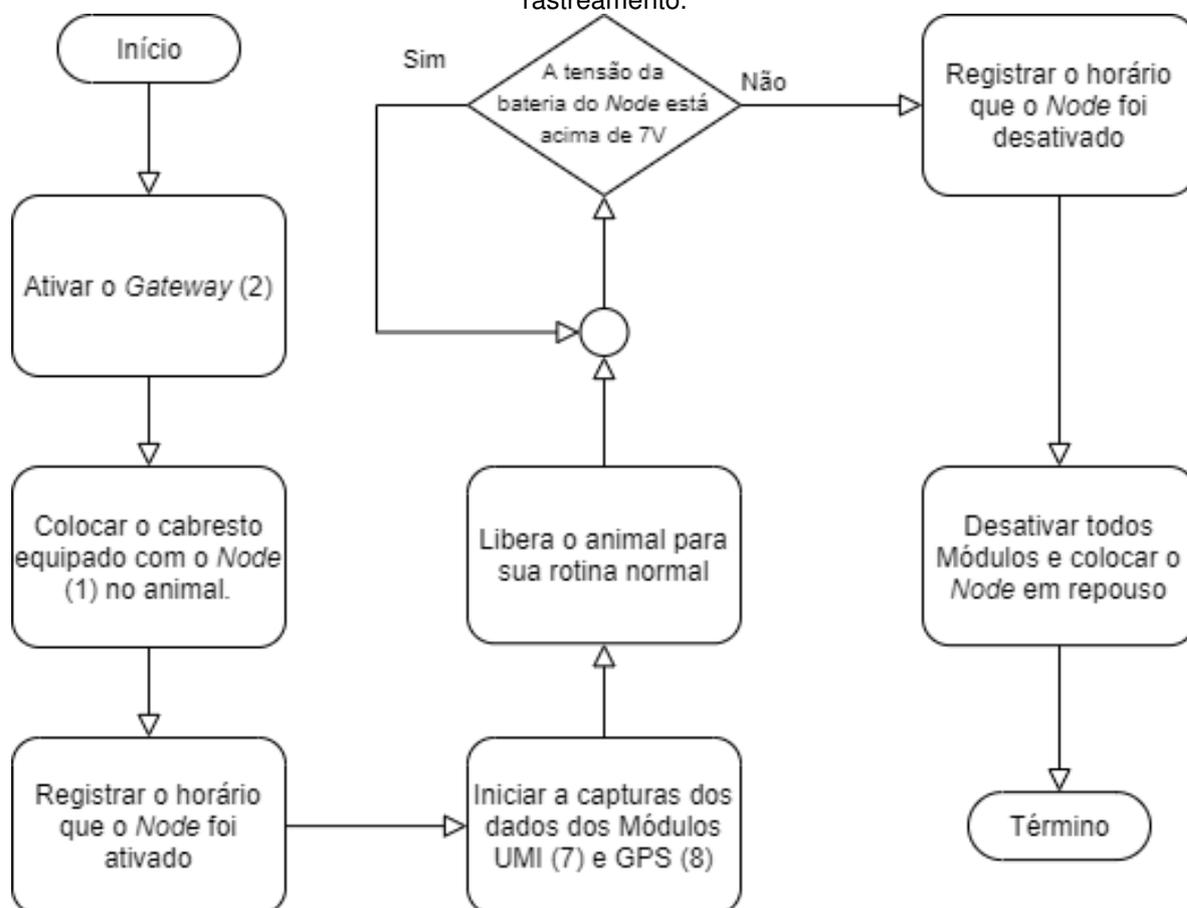
Na execução do teste foi escolhido de forma aleatória um animal do plantel no qual foi colocado o cabresto equipado com o *Node* (1). Após a instalação do cabresto no animal o mesmo foi liberado para voltar a sua rotina.

Ao mesmo tempo, o *Gateway* (2) foi ativado e conectado ao *Broker* rodando no servidor virtual para receber os dados enviados pelo *Node* (1) embarcado no animal. Na Figura 66 é ilustrado o fluxograma com o procedimento utilizado na execução do experimento.

Nesse trabalho definiu-se que o comportamento ingestivo pastejar se caracteriza por o animal está com a cabeça baixa para selecionar e recolher a forragem podendo estar parado ou em movimentos lentos. Por sua vez, o

comportamento ingestivo ócio ou descanso se caracteriza por o animal está parado, em pé ou deitado e sem movimentos.

Figura 66 - Fluxograma do procedimento de execução do experimento de monitoramento e rastreamento.



Fonte: Elaborada pelo autor.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção serão apresentados os principais resultados obtidos nos testes de verificação de acuracidade, funcionamento e integração dos componentes desenvolvidos para a plataforma proposta neste trabalho, também serão comentados os principais problemas enfrentados e como foram realizadas as tentativas de solucioná-los.

4.1 Resultados do teste do Módulo PPG (6)

Buscou-se com este teste verificar se há relação entre a intensidade da corrente aplicada no LED do sensor e o número de extração bem sucedida da FC do animal. A corrente de alimentação do LED foi configurada nos valores (6,0; 8,0; 10,0; 12,0; 14,0 e 16,0) mA. Também foi realizada a comparação dos dados da TCS coletado por um termômetro infravermelho *Fluke 62Max* com os coletados pelo sensor do Módulo PPG (6).

Na Tabela 1 observa-se que a relação entre o número total de tentativas de verificação da FC e o número de verificação que foram realizadas com sucesso foram estatisticamente diferentes ($P < 0,05$) de acordo com a corrente utilizada. A corrente 12 mA apresentou numericamente o maior valor, porém estatisticamente ela é semelhante a corrente 10 e 14 mA, e as correntes 6, 8 e 16 mA apresentaram os menores valores, sendo que numericamente a corrente 16 mA é a menos precisa.

Tabela 1 - Corrente do LED x número de verificações realizadas com sucesso (%)

Corrente (mA)	Média (%) \pm desvio padrão
6	5,3 \pm 0,6b
8	8,7 \pm 2,2b
10	17,7 \pm 10,7ab
12	32,1 \pm 16,0a
14	29,2 \pm 14,3a
16	2,7 \pm 2,0b

Letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Os dados obtidos do teste apresentaram um erro padrão médio de $\pm 4,41\%$. Observa-se que entre as correntes 6 e 12 tem-se um ganho de 83,48% no número de tentativas de verificação da FC realizadas com sucesso e entre as correntes 12 e 16 tem-se uma perda de 92,00% no número de verificação com sucesso.

No teste realizado para verificar qual a intensidade de corrente proporciona melhores respostas do sensor, observou-se que as correntes 10, 12 e 14 são

estatisticamente semelhantes, portanto, considerando a importância do consumo em dispositivos embarcados que utilizam fontes de energia provenientes de bateria pode-se afirmar que a melhor corrente a ser utilizada é a de 10 mA.

Na Tabela 2 são listados os resultados do teste realizado para verificar a acurácia do sensor de temperatura do Módulo PPG (6) na mensuração da temperatura superficial corporal. No teste foi utilizado como referência as temperaturas obtidas utilizando o termômetro infravermelho *Fluke 62Max*.

Tabela 2 - Comparação da TSC verificado por meio termômetro infravermelho *Fluke 62Max* e com Módulo PPG (6)

Instrumento	Média (°C) \pm desvio padrão
Fluke 62Max	37,06 \pm 0,94a
Módulo PPG (6)	37,18 \pm 1,05a

Letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste t ao nível de 5% de probabilidade.

A temperatura superficial corporal mensurada utilizando termômetro infravermelho *Fluke 62Max* e o Módulo PPG (6) não apresentaram diferença estatística ($P > 0,05$), com um erro padrão médio de $\pm 0,22$ °C. Portanto, pode-se usar o sensor do Módulo PPG (6) na coleta da temperatura sem prejuízo na acurácia da informação.

Os resultados da leitura da temperatura superficial corporal coletados por meio do dispositivo proposto neste trabalho, além de ser estatisticamente equivalente ao termômetro infravermelho *Fluke 62Max*, também tem a vantagem de realizar a coleta de forma automatizada e seu custo comparado ao do termômetro infravermelho *Fluke 62Max* é significativamente menor.

Na Tabela 3 são listados os resultados com a mensurada da FC coletadas de forma manual por um especialista utilizando um estetoscópio e a extraída do sinal PPG coletado por meio do sensor do Módulo PPG (6).

Tabela 3 - Comparação da FC verificado por um especialista utilizando um estetoscópio e com a extraída do sinal PPG.

Instrumento	Média (bpm) \pm desvio padrão
Estetoscópio	48,20 \pm 3,71a
Módulo PPG (6)	49,55 \pm 4,11a

Letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste t ao nível de 5% de probabilidade.

Os resultados do teste de comparação das medidas da FC demonstraram que não existem diferenças estatísticas entre as médias verificadas pelo especialista e as extraídas do sinal PPG com um p-valor de 0,21 maior que 0,05 e um erro médio de

$\pm 1,07$ bpm. Logo, pode-se concluir que o uso do Módulo PPG (6) é satisfatório para a mensuração da FC do bovino.

4.2 Resultados do teste do Módulo UMI (7)

Na Tabela 3 são listados os resultados do teste realizado para verificar a acurácia do Módulo UMI (7) e do celular *Samsung S9* em obter os ângulos de Euler (especificamente o *Pitch*). O ACEL é a média de 10 registros do ângulo *Pitch* lido do celular concomitantemente à captura dos dados do Módulo UMI (7), e o AMPPG é a média de 150 registros do ângulo *Pitch* capturado pelo sensor do Módulo UMI (7) para cada um dos ângulos verificados.

Tabela 4 - Valor médio do ângulo *Pitch* para o celular *Samsung S9* (ACEL) e Módulo UMI (7) (AMPPG).

Ângulo (°)	ACEL (°)	AMPPG (°)
23	23,00 \pm 0,19a	23,25 \pm 0,20a
25	25,07 \pm 0,34a	25,22 \pm 0,18a
33	32,92 \pm 0,23a	33,13 \pm 0,35a
39	38,86 \pm 0,16a	38,96 \pm 0,31a
49	48,78 \pm 0,19a	48,76 \pm 0,37a
53	52,71 \pm 0,13a	52,71 \pm 0,28a
63	62,58 \pm 0,11a	62,46 \pm 0,24a
76	75,51 \pm 0,17a	75,27 \pm 0,40a
83	82,58 \pm 0,10a	82,37 \pm 0,35a
88	87,35 \pm 0,30a	86,92 \pm 0,36a

Letras iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Com relação aos equipamentos utilizados na avaliação dos ângulos *Pitch*, observa-se que não houve diferença estatística ($P = 0,9922$) entre eles com um erro padrão médio de $\pm 0,09$ °. Com isso, pode-se afirmar que os dados capturados por meio do sensor do Módulo UMI (7) podem ser usados sem prejudicar a variável resposta.

