UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ZOOTECNIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS

CARLOS ALBERTO MARINCEK

**Sistema autônomo microcontrolado para monitoramento bovino aplicando o
conceito de cerca virtual**

Pirassununga

2021

CARLOS ALBERTO MARINCEK

**Sistema autônomo microcontrolado para monitoramento bovino aplicando o
conceito de cerca virtual**

“Versão corrigida”

Dissertação apresentada à Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo para obtenção do Título de Mestre em Ciências do programa em Gestão e Inovação na Indústria Animal.

Área de Concentração: Gestão e Inovação da Indústria Animal

Orientadora: Profa. Dra. Ana Carolina de Sousa Silva

Pirassununga

2021

Ficha catalográfica elaborada pelo
Serviço de Biblioteca e Informação, FZEA/USP, com
os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M337s Marincek, Carlos Alberto
 Sistema autônomo microcontrolado para
 monitoramento bovino aplicando o conceito de cerca
 virtual / Carlos Alberto Marincek ; orientadora Ana
 Carolina de Sousa Silva. -- Pirassununga, 2021.
 116 f.

 Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação
 em Mestrado Profissional Gestão e Inovação na
 Indústria Animal) -- Faculdade de Zootecnia e
 Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo.

 1. Monitoramento bovino. 2. Geolocalização. 3.
 LoRa. 4. Cerca virtual. I. Silva, Ana Carolina de
 Sousa, orient. II. Título.

CARLOS ALBERTO MARINCEK

**Sistema autônomo microcontrolado para monitoramento bovino aplicando o
conceito de cerca virtual**

Dissertação apresentada à Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo para obtenção do Título de Mestre em Ciências do programa em Gestão e Inovação na Indústria Animal.

Área de Concentração: Gestão e Inovação da Indústria Animal

Orientadora: Profa. Dra. Ana Carolina de Sousa Silva

Data de aprovação: 30/03/2021

Banca Examinadora:

Profa. Dra. Ana Carolina de Sousa Silva

Presidente da Banca Examinadora

Prof. Dr. Guilherme Augusto Spiegel Gualazzi

2º Examinador

Profa. Dra. Luciane Silva Martello

3º Examinador

Prof. Dr. Luiz Arthur Malta Pereira

4º Examinador

Dedico este trabalho a Deus, “Força Suprema e Absoluta”, que deu origem a Tudo e a Todos, e que faz chegar o conhecimento aos homens através de mestres.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela oportunidade de poder agradecer, pelo caminho de luz mostrado, pela força concedida e por estar presente em todos momentos da minha vida, abençoando-me, guiando-me na superação dos obstáculos enfrentados no cumprimento de mais uma etapa na vida.

Ao Mestre, pelos ensinamentos transmitidos, pela oportunidade de poder sentir, ouvir e acionar.

Aos meus pais, pela oportunidade concedida de estar aqui, por seus esforços, lutas, exemplo, dedicação e contribuição para a formação de um “Homem”.

A minha família, que sempre esteve ao meu lado, pelo apoio, por sua compreensão, amor, incentivo e dedicação de forma incondicional, permitindo a realização desse sonho.

A minha orientadora, pela oportunidade concedida para a realização deste trabalho, pela confiança depositada, pela sua dedicação, paciência e pelos ensinamentos transmitidos que contribuíram não só para a construção deste trabalho como para minha formação acadêmica.

Aos amigos, funcionários, professores, alunos e colaboradores das instituições: Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, ETEC Tenente Aviador Gustavo Klug, Serviço de Água e Esgoto de Pirassununga, Associação Phoenix de Estudos e Pesquisa e outras não citadas, que fazem parte da formação de minha vida pessoal, profissional e acadêmica, pelo carinho, incentivo, apoio, colaboração e força necessária para o cumprimento de mais um objetivo na vida.

“O homem pretende ser imortal e para isso defende princípios efêmeros. Um dia, inexoravelmente, descobrirá que para ser imortal deverá defender princípios absolutos. Neste dia morrerá para a carne, efêmera e viverá para o espírito eterno. Será imortal. ”

Dr. Celso Charurl

RESUMO

MARINCEK, C. A. **Sistema autônomo microcontrolado para monitoramento bovino aplicando o conceito de cerca virtual**. 2021. 116 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2021.