Sendo assim, conclui-se que a utilização dos dados gerados pelo Módulo UMI (7) para calcular os ângulos *Pitch* pode ser realizada sem perdas de informações. Além dos ângulos *Pitch*, os módulos fornecem várias outras informações que podem ser utilizadas para a classificação do comportamento.

Tijssen et al. (2020) utilizaram um sensor UMI para classificar a marcha de cavalos de forma automática no qual foram testados dois algoritmos de detecção

automática de eventos de casco, um utilizou os dados da aceleração e o outro os da velocidade angular, ambos registrados por dois sensores UMI fixados na parede lateral dos cascos dianteiro direito e traseiro direito. Os resultados apontaram uma melhor acurácia para o algoritmo que empregou dados da velocidade angular com uma precisão em torno de 13,80 ms na detecção da *hoof-on*, enquanto para a detecção *hoof-off* o algoritmo que usou dados da aceleração apresentou uma melhor acurácia com uma precisão de 6,93 ms.

Rossetto (2019) apresentou uma proposta de algoritmo para identificar os bocados desferidos durante a atividade de pastejo utilizando dados de um sensor UMI de um celular. O algoritmo proposto foi superior ao método utilizando registradores de movimento mandibulares (IGER) e mostrou-se eficaz na detecção de bocados em experimentos de pastejo.

Nesse trabalho os dados gerados pelo sensor UMI foram submetidos a um algoritmo para que fosse extraída a informação com os ângulos de Euler, que são os ângulos *Yaw*, *Pitch* e *Roll*. Dos ângulos de Euler, foi utilizado no algoritmo classificado o ângulo *Pitch*, no qual observou-se que sua utilização associada à informação da velocidade do animal proporciona um bom funcionamento do algoritmo classificador.

4.3 Resultados do teste do Módulo GPS (8)

Na Tabela 4 são apresentados os resultados do teste realizado para verificar a acurácia do Módulo GPS (8). As médias representam os comprimentos das retas formadas pelos pontos que foram extraídos dos dados de latitude e longitude registrados por meio do módulo *NEO-6M* e calculados utilizando um algoritmo de entre dois pontos geográficos.

Tabela 5 - Valores médios da distância entre dois pontos separados por 10 metros

Reta	Média (m) \pm desvio padrão
P1 a P2	10,05 \pm 0,50 a
P2 a P3	9,91 \pm 0,59 a
P3 a P4	10,48 \pm 0,44 a
P4 a P1	10,17 \pm 0,50 a

Letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

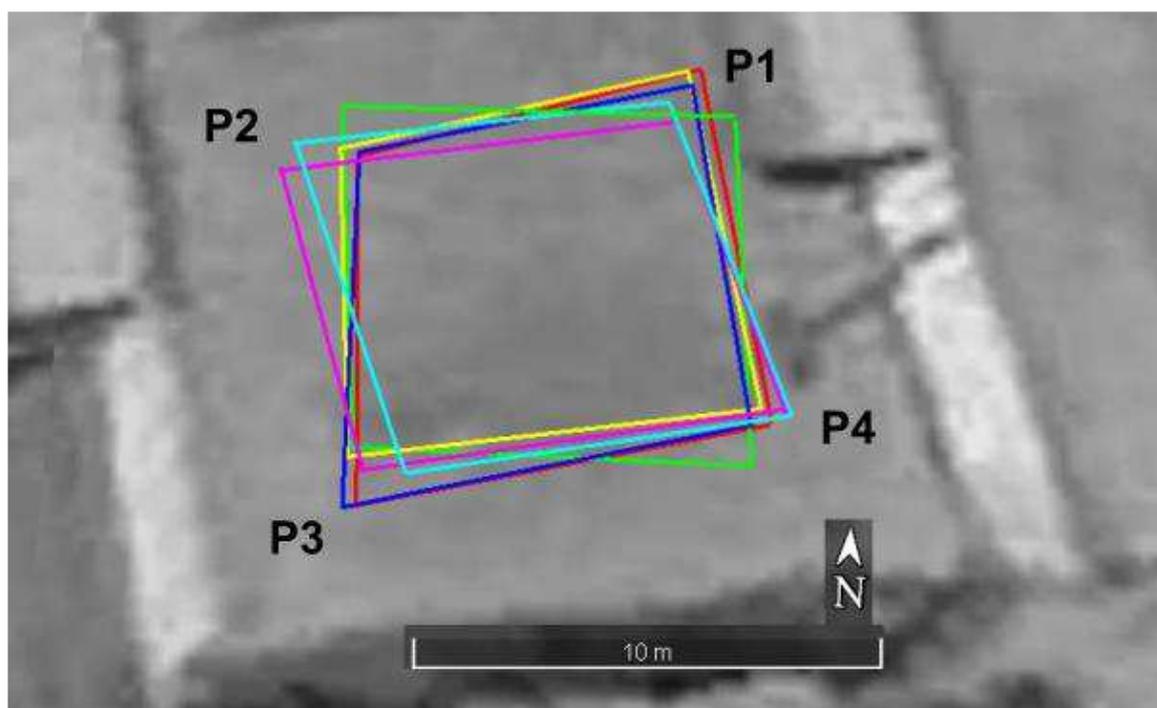
Com relação a acurácia do Módulo GPS (8), observa-se que não existe diferença estatística ($P > 0,05$) com relação aos pontos de coleta que foram posicionados a uma distância de 10,00 m entre si formando um polígono de quatro lados, ou seja, qualquer medida do comprimento da reta é a mesma utilizada no

posicionamento dos pontos. Os dados obtidos do teste apresentaram um erro padrão médio de $\pm 0,21$ m.

Observa-se nos valores do comprimento mínimo e máximo que a maior diferença entre o comprimento real, 10 m, e os calculados a partir dos dados coletado pelo Módulo GPS (8) foi de 0,89 m que está dentro da faixa de acurácia da posição horizontal informada pelo fabricante do Módulo GPS *NEO-6M* de $\pm 2,50$ m (BLOX, 2017). Também verifica-se resultados semelhantes no trabalho de Jesus (2014).

Na Figura 66 é apresentada a representação gráfica dos polígonos gerados a partir dos dados da latitude e longitude dos pontos (P1, P2, P3 e P4) coletados por meio do Módulo GPS (8). Na reconstrução dos seis polígonos que podem ser identificados por meio das cores (verde, azul escuro, vermelho, amarelo, azul claro e rosa), foram utilizados os dados coletados nas seis repetições do teste *software Google Earth Pro*.

Figura 67 - Representação de seis quadrados gerados a partir dos dados coletados pelo Módulo GPS (8).



Fonte: Elaborada pelo autor.

Considerando que a aplicação de rastreamento do animal em campo não demanda um alto nível de acurácia dos dados da localização e os erros de posicionamento observados a partir dos dados do Módulo GPS (8), verificou-se que a

aplicação do Módulo GPS *NEO-6M* atende o propósito para o qual ele foi utilizado neste trabalho.

Entretanto, também foi observada perda de sinal do GPS durante os experimentos, principalmente nos dias com maior incidência de nuvens. A princípio, essas falhas de recepção não comprometem a função de rastreamento do animal em campo, pois as observações são realizadas a cada cinco min, tempo suficiente para o restabelecimento do sinal GPS.

No entanto, a função de monitoramento e classificação do comportamento perde uma das fontes de informação, pois o algoritmo classificador faz uso dos dados gerados pelo Módulo UMI (7) e do Módulo GPS (8). É importante frisar que o algoritmo foi desenvolvido para continuar funcionando, com prejuízo na acurácia da classificação da atividade comportamental, mesmo na ausência dos dados gerados pelo Módulo GPS (8).

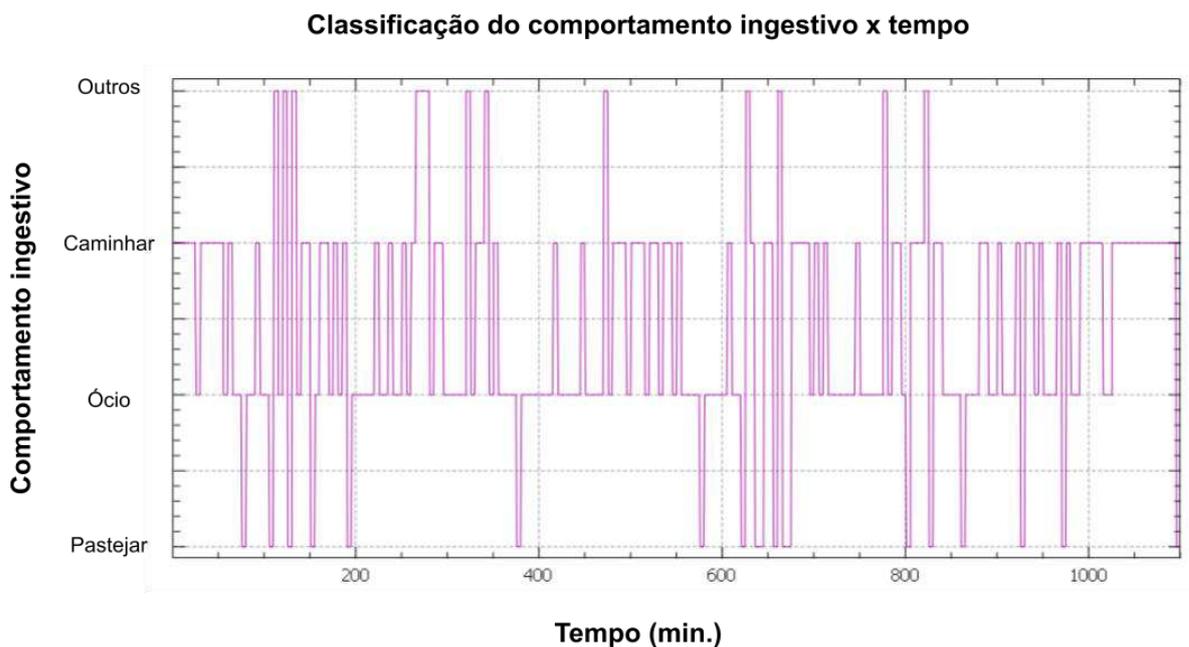
Uma possível solução para esse problema com o Módulo GPS (8), seria a sua substituição por outra fonte para fornecer os dados de localização. Uma proposta para essa substituição é a implementação do rastreamento utilizando técnicas de localização baseada no indicador de intensidade do sinal recebido (*Received Signal Strength Indicator* - RSSI) como apresentados nos trabalhos de (Oguejiofor et al., (2013); Goldoni et al., (2019); Lam Cheung Lee, 2018).

4.4 Resultado do experimento de monitoramento e rastreamento

Na Figura 67 é ilustrado um gráfico com as informações do comportamento ingestivo de um animal durante 1100 min que estava no pasto em sua rotina. Os pontos utilizados na elaboração do gráfico foram obtidos com o algoritmo classificador do qual extraiu a informação dos dados de velocidade do animal capturados pelo Módulo GPS (8) e do ângulo *Pitch* capturado pelo Módulo UMI (7) que representa o ângulo de inclinação da cabeça do animal em relação ao plano horizontal.

No gráfico pode-se observar que foram monitorados quatro comportamentos ingestivos (1, 2, 3 e 4), sendo que: (1) o comportamento ingestivo pastejando, (2) o comportamento ingestivo ócio, (3) o comportamento ingestivo caminhando e o (4) foi definido como um comportamento ingestivo cujo dados utilizados pelo classificador não se enquadram nos três primeiros.

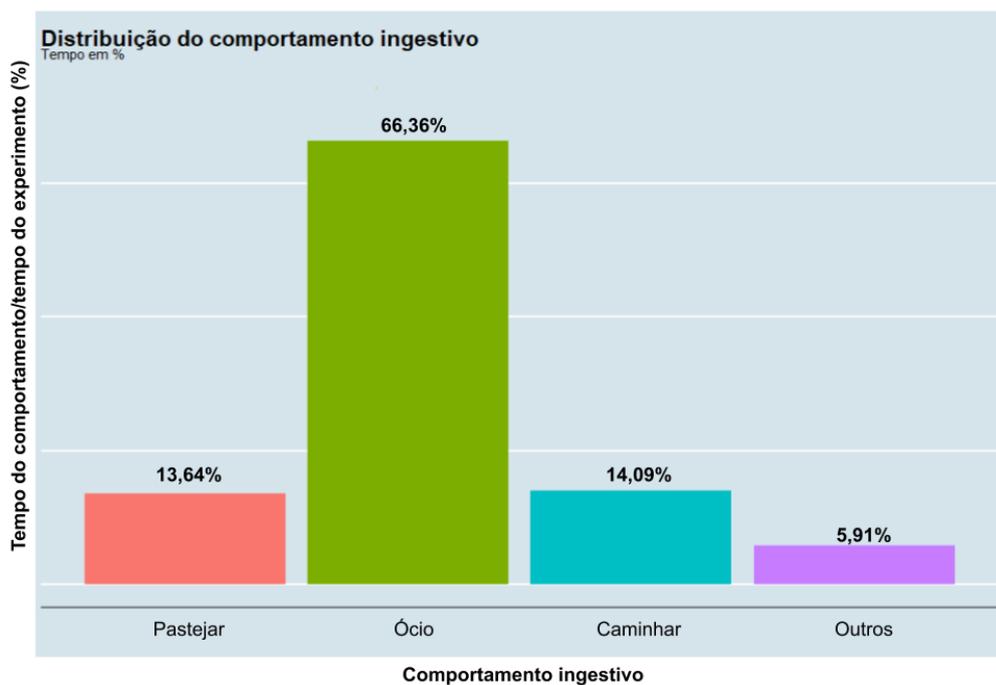
Figura 68 - Gráfico de linha de tempo do comportamento ingestivo do animal.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na Figura 68 é ilustrado o histograma do comportamento ingestivo em função do tempo de monitoramento do animal em pasto. Foi constatado que durante a coleta dos dados o animal permaneceu a maior parte do tempo, cerca de 66,36%, em ócio.

Figura 69 - Histograma da distribuição do comportamento ingestivo em relação ao período de observação do animal em pasto.



Fonte: Elaborada pelo autor.

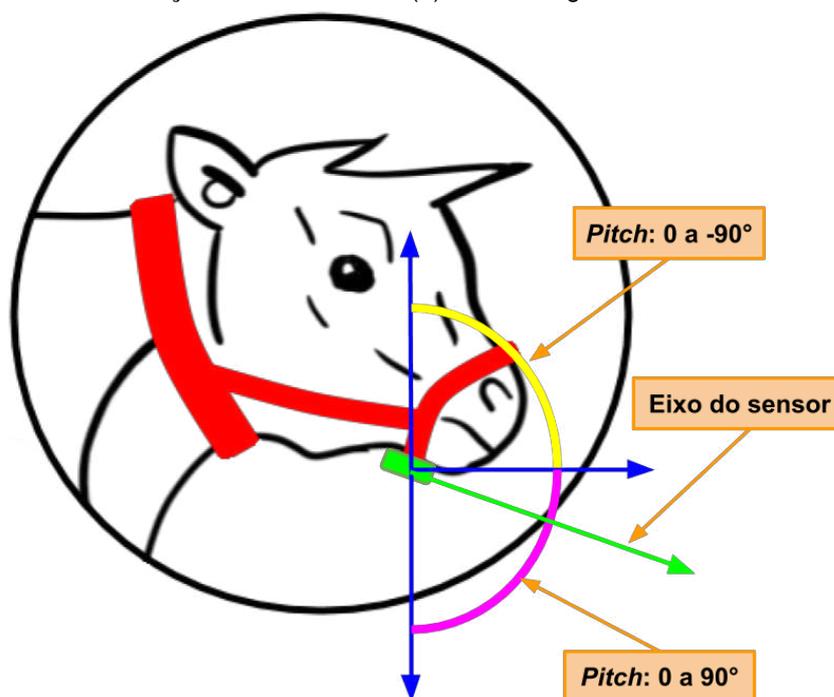
Nascimento et al. (2013) desenvolveram um estudo para verificar o comportamento ingestivo de 10 vacas mestiças (Holandês/Zebu) submetidas a um regime de pastejo rotacionado, no qual foram observados os comportamentos ingestivos de pastejo, ruminação e outras atividades a cada 10 min em um período de 24 h. Os resultados em porcentagem apresentados no trabalho para o comportamento ingestivo pastejo foi de 38,75 %, para ruminação foi de 33,33 % e para outras atividades foi de 27,92 %.

No trabalho de Souza et al. (2011) com novilhas a porcentagem do tempo diário gasto na atividade de pastejo foi de 38,32 %, em ruminação foi de 31,94 % e em ócio foi de 29,74 %. Martini et al. (2017) em seus estudos com novilhos mestiços (Charolês/Nelore), registraram resultados do comportamento ingestivo pastejo de 39,53 %, ruminação de 29,13 % e em ócio de 31,31 %. Já Mazocco et al. (2017) em seus trabalhos com vacas mestiças (Girolanda/Holandês) apresentaram resultados do comportamento ingestivo pastejo de 36,34 %, ruminação de 25,08 % e em ócio de 33,39 %.

Uma possível explicação para essa diferença no comportamento ocioso pode ser devido a estratégia utilizada para criar a árvore de decisão utilizada no algoritmo de extração de informação do comportamento ingestivo. A árvore de decisão usa como variáveis para a sua tomada de decisão, inicialmente a informação da velocidade do animal extraída dos dados capturados pelo Módulo GPS (8) no qual para velocidades inferiores a 0,50 m/s são consideradas como o animal parado e em movimento em caso contrário.

Em seguida, a árvore de decisão utiliza a informação do ângulo *Pitch* capturado pelo Módulo UMI (7), para determinar se o animal está com a cabeça apontada para baixo, em paralelo com o horizonte ou apontado para cima. Na Figura 69 é apresentada a ilustração de um animal utilizando o cabresto no qual pode-se observar o local no qual o Módulo UMI (7), caixa verde, está fixado. O vetor em verde está em paralelo ao eixo do Módulo UMI (7) e a variação dos seus valores pode ser mensurado por meio dos valores do ângulo *Pitch*.

Figura 70 – Local de fixação do Módulo UMI (7) com o diagrama de vetores do ângulo *Pitch*.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na árvore de decisão, foram utilizados os valores do ângulo *Pitch* entre -30 e 30° para determinar que o animal estava com a cabeça paralela com o horizonte, ângulos *Pitch* maiores ou iguais a 35° para a cabeça apontada para baixo e ângulos menores que -45° para a cabeça aponta para cima. Portanto, utilizando essa estratégia, a árvore de decisão não consegue distinguir o comportamento ruminção do comportamento ócio, já que nos dois comportamentos o animal está parado com a cabeça alinhada com o horizonte.

Os valores de ângulos utilizados no algoritmo de classificação foram inicialmente escolhidos após observação visual do animal utilizando o cabresto com o *Node* nos três comportamentos ingestivo. Em seguida, os dados coletados foram submetidos à várias rodadas no algoritmo de classificação utilizando os valores dos ângulos obtidos de forma visual como valores iniciais e a cada nova rodada os resultados do classificador era avaliado quanto sua precisão na classificação do comportamento ingestivo. Valores de ângulos entre 30 e 35° ou -30 e -45° capturados pelo sensor foram descartados pelo algoritmo classificador.

Comparando a soma dos resultados dos comportamentos ingestivos, ruminção e ócio, apresentado por Nascimento et al. (2013) em seu trabalho que totalizam em $61,25\%$ com os obtidos neste trabalho que ficou em $66,36\%$, pode-se perceber que provavelmente o algoritmo de classificação adotado neste trabalho está

classificando os dois comportamentos como em estado de ócio. Em trabalhos futuros, pode-se propor novas estratégias de implementação dos algoritmos de classificação do comportamento ingestivo que seja capaz de diferenciar o comportamento ócio do comportamento ruminção.

Na Figura 70 é ilustrado um mapa com o rastreamento de uma vaca na qual foi colocado um cabresto com o *Node* (1) proposto neste trabalho. Os pontos em vermelho representam localizações (latitude e longitude) capturados pelo Módulo GPS (8) que foi configurado para enviar uma nova localização a cada 2 min. O ponto caracterizado por uma bandeira amarela indica a localização do *Gateway* (2) utilizado no experimento para receber os dados enviados pelo *Node* (1). A linha azul que conecta o *Gateway* (2) a um dos pontos por onde o animal equipado com o *Node* (1) se deslocou durante a realização do experimento representa o raio de alcance atingido especificamente neste teste.

Figura 71 – Mapa de rastreamento do deslocamento do animal em pasto.



Fonte: Elaborada pelo autor.

No teste a maior distância observada foi de aproximadamente 273 m, não é possível afirmar que essa é a distância máxima que o sistema de transmissão com rádio LoRa consegue atingir, pois durante toda a coleta dos dados do teste o animal não deslocou-se para locais mais distantes, como pode ser observado nos pontos em vermelho na Figura 70. Silva et al. (2019) utilizaram a tecnologia de transmissão LoRa

para conectar um dispositivo de aquisição de dados de baixa energia implantado em um vinhedo distante de 400 m do *Gateway*. No entanto, foi observado que o alcance é fortemente afetado por obstáculos entre as antenas do dispositivo e *Gateway*. Em trabalhos futuros, pode-se aumentar o número de *Gateways* utilizado na plataforma e posicioná-los de forma que seja possível cobrir os pontos onde ocorreram falha da cobertura.