A relevância da pecuária dentro do contexto socioeconômico do Brasil, quando se trata da bovinocultura, tem favorecido a inserção de tecnologias inovadoras no setor. A proposta deste trabalho é fornecer dados de geolocalização dos animais ao produtor, em tempo real, através do desenvolvimento de um sistema de monitoramento bovino, com funcionalidade de cerca virtual, capaz de alertar o produtor quando o animal atingir áreas restritas. O sistema é autônomo quanto ao aspecto energético, com software e hardware de custo reduzido, pequenas dimensões, baixo peso, mínimo consumo de energia e atende aos requisitos necessários para cobertura de grandes áreas. O sistema consiste de um nó sensor, acoplado ao animal monitorado, alimentado por bateria através de um mini painel solar, contendo um receptor do sistema de posicionamento global que transmite as coordenadas de geolocalização a um concentrador (gateway), por meio de uma rede de comunicação de baixa potência e longo alcance. O nó sensor se utiliza ainda de uma unidade de medida inercial responsável pela otimização do consumo energético do sistema. O gateway promove a captura dos dados transmitidos pelo nó sensor e os envia para armazenamento em nuvem, através da rede internet. A utilização de uma plataforma proporciona ao produtor a visualização da localização do animal monitorado em tempo real, via coordenadas geográficas e/ou através de um mapa, em seu smartphone. O produtor recebe alertas, via serviço de mensagens curtas sempre que o animal monitorado ultrapassar os limites de um espaço pré-determinado (conceito de cerca virtual).

Palavras-chave: Monitoramento bovino. Geolocalização. LoRa. Cerca virtual.

ABSTRACT

MARINCEK, C. A. **Autonomous microcontrolled system for bovine monitoring applying the concept of virtual fence**. 2021. 116 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2021.

The relevance of livestock within the socioeconomic context of Brazil, when it comes to cattle farming, has favored the insertion of innovative technologies in the sector.

The purpose of this work is to provide geolocation data of the animals to the producer, in real time, through the development of a cattle monitoring system, with virtual fence functionality, capable of alerting the producer when the animal reaches restricted areas. The system is autonomous in terms of energy, with software and hardware of reduced cost, small dimensions, low weight, minimum energy consumption and meets the requirements for covering large areas. The system consists of a sensor node, coupled to the monitored animal, powered by battery through a mini solar panel, containing a receiver of the global positioning system that transmits the geolocation coordinates to a concentrator (gateway), through a network of low power and long-range communication. The sensor node also uses an inertial measurement unit responsible for optimizing the system's energy consumption. The gateway promotes the capture of data transmitted by the sensor node and sends it to the cloud storage, over the internet network. The use of a platform allows the producer to visualize the location of the monitored animal in real time, via geographic coordinates and / or through a map, on his smartphone. The producer receives alerts, via short message services whenever the monitored animal exceeds the limits of a predetermined space (concept of virtual fence).

Keywords: Bovine monitoring. Geolocation. LoRa. Virtual fence.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01- Arquitetura de uma rede LoRa de comunicação	29
Figura 02- Classes de operação dos dispositivos LoRa.....	31
Figura 03- Representação das três regiões regulamentadas pela ITU	32
Figura 04- Representação de sinais: <i>up-chirp</i> (esquerda) e <i>down-chirp</i> (direita) ..	34
Figura 05- Representação de sinais com diferentes configurações	35
Figura 06- Visão global do sistema	36
Figura 07- Componentes e interligações do nó sensor.....	38
Figura 08- Mini painel solar fotovoltaico.....	40
Figura 09- Bateria de lítio e carregador de bateria	41
Figura 10- Conversor <i>boost step up</i>	41
Figura 11- Receptor GPS e antena	44
Figura 12- ESP 32 LoRa e antena	44
Figura 13- Unidade de medida inercial (IMU)	45
Figura 14- Componentes do gateway e sua conectividade com a internet	46
Figura 15- Diagrama elétrico do nó sensor (1ª etapa).....	49
Figura 16- Diagrama elétrico do nó sensor (2ª etapa).....	50
Figura 17- Diagrama elétrico final do nó sensor (3ª etapa)	51
Figura 18- Diagrama elétrico do gateway.....	52
Figura 19- Análise de funcionamento da cerca virtual.....	57
Figura 20- Fluxograma: Cerca virtual.....	60
Figura 21- Fluxograma: Otimização do consumo energético.....	62
Figura 22- Direções percorridas pelo nó sensor.....	64
Figura 23- Movimentos executados no teste: Atuação da IMU.....	68