Nesse teste também foi monitorado o consumo de energia total do *Node* (1). O primeiro registro capturado pelo dispositivo ocorreu às 13h e 31 min e o último registro enviado ocorreu às 17h e 56 min do dia seguinte, totalizando 28h e 25 min com uma bateria de 7,4 V e 5200 mA.

4.5 Suporte para o Módulo PPG (6)

Durante a realização do teste para verificar se o Módulo PPG (6) conseguiria capturar o sinal PPG do animal, percebeu-se que a fixação do sensor ao animal é um dos principais geradores de ruído no sinal PPG. A tecnologia utilizada no Módulo PPG (6) baseada em um sensor ótico é muito suscetível a movimentos do sensor em relação à pele do animal, e durante o teste foi difícil manter o animal parado o tempo suficiente para uma coleta de sinal de forma contínua.

No algoritmo implementado no presente trabalho, optou-se por utilizar dois *buffers*, com capacidade de 100 posições cada, para armazenar os valores da reflectância dos sinais gerados por meio dos LEDs infravermelho e vermelho utilizados no sensor MAX30102. Também foi definido que o sensor seria configurado para realizar 25 medidas por segundo dos dois sinais de reflectância.

O algoritmo de captura do sinal PPG, que é extraído dos sinais infravermelho e vermelho gerados pelos seus respectivos LEDs, foi implementado para realizar 25 medidas por segundo e acumular durante quatro segundos os dados do sinal PPG, assim totalizando 100 medidas que preenchem o *buffer* de leitura.

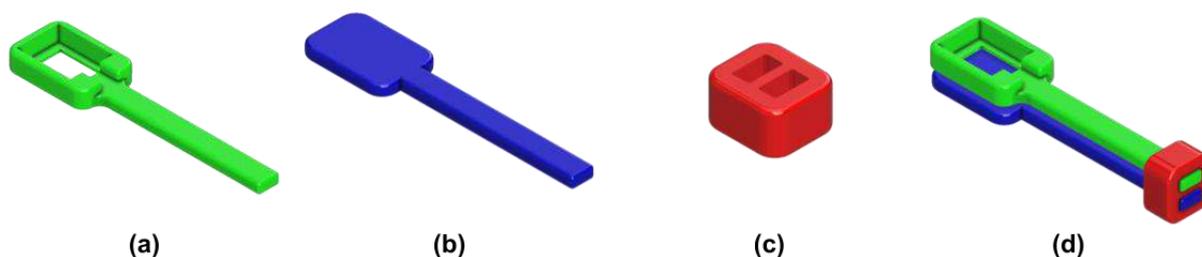
Portanto, para que o algoritmo de extração da FC do animal conseguisse calculá-la corretamente era necessário que o sinal coletado pelo Módulo PPG (6) se mantivesse estável por pouco mais de quatro segundos. O teste demonstrou que o algoritmo conseguiu extrair a informação da FC em alguns momentos, apontando que é possível utilizá-lo com o objetivo de medir a FC do animal.

Entretanto, também constatou-se que se faz necessário resolver o problema do ruído no sinal PPG gerado, provavelmente, devido à movimentação do sensor na pele do animal.

Para tentar solucionar ou minimizar esse problema com ruído nos sinais infravermelho e vermelho que pode ter como origem a fixação do sensor na pele do animal, foi desenvolvido um suporte para o Módulo PPG (6). Utilizou-se o *software* de modelagem 3D *Fusion 360* da *Autodesk* para criar as peças do modelo do suporte.

Na Figura 71 são ilustradas as três peças: (a) peça na qual é inserida a placa do sensor MAX30102, (b) peça usada como apoio para prender na orelha do animal, (c) presilha usada para unir as peças e (d) o modelo completo do suporte do Módulo PPG (6).

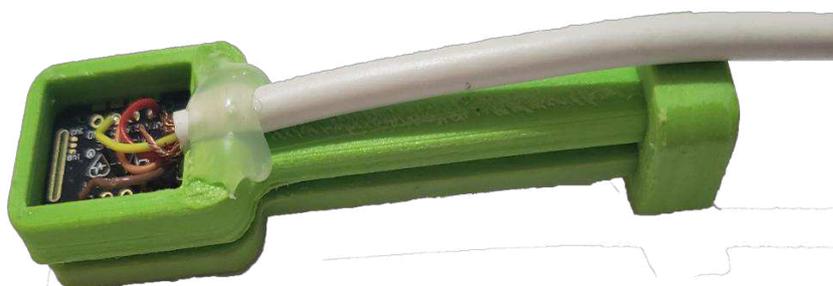
Figura 72 - Modelos desenvolvidos no *Fusion 360* do prendedor para o Módulo PPG (6).



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na Figura 72 é ilustrado o modelo final do suporte para o Módulo PPG (6) que foi prototipado em uma impressora 3D usando material ABS na cor verde. Pode-se ver também a placa do sensor MAX30102 e do cabo que conecta o Módulo PPG (6) ao Dispositivo IoT (1).

Figura 73 - Suporte do Módulo PPG (6) impresso na impressora 3D em material ABS na cor verde.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na Figura 73 é ilustrado o sensor ótico MAX30102 do Módulo PPG (6) sendo segurado pelo tratador que auxiliou na contenção do animal e coleta do sinal PPG. É necessário salientar que o sinal PPG coletado nessas condições pode está

sofrendo interferências geradoras de ruídos proveniente do movimento entre o sensor e a pele do animal e também da variação da força aplicada pelo tratador para segurar o sensor.

Figura 74 - Experimento para coleta da frequência cardíaca com o Módulo PPG (6) sendo segurado pelo tratador.

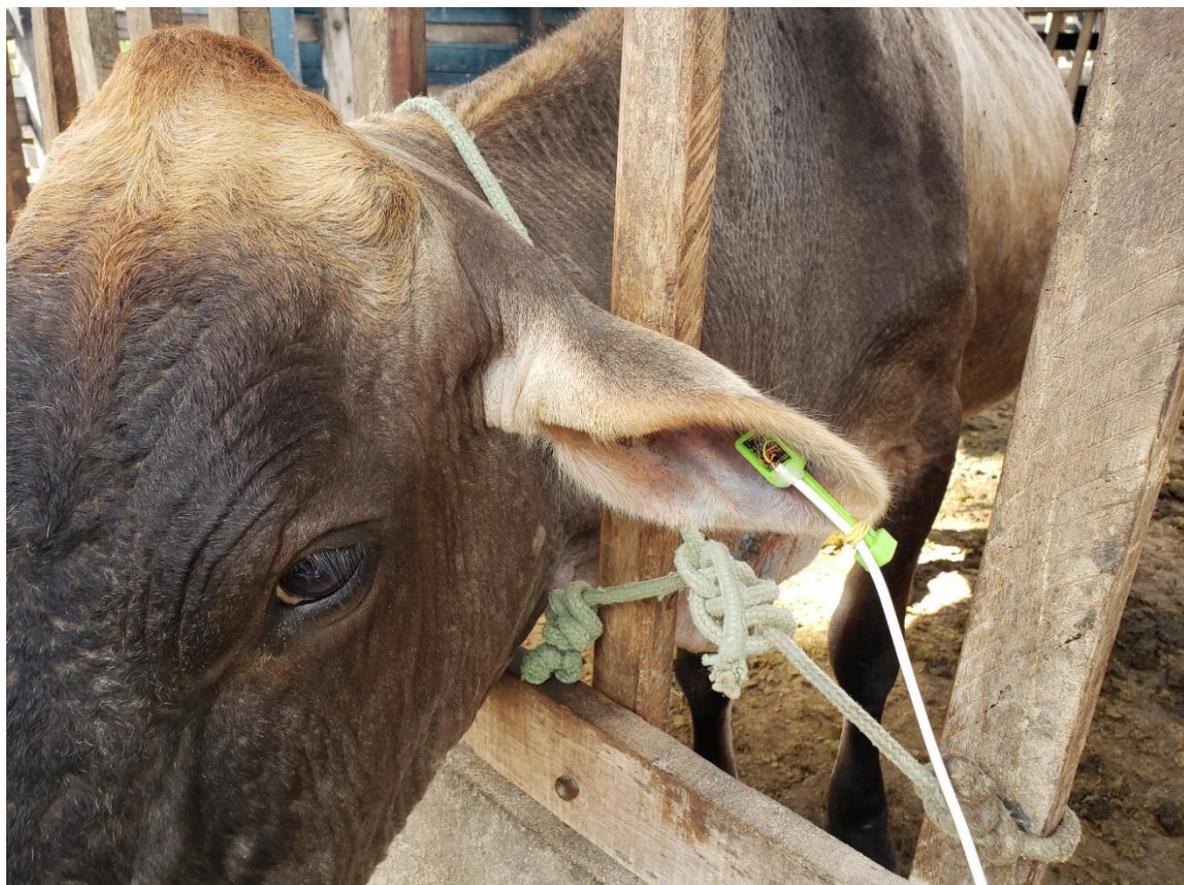


Fonte: Elaborada pelo autor.

O local escolhido nesse teste para fixar o sensor ótico foi a parte interna da orelha do animal. A escolha desse local deveu-se principalmente a essa posição ficar próxima ao local no qual o Dispositivo IoT (1) está instalado no cabresto. Outro motivo foi devido o sensor ainda não ser resistente à água, o que impossibilita seu uso em locais que tenham maior chance de ser molhado pelo animal durante sua rotina normal.

Na Figura 74 é ilustrado o sensor ótico MAX30102 do Módulo PPG (6) fixado na orelha do animal por meio do suporte apresentado na Figura 72 desenvolvido com o objetivo de melhorar a qualidade do sinal PPG coletado pelo sensor do qual é extraída a frequência cardíaca do animal.

Figura 75 - Experimento para coleta da frequência cardíaca com o Módulo PPG (6) utilizando-se um suporte de fixação do sensor no animal.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Nos testes realizados utilizando o novo suporte, foi observado uma perceptível redução do ruído, possibilitando que o algoritmo de extração da FC obtivesse sucesso em um maior número de vezes quando comparado com o experimento no qual não foi usado o suporte.

Nos dados coletados sem uso do suporte do senso, o algoritmo de extração conseguiu realizar em média uma extração com sucesso a cada 600 s. Já com os dados coletados utilizando-se o suporte proposto, o algoritmo conseguiu em média extrair 22 medidas com sucesso a cada 600 s.

No entanto, ainda existe espaço para melhorar a extração da FC por meio do aprimoramento nos tratamentos dos dados, sinal PPG, aplicando-se outros filtros digitais e também testar outras configurações de número de leituras por segundo, tempo de coleta, tamanho do *buffer*, intensidade do sinal dos LEDs infravermelho e vermelho.

4.6 Problema com a biblioteca do MAX30102

Um outro problema verificado durante a fase de desenvolvimento do Dispositivo IoT (1) foi com relação ao circuito integrado MAX30102 utilizado para capturar o sinal PPG do animal do qual é calculada a FC e também a TSC.

Percebeu-se uma inconsistência nos valores capturados pelo sensor ótico que gerava um erro no cálculo da saturação periférica de oxigênio (SpO₂). Após vários testes coletando sinais PPG para extrair a informação da FC e SpO₂, inicialmente de humanos, e em grande parte desses testes o resultado apresentava uma SpO₂ abaixo dos valores considerados normais.

Para verificar se esse problema com relação a informação da SpO₂ também afetaria o cálculo da FC, foi realizada uma busca com a ajuda da *internet* sobre a qualidade dos dados coletados pelo circuito integrado MAX30102. O resultado desta busca foi a descoberta de um problema na fabricação do circuito integrado MAX30102 feita por fabricantes chineses. O circuito integrado MAX30102 é um projeto da *MAXIM INTEGRATED*, mas que é copiado por vários fabricantes chineses.

O que ficou constatado depois de vários testes realizados por outros usuários do circuito integrado que também estavam percebendo inconsistência nos valores do SpO₂, era que os fabricantes da cópia chinesa tinham invertido a posição dos registros dos sinais infravermelho e vermelho que o circuito integrado utiliza para capturar o sinal PPG.

Com a inversão destes registros, a biblioteca utilizada para ler os sinais do circuito integrado e que são utilizados para calcular tanto a FC como também o SpO₂ estava utilizando os sinais errados. Provocando-se assim a inconsistência da informação da SpO₂, mas que também tinha reflexos no cálculo da FC em menor potencial.

A solução para esse problema, foi também inverter, na biblioteca do sensor MAX30102, a posição dos registradores dos sinais infravermelho e vermelho. Os testes realizados após essa inversão apresentaram resultados corretos para a informação SpO₂ e também uma melhora na qualidade da informação da FC. Confirmando que realmente o circuito integrado utilizado fazia parte desse lote de componentes copiados por fabricantes chineses.

4.7 Problema com a biblioteca do MPU-9250

Um terceiro problema encontrado durante os testes de funcionamento dos módulos ocorreu com a unidade de medição inercial utiliza o circuito integrado MPU-9250 da *Invensense*. No desenvolvimento do *firmware* do *Node* (1), foi utilizada a biblioteca *SparkFunMPU9250-DMP* para acessar os dados do Módulo UMI (7), criada e disponibilizada pela *SparkFun*.

O problema começou a ser detectado após a realização dos primeiros experimentos ao analisar-se os dados registrados pelo dispositivo no cartão *SD Card*. Verificou-se que os valores do ângulo *Pitch*, uma das principais informações utilizada no algoritmo de classificação da atividade do animal, apresentaram variações incompatíveis com o movimento natural do animal.

Em março de 2020, com o objetivo de identificar o motivo desses dados estarem sendo registrados, foi iniciado uma busca na *internet* sobre possíveis problemas com a qualidade dos dados gerados pelos circuitos integrados MPU-9250. Essa busca resultou no relato de um usuário do fórum mantido pela *SparkFun*, no qual afirmava que os valores do ângulo *Pitch* que estava sendo enviado pelo sensor eram o dobro dos valores esperados.

Após várias interações no fórum sobre esse problema, chegou-se à conclusão de que a biblioteca fornecida pela *SparkFun* tinha um *bug* na equação utilizada para calcular o ângulo *Pitch*, também foi sugerida possíveis alterações na biblioteca com o objetivo de eliminar esse *bug*.

Seguindo as recomendações, para alterar a função que continha erro, foi necessário recompilar o *firmware* do *Node* (1) e conseqüentemente, também foi necessário refazer os experimentos em campo com o animal para que novos dados fossem capturados.

Nessa seção foram apresentados e discutidos os resultados dos testes e ensaios realizados com a Plataforma IoT com o objetivo de avaliar as funcionalidades de: coleta dos sinais fisiológico FC e TCS, rastreamento do animal no pasto e o monitoramento e classificação do comportamento dos animais. Na seção seguinte serão apresentadas as principais conclusões e sugestões para continuação deste trabalho.

5 CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

5.1 Conclusões

Por meio dos resultados dos experimentos apresentados neste trabalho, pode-se concluir que:

A plataforma proposta foi desenvolvida e implementado os protótipos dos seus componentes, dispositivo IoT embarcado para a captura e transmissão das informações, dispositivo *Gateway* para conexão com a *internet* e os sistemas de banco de dados e aplicativos na nuvem. Nos testes, verificou-se que todos seus componentes funcionaram de forma satisfatória atingindo seus objetivos.

O sensor MAX30102 utilizado para capturar o sinal pletismográfico apresentou resultados satisfatórios, dos quais foi possível extrair informações sobre as variáveis fisiológicas, frequência cardíaca e a temperatura superficial corporal do animal. Os resultados mostraram que o dispositivo tem capacidade de fornecer em média quatro medidas por minutos da frequência cardíaca e uma acurácia na mensuração da temperatura superficial corporal equivalente aos do termômetro infravermelho *Fluke 62Max*.

Os dados do ângulo *Pitch* captados por meio do sensor inercial MPU-9250 utilizados na classificação do tipo de comportamento do animal, apresentou valores médios equivalentes aos verificados com o sensor do celular *Samsung S9* sendo adequados para a utilização na aplicação proposta.

Os dados de localização do animal fornecidos pelo Módulo GPS *NEO-6M* utilizados na classificação do comportamento e também no rastreamento do animal apresentaram erros inferiores a 8,90% que pode ser considerado adequado para a aplicação a qual essa informação é utilizada.

A primeira versão da plataforma proposta neste trabalho, conseguiu rastrear o deslocamento do animal no pasto, bem como monitorar seu comportamento ingestivo e obter as variáveis fisiológicas. Portanto, pode-se concluir que a plataforma proposta é adequada para o uso em vacas criadas a pasto, pois comprovou um bom desempenho.

5.2 Sugestões para futuros trabalhos

Como sugestão de futuros trabalhos para evoluções da plataforma pode-se citar:

- Desenvolver um projeto de placa de circuito impresso específico para o dispositivo IoT (1) da plataforma, eliminando todos os componentes eletrônicos das placas e módulos comerciais utilizados no protótipo que não seja essencial para o correto funcionamento do dispositivo IoT.
- Implementar um circuito regulador que tenha eficiência superior ao do LM2596, superiores a 90% e substituir o módulo *SD Card* por memórias *flash*.
- Implementar um algoritmo para utilizar os dados de RSSI já disponível na rádio LoRa para calcular a localização do animal, reduzindo o consumo, peso e volume do dispositivo IoT.
- Proceder novas aferições de todos os módulos e sensores da Plataforma IoT em experimentos com bovinos de raças diferentes e em condições climáticas diversas.
- Desde a concepção da plataforma buscou-se que ela fosse aberta e maleável para adaptar-se a outras aplicações além da proposta neste trabalho, outra possível aplicação é a telemetria de máquinas agrícolas, para essa aplicação basta a substituição dos módulos sensores por outros com capacidade para extrair informações da máquina sem a necessidade de alteração do *hardware* do *Node*. Os demais componentes da plataforma IoT como *Gateway*, servidores MQTT e aplicativos podem ser reutilizado sem muitas alterações.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKYILDIZ, I. F.; SU, W.; SANKARASUBRAMANIAM, Y.; CAYIRCI, E. Wireless sensor networks: A survey. **Computer Networks**, v. 38, n. 4, p. 393-422, 2002.

ALDRIGHI, J.; BRANCO, R. H.; CYRILLO, J. N. S. G.; MAGNANI, E.; NASCIMENTO, C. F.; MERCADANTE, M. E. Z. Avaliação de intervalos de tempo para registro do comportamento ingestivo de bovinos confinados individualmente. **Boletim de Indústria Animal**, v. 75, p. 1-7, 2018.

ALIAN, A. A.; SHELLEY, K. H. Photoplethysmography. **Best Practice & Research Clinical. Anaesthesiology**, v. 28, n. 4, p. 395-406, 2014.

ALMEIDA NETO, L. A.; PANDORFI, H.; ALMEIDA, G. L. P. de.; GUISELINI, C. Climatização na pré-ordenha de vacas Girolando no inverno do semiárido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 10, p. 1072-1078, 2014.

ANISI, M. H.; ABDUL-SALAAM, G.; ABDULLAH, A. H. A survey of wireless sensor network approaches and their energy consumption for monitoring farm fields in precision agriculture. **Precision Agriculture**, v. 16, n. 2, p.

ARIZA-COLPAS, P.; MORALES-ORTEGA, R.; PIÑERES-MELO, M. A.; MELENDEZ-PERTUZ, F.; SERRANO-TORNÉ, G.; HERNANDEZ-SANCHEZ, G.; MARTÍNEZ-OSORIO, H. Teleagro: IOT applications for the georeferencing and detection of zeal in cattle. **Computer Information Systems and Industrial Management**, p. 232-239, 2019.

ASMARE, B. Farm animal welfare and handling in the tropics: The Ethiopia case. **Advances in Agriculture**, v. 2014, p. 1-8, 2014.

AUGUSTIN, A.; CLAUSEN, T.; TOWNSLEY, W. A study of LoRa: Long range & low power networks for the internet of things. **Sensors**, v. 16, n. 9, p. 1-18, 2016.

AUTO-ID LABS. **Auto-ID Labs**. Disponível em: <<https://www.autoidlabs.org/>>. Acesso em: 18 out. 2020.

AVELAR, S. Agricultura 4.0: O futuro da agropecuária e extensão rural. **Ascom Emater-MG**, Belo Horizonte, 10 dez. 2019. Disponível em: <<http://www.emater.mg.gov.br/portal.do/site-noticias/agricultura-40-o-futuro-da->

agropecuaria-e-extensao-rural/?flagweb=novosite_pagina_interna&id=24568>.

Acesso em: 11 out. 2020.

AVILA, A. S.; JÁCOME, I. M. T. D.; FACCEND, A.; PANAZZOLO, D. M.; MULLER, E. R. Avaliação e correlação de parâmetros fisiológicos e índices bioclimáticos de vacas holandês em diferentes estações. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 14, n. 14, p. 2878-2884, 2013.

AZEVEDO, H. H. F.; PACHECO, A.; PIRES, A. P.; MENDONÇA NETO, J. S. N.; PENA, A. A. G.; GLAVÃO, A. T.; FERRARI, E. D. M.; ALMEIDA, B. E. B. F. de; BATISTA, T. V. L. de O.; ARAÚJO, C. F.; BATISTA, W. L. de O. Well-welfare and it's prospect in animal production. **PUBVET**, v. 14, n. 1, 2020.

BERNARDI, A. C de C.; NAIME, J. de M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. **Agricultura de precisão: Resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: Embrapa,, 2014. 596 p.