Figura 24- Gateway desenvolvido	73
Figura 25- Sistema de sensoriamento e comunicação do nó sensor	74
Figura 26- Sistema de geração de energia solar fotovoltaica	75
Figura 27- Montagem do nó sensor (lado A).....	76
Figura 28- Montagem do nó sensor (lado B)	76
Figura 29- Dispositivos cadastrados	77
Figura 30- Mensagens enviadas pelo nó sensor.....	78
Figura 31- Mapa indicando localização do nó sensor	78
Figura 32- Tela para criação de alertas.....	79
Figura 33- Percurso do nó sensor na direção A.....	81
Figura 34- Mensagens SMS enviadas ao celular, na direção A.....	82
Figura 35- Percurso do nó sensor na direção B.....	84
Figura 36- Mensagens SMS enviadas ao celular, na direção B.....	85
Figura 37- Percurso do nó sensor na direção C.....	86
Figura 38- Mensagens SMS enviadas ao celular, na direção C.....	87
Figura 39- Determinação do máximo alcance.....	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 01- Dados enviados pelo nó sensor, na direção A	80
Tabela 02- Dados enviados pelo nó sensor, na direção B	82
Tabela 03- Dados enviados pelo nó sensor, na direção C	85
Tabela 04- Dados enviados pelo nó sensor para determinação do alcance	88
Tabela 05- Dados enviados pelo nó sensor com a IMU integrada	90
Tabela 06- Consumo energético do nó sensor.....	91
Tabela 07- Consumo energético do nó sensor sem a integração da IMU.....	92

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 - Especificação dos componentes: sistema geração e alimentação.....	38
Quadro 02 - Especificação dos componentes de sensoriamento e comunicação do nó sensor.....	42
Quadro 03 - Especificação dos componentes do gateway.....	46
Quadro 04 – Corrente elétrica e tempo de funcionamento dos dispositivos.....	70

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIEC	Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
API	Application Programming Interface
CEPEA	Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada
CR	Code Rate
CSS	Chirp Spread Spectrum
EUA	Estados Unidos da América
GPRS	Serviço de rádio de pacote geral
GPS	Sistema de Posicionamento Global
GSM	Sistema global para comunicações móveis
I2C	Inter-Integrated Circuit
IDE	Integrated Development Environment
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IMU	Unidade de Medida Inercial
IoT	Internet das coisas
IP	Internet Protocol
ISM	Industrial, Scientific and Medical
ITU	União Internacional de telecomunicações
LoRa	Long Range
LORAWAN	Long Range Wide Area Network
LPWAN	Low Power Wide Area Network
LTE	Long Term Evolution

MAC	Medium Access Control
NMEA	National Marines Electronics Association
PIB	Produto Interno Bruto
RF	Radiofrequência
RFID	Identificação por radiofrequência
SF	Spreading Factor
SMS	Serviço de Mensagens Curta
UART	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
UNB	Ultra Banda Estreita
WAN	Wide Area Network
Wi-Fi	Wireless Fidelit
WLAN	Wireless <i>Local Area Network</i>

LISTA DE SIMBOLOS

bps	bits por segundo
cm	centímetro
GHz	giga-hertz
H	hora
Kbps	quilobits por segundo
KHz	quilo-hertz
Km	quilometro
mA	mili ampere
Mbps	megabits por segundo
MHz	mega-hertz
mm	milímetro
V	volt
W	watt
g	grama
mAh	mili ampere hora

SUMARIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	OBJETIVOS	19
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
3.1	Importância da bovinocultura dentro do agronegócio	21
3.2	Monitoramento bovino.....	22
3.3	Cerca virtual	23
3.4	Revolução provocada pela internet das coisas (IoT)	24
3.5	Redes de comunicação de baixa potência e longo alcance	25
3.5.1	Rede de comunicação LoRa/LoRaWAN	27
3.5.1.1	Tipos de mensagens e classes dos dispositivos	30
3.5.1.2	Frequência de operação	31
3.5.1.3	Parâmetros de configuração	32
4	MATERIAIS E MÉTODOS	36
4.1	Visão global e funcionamento do sistema	36
4.2	Materiais	37
4.2.1	Nó sensor	37
4.2.1.1	Sistema de geração de energia e alimentação do nó sensor	38
4.2.1.2	Sistema de sensoriamento e comunicação do nó sensor	42
4.2.2	Gateway.....	45
4.3	Métodos	47
4.3.1	Desenvolvimento e montagem dos hardwares.....	48
4.3.1.1	Desenvolvimento e montagem do nó sensor	48
4.3.1.2	Desenvolvimento e montagem do gateway	51
4.3.2	Desenvolvimento e instalação do software do gateway	52
4.3.2.1	Desenvolvimento de softwares	53
4.3.2.2	Plataforma EasyIoT	53
4.3.2.3	Software responsável pelo armazenamento dos dados em nuvem.....	54
4.3.3	Desenvolvimento e instalação do software do nó sensor.....	55
4.3.3.1	Software para aquisição das coordenadas do nó sensor e envio para o gateway.....	55
4.3.3.2	Software para implementação da função cerca virtual	56
4.3.4	Criação de mapa e geração de alertas com envio automático de mensagens SMS	58

4.3.4.1	Criação de mapa no <i>dashboard</i>	58
4.3.4.2	Configuração de mensagens SMS de alerta	59
4.3.5	Desenvolvimento de software e hardware adicional ao nó sensor para otimizar o consumo de energia elétrica	61
4.3.5.1	Integração da IMU ao nó sensor com novo software	61
4.3.6	Avaliação da transmissão de dados, funcionamento da cerca virtual, envio automático de mensagens de alerta e atuação da IMU	63
4.3.6.1	Teste: transmissão de dados, função cerca virtual e envio automático de mensagens SMS	63
4.3.6.2	Teste: alcance de transmissão	65
4.3.6.3	Teste: atuação da IMU	67
4.3.7	Avaliação do consumo energético do nó sensor e determinação da capacidade do sistema de geração de energia	69
4.3.7.1	Avaliação do consumo energético do sistema de sensoriamento e comunicação do nó sensor	69
4.3.7.2	Determinação da capacidade dos componentes do sistema de geração de energia para prover a autossuficiência energética	70
5	RESULTADOS	72
5.1	Resultados obtidos no desenvolvimento e montagem: gateway e nó sensor	72
5.1.1	Resultados obtidos no desenvolvimento e montagem do gateway	72
5.1.2	Resultados obtidos no desenvolvimento e montagem do nó sensor	73
5.2	Resultados obtidos no cadastro e configurações na plataforma EasyIoT	76
5.3	Resultados obtidos nos testes: transmissão de dados, função cerca virtual e envio automático de mensagens SMS	79
5.4	Resultados obtidos no teste de alcance de transmissão	87
5.5	Resultados obtidos no teste de atuação da IMU	90
5.6	Resultados obtidos na avaliação energética do nó sensor	91
5.7	Discussão dos resultados	92
6	CONCLUSÕES	95
	REFERÊNCIAS	98
	APÊNDICES	103

1. INTRODUÇÃO

O ciclo produtivo da bovinocultura segundo Jesus (2014), é o responsável pela movimentação de um grande número de agentes, partindo da fazenda e chegando até a indústria, percorrendo diversas fases de produção, abate, transformação, alcançando o setor de comercialização de produtos e subprodutos fornecidos pela exploração do rebanho, até atingir o consumidor final, aumentando a geração de renda e criando empregos nos mais diversos segmentos da sociedade.

O processo para se atingir a otimização dentro do processo de produção animal segundo Silva (2009), é função do gerenciamento do rebanho e da própria propriedade, onde cada segmento do processo produtivo deve ser monitorado e controlado para minimizar perdas, reduzir despesas, aumentar a produtividade e maximizar as receitas.

A utilização de tecnologias avançadas com o uso de ferramentas e técnicas inovadoras, segundo Tech (2008), se faz necessária para fornecer informações advindas de um grande número de dados e uma diversidade de variáveis inseridas dentro do processo de transformação no setor da pecuária, importantes para auxiliar no gerenciamento e controle realizado pelo produtor rural, facilitando sua tomada de decisão na busca do aperfeiçoamento do setor produtivo e no cuidado com a saúde animal, permitindo um melhor desempenho do seu negócio e consequentemente do seu produto na acirrada competição dentro do mercado nacional e internacional.