BILBY, T. R.; TATCHER, W. W.; HANSEN, P. J. Estratégias farmacológicas, nutricionais e de manejo para aumentar a fertilidade de vacas leiteiras sob estresse térmico. In: Curso Novos Enfoques na Produção e Reprodução de Bovinos, 18., 2014, Uberlândia. **Anais....** Uberlândia, MG (UNESP), 2014, p. 59-71.

BLOX. **NEO-6 u-blox 6 GPS Modules**. 2017. Disponível em: <[https://www.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/NEO-6_DataSheet_\(GPS.G6-HW-09005\).pdf](https://www.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/NEO-6_DataSheet_(GPS.G6-HW-09005).pdf)>. Acesso em: 26 jun. 2018.

BRAUN, A.; COLANGELO, E.; STECKEL, T. Farming in the Era of Industrie 4.0. **Procedia CIRP**, v. 72, p. 979-984, 2018.

BRESSAN, P. O. **Algoritmos para obtenção de frequência cardíaca e respiratória em bovinos**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) - Faculdade de Computação, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande - MS. 2016.

BROOM, D. M. Behaviour and welfare in relation to pathology. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 97, n. 1, p. 73-83, 2006.

BROOM, D. M. A history of animal welfare science. **Acta Biotheoretica**, v. 59, n. 2, p. 121-137, 2011.

BROOM, D. M.; MOLENTO, C. F. M. Bem-estar animal: Conceito e questões relacionadas revisão. **Archives of Veterinary Science**, v. 9, n. 2, p. 1-11, 2004.

CANATA, T. F. **Sistema de mensuração baseado em tecnologia LiDAR para a estimativa de parâmetros de produção de cana-de-açúcar**. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciência) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba - SP. 2017.

BUNGART, J. W. **Redes de computadores: Fundamentos e protocolos**. São Paulo: Editora SESI-Serviço Social da Indústria, 2017. 260 p.

CARRION, P.; QUARESMA, M. Internet da Coisas (IoT): Definições e aplicabilidade aos usuários finais. **Human Factors in Design**, v. 8, n. 15, p. 049-066, 2019.

CARVALHO, N. **Ambiência em rebanhos leiteiros: Como manejar o estresse calórico**, Belo Horizonte, 10 dez. 2012. Disponível em: <<https://www.revistaleiteintegral.com.br/noticia/ambiencia-em-rebanhos-leiteiros-como-manejar-o-estresse-calorico>>. Acesso em: 17 nov. 2020.

CATTANI, M.; BOANO, C. A.; RÖMER, K. An experimental evaluation of the reliability of lora long-range low-power wireless communication. **Journal of Sensor and Actuator Networks**, v. 6, n. 2, p. 1-19, 2017.

CAVALCANTI, L. F. L.; RIBAS, M. N.; PEREIRA, L. G. R. Processamento de dados e suporte para tomada de decisão na pecuária leiteira de precisão. **Cadernos Técnicos de Veterinária e Zootecnia**, n. 79, p. 86-96, 2015.

CAVALCANTI, A. J. F. N.; CORREIA, F. P.; BRITO, J. A. Validação de uma rede de sensores sem fio aplicada à fruticultura irrigada do vale do São Francisco. **Brazilian Applied Science Review**, v. 4, n. 5, p. 2763-2780, 2020.

CEBALLOS, M. C.; SANT'ANNA, A. C. Evolução da ciência do bem-estar animal: Aspectos conceituais e metodológicos. **Revista Acadêmica Ciência Animal**, v. 16, p. 1-24, 2018.

CERQUEIRA, J. L.; ARAÚJO, J. P.; SORENSEN. J. T.; RIBEIRO, J. N. Alguns indicadores de avaliação de bem-estar em vacas leiteiras–revisão. **Revista Portuguesa de Ciências Veterinárias**, v. 110, p. 577-580, 2011.

CHULKOVS, D.; GRABS, E.; IPATOV, A. Comparison of MEMS and FOG gyroscopes for daily use in camera stabilizing systems. In: 2020 24th International Conference Electronics. **Proceedings...IEEE**, 2020. p. 1-4.

COSTA, H. J. F.; MAIA, G. G.; CAMARGO, L. S. A.; SIQUEIRA, L. G. B. Efeitos do estresse térmico sobre parâmetros fisiológicos e vascularização de estruturas ovarianas em animais com valores genéticos distintos para termotolerância-resultados preliminares. In: XXIV Workshop de Iniciação Científica da Embrapa Gado de Leite, 24., 2019, Juiz de Fora. **Anais... Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite**, 2019.

COVIELLO, G.; AVITABILE, G. Multiple synchronized inertial measurement unit sensor boards platform for activity monitoring. **IEEE Sensors Journal**, v. 20, n. 15, p. 1 -7, 2020.

CUGMAS, B.; PLAVŠIĆ, A.; ŠTRUC, E.; SPĪGULIS, J. Photoplethysmography for bovine heat detection: The preliminary results. In: Optical Diagnostics and Sensing XX: Toward Point-of-Care Diagnostics. International Society for Optics and Photonics. **Proceedings...2020**. p. 112470J.

CUREY, R. K.; ASH, M. E.; THIELMAN, L. O.; BARKER, C. H. Proposed IEEE inertial systems terminology standard and other inertial sensor standards. In: PLANS 2004. Position Location and Navigation Symposium. **Proceedings...IEEE**, 2004. p. 83-90.

CUREY, R. K. Gyro and accelerometer panel: 50 years of service to the inertial community. **IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine**, v. 28, n. 7, p. 23-29, 2013.

DANTAS, M. R. T.; SOUZA JÚNIOR, J. B. F. de; DOMINGOS, H. G. T.; TORQUATO, J. L.; SÁ FILHO, G. F.; COSTA, L. de M. Termorregulação de bovinos em ambiente tropical: uma abordagem com ênfase nas respostas fisiológicas. **Publicações em Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 6, p. 1301-1306, 2012.

DAVCEV, D.; MITRESKI, K; TRAJICOVIC, S.; NICOLOVSKI, V.; KOTELI, N. IoT agriculture system based on LoRaWAN. In: 2018 14th IEEE International Workshop on Factory Communication Systems (WFCS). **Proceedings... IEEE**, 2018. p. 1-4.

DAVIS, G.; CASADY, W. W.; MASSEY, R. E. Precision agriculture: An introduction **Extension publications (MU)**, 1998. 7 p.

DEL-CLARO, K. Comportamento animal: Uma introdução à ecologia comportamental. Jundiaí: Livraria e Editora Conceito. 2004. 132 p.

DEL-CLARO, K.; PREZOTO, F.; SABINO, J. Comportamento animal. **Uma introdução à Ecologia Comportamental**. Jundiaí: Livraria Conceito, p. 11-15, 2008.

DUKES, H. H.; SWENSON, M. J.; REECE, W. O. **Dukes fisiologia dos animais domésticos**. Editora Guanabara Koogan, 1996.

EDEN, T.; MASKELL, E. J. The influence of soil heterogeneity on the growth and yield of successive crops. **The Journal of Agricultural Science**, v. 18, n. 2, p. 163-185, 1928.

ELGENDI, M. On the analysis of fingertip photoplethysmogram signals. **Current cardiology reviews**, v. 8, n. 1, p. 14-25, 2012.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Anuário Leite 2020**. São Paulo: Texto Comunicação Corporativa, 2020. 104 p.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **The State of Food Security and Nutrition in the World 2017: Building Resilience for Peace and Food Security**. FAO, 2017.

FERRÁNDEZ-PASTOR, F. J.; GARCÍA-CHAMIZO, J. M.; NIETO-HIDALGO, M.; MORA-PASCUAL, J.; MORA-MARTÍNEZ, J. Developing ubiquitous sensor network platform using internet of things: Application in precision agriculture. **Sensors**, v. 16, n. 7, p. 1141, 2016.

FILIPPE, A.; TAVARES, C. **Monitorização animal baseada em tecnologias IoT (SHEEPIT) animal monitoring based on iot technologies (SHEEPIT)**. 2017. (Mestrado em Engenharia Informática) - Universidade de Aveiro, Aveiro. 2017.

FRANKELIUS, P.; NORRMAN, C.; JOHANSEN, K. Agricultural innovation and the role of institutions: lessons from the game of drones. **Journal of Agricultural and Environmental Ethics**, v. 32, n. 5-6, p. 681-707, 2019.

GASPAR, P. D. Fruticultura 4.0: Novas tecnologias na fruticultura. In: **AGROCIÊNCIA ABRIL 2020 VOZ DO CAMPO**, 3.

GOLDONI, E.; PRANDO, L.; VIZZIELLO, A.; SAVAZZI, P.; GAMBA, P. Experimental data set analysis of RSSI-based indoor and outdoor localization in LoRa networks. **Internet Technology Letters**, v. 2, n. 1, p. e75, 2019.

HART, B. L. Biological basis of the behavior of sick animals. **Neuroscience & Biobehavioral Reviews**, v. 12, n. 2, p. 123-137, 1988.

HASHIMI, S. Service-oriented architecture explained. **ONDot Net. com, August**, v. 18, 2003.

HERTEM, T. van; MALTZ, E.; ANTLER, A.; ROMANINI, C. E. B.; VIAZZI, C.; SCHLAGETER-TELLO, A.; LOKHORST, C.; BERCKSMAN, D.; HALACHMI, I. Lameness detection based on multivariate continuous sensing of milk yield, rumination, and neck activity. **Journal of Dairy Science**, v. 96, n. 7, p. 4286-4298, 2013.

HU, J.; SHEN, L.; YANG, Y.; LV, R. Design and implementation of wireless sensor and actor network for precision agriculture. In: International Conference on Wireless Communications, Networking and Information Security. **Proceedings... IEEE**, 2010. p. 571-575.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 2017: resultados definitivos**. 2019. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/94/cd_2010_religiao_deficiencia.pdf>. Acesso em: 24 out. 2020.

JAMALI, B.; RANASINGHE, D. C.; COLE, P. H. Analysis of UHF RFID CMOS rectifier structures and input impedance characteristics. In: **Microelectronics: Design, Technology, and Packaging II**. International Society for Optics and Photonics, 2006. p. 60350D.

JESUS, L. de. **Identificação do comportamento bovino por meio do monitoramento animal**. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) - Faculdade de Computação, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande - MS. 2014.

JOHNSEN, P. F.; JOHANNESSEN, T.; SANDØE, P. Assessment of farm animal welfare at herd level: many goals, many methods. **Acta Agriculture Scandinavica, Section A-Animal Science**, v. 51, n. S30, p. 26-33, 2001.

KAUSHAL, K.; KAUR, T.; KAUR, J. ZigBee based wireless sensor networks. **International Journal of Computer Science and Information Technologies**, v. 5, n. 6, p. 7752-7755, 2014.

KOLB, E. Coração e circulação. **Fisiologia veterinária**, v. 4, Rio de Janeiro, RJ, Brasil: Guanabara Koogan, 1980.

KUROSE, J. F.; ROSS, K. W. **Redes de computadores e a Internet: uma abordagem top-down**. 6. Ed. São Paulo, SP, Brazil: Pearson, 2013. 896 p.

LAM, K.; CHEUNG, C.; LEE, W. New rssi-based lora localization algorithms for very noisy outdoor environment. In: Annual Computer Software and Applications Conference (COMPSAC), 42, **Proceedings...** IEEE, 2018. p. 794-799.

LAVRIC, A.; POPA, V. Internet of things and LoRa™ low-power wide-area networks: a survey. In: **International Symposium on Signals, Circuits and Systems (ISSCS). Proceedings...**IEEE, 2017. p. 1-5.

LEJON, E.; FRANKELIUS, P. **Sweden innovation power - Agritechnica**. Elmia, Jönköping, Sweden, 2015.

LIMA, W. T.; BRITO FILHO, M. P. de; NASCIMENTO, L. C. do; LIMA, L. D. G. de; FEITOSA, J. V.; COSTA, A. N. L. da. Uso de métodos não invasivos em bovinos Girolando como ferramentas indicativas de animais em estresse térmico. In: Congresso Brasileiro de Biometeorologia, Ambiência, Comportamento e Bem-Estar Animal **Anais...** CBBiomet, 2017.

LIN, D. LEE, C. K. M.; LIN, K. Research on effect factors evaluation of internet of things (IOT) adoption in Chinese agricultural supply chain. In: **International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management. Proceedings...** IEEE, 2016. p. 612-615.

LIU, Y.; MA, X.; SHU, L.; HANCKE, G. P.; ABU-MAHFOUZ, A. M. From Industry 4.0 to Agriculture 4.0: Current Status, Enabling Technologies, and Research Challenges. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, 2020.

MA, Y.; CHEN, J. Toward intelligent agriculture service platform with lora-based wireless sensor network. In: **International Conference on Applied System Invention (ICASI). Proceedings...**IEEE, 2018. p. 204-207.

MARINHO, C. S.; BARBOSA, G. I.; AQUINO, T. de A.; SILVA, J. F. de M. C. da; MENEZES, J. M. W. de. Desenvolvimento de nós para rede de sensores sem fio baseado em plataformas Open Source para aplicação no semiárido. *In: XXXIV Simpósio Brasileiro de Telecomunicações – SBrT2016. Anais...* Santarém, PA, Brasil: 2016.

MARINS, T. N.; ALMEIDA, I. G. B. de; LÔBO, B. V.; PESSOA, C. M. V.; TEIXEIRA, R. C.; ALVES, B.; GAMBARINI, M. L. Índices de estresse e conforto térmico associados aos parâmetros fisiológicos e perfil energético em vacas Girolando criadas a pasto na savana tropical. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, p. e111973672-e111973672, 2020.

MARTINI, P. M.; BRONDANI, I. L.; ALVES FILHO, D. C.; VIANA, A. F. P.; ADAMS, S. M.; KLEIN, J. L.; RODRIGUES, L. S.; CATELLAM, J. Comportamento ingestivo de bovinos jovens mantidos em pasto de sorgo ou milho. **Boletim de Indústria Animal**, v. 74, n. 4, p. 308-318, 2017.

MASSRUHÁ, S. M. F. S.; LEITE, M. A. de A. **Agro 4.0-rumo à agricultura digital**. Embrapa Informática Agropecuária-Artigo em anais de congresso (ALICE). *In: MAGNONI JÚNIOR, L.; STEVENS, D.; SILVA, WTL da; VALE, JMF do; PURINI, SR de M.; MAGNONI, M. da GM; SEBASTIÃO, E.; BRANCO JÚNIOR, G.; ADORNO FILHO, EF; FIGUEIREDO, W. dos S.; SEBASTIÃO, I. (Org.). JC na Escola Ciência, Tecnologia e Sociedade: Mobilizar o conhecimento para alimentar o Brasil. 2. ed. São Paulo: Centro Paula Souza, 2017., 2017.*

MAZOCCO, L. A.; SOUZA, A. C. B. de; SOUZA, K. A. R. de; FERREIRA, I. C.; FONSECA NETO, A. M. da; PIMENTEL, C. M. M. Comportamento ingestivo de vacas de raças zebuínas em sistema de Integração Lavoura Pecuária Floresta (ILPF) no Cerrado. **CBBiomet** 2017. **Journal** contribution. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.5188192.v1>

MENDES, D. R. **Redes de computadores: Teoria e prática**. 2. ed. São Paulo: Novatec, 2016. 528 p.

MORIMOTO, C. E. **Redes, guia prático**. Porto Alegre: Sul Editores, v. 4, p. M857r, 2008.

MUANGPRATHUB, J.; BOONNAM, N.; KAJORNKASIRAT, S.; LEKBANGPONG, N.; WANISCHSOMBAT, A.; NILLAOT, P. IoT and agriculture data analysis for smart farm. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 156, p. 467-474, 2019.

MUÑOZ, C.; HUIRCAN, J.; HUENUPAN, F.; CACHAÑA, P. PTZ camera tuning for real time monitoring of cows in grazing fields. In: Latin American Symposium on Circuits & Systems (LASCAS), **11, Proceedings....** IEEE, 2020. p. 1-4.

NASCIMENTO, G. V. do; CARDOSO, E. de A.; BATISTA, N. L.; SOUZA, B. B. de; CAMBUI, G. B. Indicadores produtivos, fisiológicos e comportamentais de vacas de leite. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 9, n. 4, p. 28-36, 2013.

OCDE-FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - Food and Agriculture Organization. El Estado de los bosques del mundo 2016. Los bosques y la agricultura: desafíos y oportunidades en relación con el uso de la tierra. 2016. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-i5588s.pdf>>. Acesso em: 11 out. 2020.

OLIVEIRA, A. M. de; OLIVEIRA NETO, N. M. de; GUERRA, L. de O.; FONSECA, W. J. M.; VOGADO, G. M.; SILVA, G. M.; GIOOT, G. T. e; SOUSA JÚNIOR, S. C. de. Feeding behavior of cattle grazing *Brachiaria decumbens* and *Cynodon* spp. **Journal of Animal Behaviour and Biometeorology**, v. 3, n. 3, p. 81-85, 2015.

OLIVEIRA, A. S.; CAMPOS, J. M. de S.; VALADARES FILHO, S. de C.; ASSIS, A. J. de; TEIXEIRA, R. M. A.; RENNÓ, L. N.; PINA, D. dos S.; OLIVEIRA, G. S. de. Substituição do milho pela casca de café ou de soja em dietas para vacas leiteiras: comportamento ingestivo, concentração de nitrogênio uréico no plasma e no leite, balanço de compostos nitrogenados e produção de proteína microbiana. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, n. 1, p. 205-215, 2007.

OGUEJIOFOR, O. S.; OKOROGU, V. N.; ADEWALE, A.; OSUESU B. O. Outdoor localization system using RSSI measurement of wireless sensor network. **International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering**, v. 2, n. 2, p. 1-6, 2013.

ORTEGA, R.; LUIS FLORES, M. Agricultura de precisión: Introducción al manejo sitio-específico. **Ministerio de Agricultura, Instituto de investigaciones agropecuarias. CRI Quilamapu. (Chile)**, p. 13-46, 1999.

PARDO, R. M. P.; FISCHER, V.; BALBINOTTI, M.; MORENO, C. B.; FERREIRA, E. X.; VINHAS, R. I. V.; MONKS, P. L. Diurnal ingestive behavior of grazing steers fed increasing levels of energy supplementation. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 32, n. 6, p. 1408-1418, 2003.

PARRONCHI, P. Os pioneiros do desenvolvimento e a Nova Agricultura 4.0: desenvolvimento econômico a partir do campo? The development pioneers and the New Agriculture 4.0: economic development from the countryside? **Research Gates**, 18 p.

PAAVOLA, M.; LEIVISKA, K. Wireless sensor networks in industrial automation. In: **Factory Automation**. IntechOpen, 2010.

PENG, Y.; KONDO, N.; FUJIURA, T.; SUZUKI, T.; WULANDARI; YOSHIOKA, H.; ITOYAM, E. Classification of multiple cattle behavior patterns using a recurrent neural network with long short-term memory and inertial measurement units. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 157, p. 247-253, 2019.

POPESCU, D.; STOICAN, F.; STAMASTESCU, G.; ICHIM, L.; DRAGANA, C. Advanced UAV–WSN System for Intelligent Monitoring in Precision Agriculture. **Sensors**, v. 20, n. 3, p. 817, 2020.

REIGONES, A. R.; GASPAR, P. D.; GARCIA, N. M. Sistema de monitorização de biosinais de gado baseado em tecnologias da informação e comunicação & eletrónica (TICE). In: International Congress on Engineering 2017. Proceedings...ICEUBI , 2017.

REYNDERS, B.; POLLIN, S. Chirp spread spectrum as a modulation technique for long range communication. In: Symposium on Communications and Vehicular Technologies (SCVT). Proceedings...IEEE, 2016. p. 1-5.

ROCHA, D. T. da; RESENDE, J. C. de; MARTINS, P. do C. Evolução tecnológica da atividade leiteira no Brasil: uma visão a partir do Sistema de Produção da Embrapa Gado de Leite. **Embrapa Gado de Leite-Documentos (INFOTECA-E)**, 2018.

SATHYANARAYANAN, P. S. V. A Cloud based irrigation system for agriculture. **International Journal on Informatics Visualization**, v. 2, n. 1, p. 28-30, 2018.

SANTOS, T. C. dos; ESPERIDIÃO, T. L.; AMARANTE, M. dos S. Agricultura 4.0. **Revista Pesquisa e Ação**, v. 5, n. 4, p. 122-131, 2019.

SCARIOT, J.; SOUZA, B. F. de.; ZANELLA, E. L.; ZANELLA, R. Teste de eficiência de um novo dispositivo eletrônico de identificação de cio em fêmeas bovinas leiteiras mantidas em regime de compost barn. **Revista Brasileira de Reprodução Animal**, v. 44, n. 2, p. 64-70, 2020.

SCHILLER, J.; VOISARD, A.(Ed.). **Location-based services**. Elsevier, 2004. 255 p.

SCHÖNFELD, M. V.; HEIL, R.; BITTNER, L. Big data on a farm-Smart farming. **Big Data in Context**, p. 109-120, 2018.

SHELLEY, K.; SHELLEY, S.; LAKE, C. Pulse oximeter waveform: Photoelectric plethysmography. **Clinical Monitoring**, p. 420-428, 2001.

SHOBHA, N. S. S.; ARUNA, K. S. P.; BHAGYASHREE, M. D. P.; SARITA, K. S. J. NFC and NFC payments: A review. In: International Conference on ICT in Business Industry & Government (ICTBIG). **Proceedings...IEEE**, 2017. p. 1-7.