Tudo isso, se torna possível através da coleta de dados de forma automática, buscando o mínimo impacto sobre o comportamento animal, por meio da utilização de técnicas não invasivas, de fundamental importância dentro do processo (TECH,2008).

Segundo Tech (2008), a utilização de sistemas eletrônicos para monitoração e controle dentro do setor da pecuária torna-se fundamental para o estabelecimento de novos padrões de gerenciamento dos negócios, permitindo o alcance de alto grau de qualidade, maior segurança, aumento da produtividade e redução de custos. O pecuarista precisa conhecer a rotina de seu rebanho baseando-se em fatos observáveis por meio de monitoramento, visando proporcionar benefícios na

produtividade e na qualidade do produto final, além de melhorias da sanidade e do bem-estar animal.

A pecuária de precisão, de acordo com Camargo (2019), está cada vez mais presente no meio rural, e nesse contexto insere-se o monitoramento animal, que além de proporcionar a rastreabilidade, importante na detecção da origem do animal e procedência de sua carne, permite entender seus hábitos, identificar estado de saúde, administrar ganho de peso, além de fornecer dados úteis que podem reduzir riscos de furtos e roubos, uma prática frequente nas zonas rurais do Brasil, mostrando que a atividade no campo não é uma atividade simplória, mas sim, uma atividade que deve seguir boas práticas de controle e gestão.

Huhtala et al. (2007) afirmam que existem diversas maneiras de monitorar animais, sendo as mais comuns a utilização do sistema de posicionamento global (GPS), a identificação por rádio frequência (RFID), o uso de rede de comunicação local sem fio (WLAN), vídeos, análise de imagem, etc., onde normalmente estas técnicas envolvem o emprego de um colar ou de um brinco (tag) nos animais, existindo diversos fabricantes que oferecem estas tecnologias.

Com esse trabalho, espera-se uma contribuição para o setor da pecuária, com o estudo e desenvolvimento de um protótipo para utilização no monitoramento bovino, baseado em tecnologias recentemente difundidas onde os dados referentes à localização do animal monitorado são obtidos a partir de um receptor GPS, transmitidos a um gateway utilizando-se de uma tecnologia de comunicação de longo alcance (LoRa), que promove a retransmissão dos mesmos para armazenamento em nuvem por meio de uma plataforma de serviços, permitindo ao produtor a visualização de suas coordenadas em tabelas e/ou mapas.

Buscou-se ainda nesse trabalho, a pesquisa e o desenvolvimento para uma aplicação específica de monitoração do animal em tempo real, com a funcionalidade da cerca virtual, capaz de detectar quando o mesmo acessa áreas restritas, podendo ser utilizado como um sistema de prevenção para evitar fugas, furtos e roubos. Outro fator relevante desse trabalho é a utilização da energia solar fotovoltaica para alimentar o sistema e garantir a sua autonomia.

2. OBJETIVOS

Este trabalho tem por objetivo testar a seguinte hipótese:

É possível desenvolver um sistema de monitoramento bovino, utilizando uma rede de comunicação de baixa potência, longo alcance, capaz de suprir seu próprio consumo energético, processar os dados de localização do animal, armazená-los em nuvem, disponibilizá-los ao produtor e promover o envio mensagens de alerta ao produtor sempre que o animal monitorado ultrapassar os limites pré-determinados de uma determinada área (cerca virtual).

Para testar a hipótese supracitada serão considerados os seguintes objetivos específicos:

1.Desenvolver um sistema de geração de energia elétrica a partir da energia solar, com capacidade para alimentar o nó sensor do sistema de monitoramento bovino, utilizando-se de um mini painel solar, uma bateria recarregável, um modulo de gerenciamento de carga e um conversor de tensão ajustável.

2.Desenvolver o hardware e o software do nó sensor capaz de capturar as coordenadas de localização do animal monitorado por meio de um receptor GPS, transmiti-las ao gateway via sinal de radiofrequência, utilizando-se de um transceptor de rádio frequência com tecnologia LoRa.

3.Desenvolver uma rotina de programação dentro do software do nó sensor capaz de executar a função de cerca virtual, detectando a presença do animal monitorado fora dos limites de uma área pré-definida, e enviando mensagens de alerta ao produtor.