SILVA, N.; MENDES, J.; SILVA, R.; SANTOS, F. N. dos; MESTRE, P.; SERÔDIO, C.; MORAIS, R. Low-Cost IoT LoRa® Solutions for Precision Agriculture Monitoring Practices. In: EPIA Conference on Artificial Intelligence. **Proceedings...Springer**, Cham, 2019. p. 224-235.

SOUZA, B. B. de; SILVA, R. M. N. da; MARINHO, M. M.; SILVA, G. de A.; SILVA, E. M. N. da; SOUZA, A. P. de. Parâmetros fisiológicos e índice de tolerância ao calor de bovinos da raça Sindí no semi-árido paraibano. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 3, p. 883-888, 2007.

SMITH, D.; RAHMAN, A.; BISHOP-HURLEY, G. J.; HILLS, J.; SHAHARIAR, S.; HENRY, D.; RAWNSLEY, R. Behavior classification of cows fitted with motion collars: Decomposing multi-class classification into a set of binary problems. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 131, p. 40-50, 2016.

SWAIN, K. B.; MAHATO, S.; PATRO, M.; PATTNAYAK, S. K. Cattle health monitoring system using Arduino and LabVIEW for early detection of diseases. In: Third International Conference on Sensing, Signal Processing and Security (ICSSS). **Proceedings...IEEE**, 2017. p. 79-82.

SØRENSEN, L. P.; BJERRING, M.; LØVENDAHL, P. Monitoring individual cow udder health in automated milking systems using online somatic cell counts. **Journal of Dairy Science**, v. 99, n. 1, p. 608-620, 2016.

SOUZA, A. N. M. de; ROCHA, M. G. da; PÖTTER, L.; ROSO, D.; GLIENKE, C. L.; OLIVEIRA NETO, R. A. de. Comportamento ingestivo de novilhas de corte em pastagem de gramíneas anuais de estação quente. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 8, p. 1662-1670, 2011.

TANENBAUM, A. S. **Rede de computadores**, 5. ed. São Paulo, SP, Brasil: Pearson, 2011. 600 p.

TELECO - Inteligência em Telecomunicações. **Wi-Fi e WiMAX II: Conceitos do WiMAX**. Disponível em: <https://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialww2/pagina_2.asp>. Acesso em: 18 out. 2020.

THEURER, M. E.; AMRINE, D. E.; WHITE, B. J. Remote noninvasive assessment of pain and health status in cattle. **Veterinary Clinics: Food Animal Practice**, v. 29, n. 1, p. 59-74, 2013.

TIJSSEN, M.; HERNLUND, E.; RHODIN, M.; BOSCH, S.; VOSKAMAP, J. P.; NIELEN, M.; SERRA BRAGA, F. M. Automatic hoof-on and-off detection in horses using hoof-mounted inertial measurement unit sensors. **Plos One**, v. 15, n. 6, p. e0233266, 2020.

VENTURY, S. N. Fundamentos de redes de computadores, 1. ed. Rio VILELA, Duarte et al. A evolução do leite no Brasil em cinco décadas. **Revista de Política Agrícola**, v. 26, n. 1, p. 5-24, 2017.

WANG, J.; HE, Z.; JI, J.; ZHAO, K.; ZHANG, H. IoT-based measurement system for classifying cow behavior from tri-axial accelerometer. **Ciência Rural**, v. 49, n. 6, 2019.

WEARY, D. M.; HUZZEY, J. M.; KEYSERLINGK, M. A. G. von. Board-invited review: Using behavior to predict and identify ill health in animals. **Journal of Animal Science**, v. 87, n. 2, p. 770-777, 2009.

WELTZIEN, C. Digital agriculture or why agriculture 4.0 still offers only modest returns. **Landtechnik**, v. 71, n. 2, p. 66-68, 2016.

WOLFGER, B.; SCHWARTZKOPF-GENSWEIN, K. S.; BARKEMA, H. W.; PAJOR, E. A.; LEVY, M.; ORSEL, K. et al. Feeding behavior as an early predictor of bovine respiratory disease in North American feedlot systems. **Journal of Animal Science**, v. 93, n. 1, p. 377-385, 2015.

XU, L. D.; HE, W.; LI, S. Internet of things in industries: A survey. **IEEE Transactions on industrial informatics**, v. 10, n. 4, p. 2233-2243, 2014.

YAMAMOTO, M. E.; VOLPATO, G. L. **Comportamento animal**. Natal: UFRN, 2007.

ZAPAROLLI, D. Agricultura 4.0: **Revista Pesquisa FAPESP**. São Paulo - SP, ed. 287, 16 jan. 2020. Disponível em: <<https://revistapesquisa.fapesp.br/agricultura-4-0/>>. Acesso em: 11 out. 2020.

APÊNDICE A – Fotos dos componentes da Plataforma IoT

Exemplos do animal utilizando o cabresto com o *Node* embarcado.



Fonte: Acervo do autor.

Exemplos do animal utilizando o cabresto com o *Node* embarcado.



Fonte: Acervo do autor.

Exemplos do animal utilizando o cabresto com o *Node* embarcado.



Fonte: Acervo do autor.

Exemplos do animal utilizando o cabresto com o *Node* embarcado.



Fonte: Acervo do autor.

Exemplos do animal utilizando o cabresto com o *Node* embarcado.



Fonte: Acervo do autor.

Exemplos do animal utilizando o cabresto com o *Node* embarcado.



Fonte: Acervo do autor.

Exemplos do animal utilizando o cabresto com o *Node* embarcado.



Fonte: Acervo do autor.

Exemplos do animal utilizando o cabresto com o *Node* embarcado.



Fonte: Acervo do autor.

APÊNDICE B – Tabelas com os dados dos experimentos

Valores coletados para a elaboração da Tabela 1.

Corrente (mA)	Número de leitura realizada com sucesso/Número total de leituras realizadas (%)					
	I	II	III	IV	V	VI
6	4,39	5,31	5,43	5,32	6,00	5,88
8	6,71	7,53	7,61	9,71	12,86	8,00
10	9,62	23,23	8,51	36,45	17,76	10,71
12	16,45	22,60	23,40	56,36	26,00	47,69
14	34,07	46,54	37,40	34,07	12,22	11,43
16	2,53	1,54	6,84	2,53	1,54	1,45

Fonte: Elaborada pelo autor.

Valores coletados para a elaboração da Tabela 2.

Temperatura Superficial Corporal (°C)			
Fluke 62Max		Módulo PPG (6)	
Animal 05	Animal 160	Animal 05	Animal 160
36,0	34,7	36,8	34,7
36,8	35,1	37,7	35,8
37,5	34,8	38,4	35,3
37,7	34,9	38,6	35,5
37,9	35,1	38,6	35,8
37,8	34,8	38,5	35,5
37,6	35,0	38,5	35,8
36,9	35,7	37,8	36,0
37,2	35,3	38,0	36,1
37,5	35,9	38,3	36,4
37,4	36,2	38,1	37,0
37,6	36,6	38,5	37,4
37,7	36,4	38,6	37,2
36,5	36,2	37,4	37,1
36,9	36,3	37,1	37,2
36,1	36,3	36,9	37,2
36,3	36,5	37,1	37,2
37,3	36,4	38,1	37,3
36,8	36,7	37,7	37,6
37,5	35,9	37,9	36,4

Fonte: Elaborada pelo autor.

Valores coletados para a elaboração da Tabela 3.

Mensuração da frequência cardíaca do bovino (bpm)	
Manual com estetoscópio	Autônoma com Módulo PPG (6)
55	53
49	46
46	46
44	45
48	48
53	45
52	51
45	53
45	53
45	53
	53
	55
	55
	55
	48
	44
	44
	45

Fonte: Elaborada pelo autor.

Valores coletados do celular *Samsung S9* para a elaboração da Tabela 4.

Ângulo	Mensuração do ângulo <i>Pitch</i> (°)									
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
23,0	23,4	22,8	22,8	23,1	23,1	23,1	22,8	22,9	23,0	23,0
25,0	25,2	24,9	25,0	24,6	25,2	24,9	25,0	25,0	25,9	25,0
33,0	32,6	32,8	33,0	32,6	33,1	33,1	32,7	33,0	33,1	33,2
39,0	38,6	38,9	38,8	38,7	38,7	39,0	38,9	38,9	39,0	39,1
49,0	48,4	48,8	48,9	48,6	49,0	48,9	48,8	49,0	48,6	48,8
53,0	52,5	52,6	52,6	52,8	52,8	52,9	52,7	52,8	52,8	52,6
63,0	62,6	62,5	62,5	62,5	62,6	62,4	62,6	62,8	62,6	62,7
76,0	75,5	75,3	75,6	75,6	75,3	75,3	75,5	75,5	75,8	75,7
83,0	82,4	82,6	82,6	82,6	82,8	82,5	82,6	82,6	82,5	82,6
88,0	87,4	87,6	87,3	86,6	87,4	87,3	87,7	87,3	87,6	87,3

Fonte: Elaborada pelo autor.

Valores coletados do Módulo IMU (7) para a elaboração da Tabela 4.

Ângulo	Mensuração do ângulo <i>Pitch</i> (°)									
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
23,0	23,5	22,9	22,9	23,3	23,3	23,4	23,2	23,3	23,4	23,3
25,0	25,4	25,1	25,1	24,9	25,5	25,1	25,3	25,3	25,2	25,3
33,0	32,5	32,9	32,9	32,8	33,3	33,4	33,1	33,4	33,4	33,6
39,0	38,4	38,9	38,8	38,7	38,7	39,2	39,1	39,1	39,3	39,4
49,0	48,0	48,5	48,6	48,4	49,0	49,0	49,0	49,2	48,9	49,0
53,0	52,2	52,4	52,6	52,8	52,7	53,1	52,8	53,1	52,6	52,8
63,0	62,2	62,2	62,3	62,4	62,5	62,3	62,6	62,9	62,4	62,8
76,0	75,0	74,9	74,6	75,4	75,0	75,2	75,5	75,5	75,8	75,8
83,0	81,8	81,8	82,3	82,3	82,6	82,4	82,9	82,5	82,5	82,6
88,0	86,6	86,8	86,9	86,2	87,1	86,7	87,4	87,1	87,3	87,1

Fonte: Elaborada pelo autor.

Valores coletados para a elaboração da Tabela 5.

Mensuração da distância entre os pontos (m)			
P1 a P2	P2 a P3	P3 a P4	P4 a P1
10,48	10,25	9,93	10,45
9,29	10,56	10,66	10,30
9,85	10,23	10,87	10,77
9,81	9,24	10,65	10,35
10,21	10,08	9,93	9,77
10,67	9,11	10,85	9,39

Fonte: Elaborada pelo autor.