4.Desenvolver uma rotina de programação dentro do software do nó sensor, capaz de otimizar o consumo de energia elétrica do sistema, utilizando-se de uma Unidade de Medida Inercial (IMU), que coloca o microcontrolador em modo de sono profundo (*sleep*), despertando-o somente quando o animal monitorado entrar em movimento.

5.Desenvolver o hardware e o software do gateway utilizando-se de um transceptor de rádio frequência com tecnologia LoRa, capaz de receber as coordenadas de localização do animal monitorado fornecidos pelo nó sensor, prover

a conexão com a rede internet e enviar esses dados para armazenamento em um servidor hospedado em nuvem.

6. Visualizar a localização do animal monitorado através de tabelas com as coordenadas geográficas e/ou mapas e enviar alertas automáticos ao celular do produtor, através do serviço de mensagens curtas (SMS), quando o animal atingir áreas restritas.

7. Validar o sistema proposto através de testes realizados em bancada no laboratório.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo, tem como finalidade abordar os principais conceitos que serão tratados nesse trabalho de pesquisa, facilitando a compreensão do mesmo.

3.1. Importância da bovinocultura dentro do agronegócio

Este tópico mostra a importância da bovinocultura dentro do panorama socioeconômico do Brasil, ressaltando seu crescimento expressivo e seu relacionamento com o mercado mundial, justificando a demanda por pesquisas nessa área, voltadas principalmente para a implantação de tecnologias inovadoras, adequadas ao atual cenário, capazes de solucionar os desafios encontrados pelos produtores.

Considerando os dados fornecidos pela planilha PIB do Agronegócio Brasileiro de 1996 a 2018 publicado pelo CEPEA (2018a), o produto interno bruto (PIB) do agronegócio no Brasil participou com 21,6 % (R\$ 1.418.778 milhões) do PIB total no ano de 2017, sendo que o ramo agrícola e o ramo pecuário contribuíram respectivamente com R\$ 984.459 milhões e R\$ 434.319 milhões, perfazendo um índice de 69,4 % no ramo agrícola e 30,6 % na pecuária, em relação ao PIB do agronegócio total no Brasil.

Dados fornecidos pelo CEPEA (2018b), com a publicação da planilha Evolução do mercado de trabalho no agronegócio e seus segmentos, no último trimestre de 2017, mostra que o total de empregados no setor do agronegócio no Brasil atingiu 18.309.434 pessoas correspondente a 19,88 % do total de ocupados no país.

Em seu Relatório Anual do Perfil da Pecuária no Brasil referentes ao ano de 2017, a ABIEC (2018) publica que o Brasil possui o segundo maior rebanho de animais do mundo com 221,8 milhões de cabeças de bovinos e 1,4 milhões de cabeças de bubalinos, distribuídas em 164,957 milhões de hectares de área de pastagem, totalizando 13,6 % do rebanho mundial, perdendo a posição para a Índia que possui 18,3 % do rebanho mundial. Dados publicados colocam o Brasil como o segundo maior produtor mundial de carne, perfazendo um total de 14,4 % da produção mundial,

ultrapassado somente pelos Estados Unidos da América (EUA) que produz 17,9 % da produção mundial. Em 2017 foram abatidas 39,201 milhões de cabeças, com peso médio da carcaça de 247,66 kg/cabeça abatida. O Brasil se destacou ainda como o maior exportador de carne bovina mundial em 2017 exportando para dezenas de países de todo mundo, correspondendo a 20,93 % da produção total do Brasil. Esses dados mostram a grande relevância socioeconômica da bovinocultura no Brasil.

3.2. Monitoramento bovino

Busca-se nesse tópico mostrar o estado da arte quanto ao tema monitoramento bovino, ressaltando as diversas aplicações envolvidas e as várias tecnologias adotadas.

Monitorar o comportamento de animais de produção tornou-se um assunto de grande interesse porque a atividade animal revela os principais indicadores associados com a saúde e o bem-estar animal (LIU et al., 2018).

De acordo com Barbari et al. (2006), um dos principais objetivos de etologistas é entender os fatores que influenciam o movimento e a distribuição animal. Afirmam também que por muito tempo os pesquisadores basearam suas informações sobre esse assunto em observações visuais diretas ou utilizando a tecnologia convencional de rádio, mas há muitas outras tecnologias para monitorar animais como GPS, RFID, redes locais de comunicação sem fio, observação de vídeo, análise de imagens, etc. (HU et al., 2020; HUHTALA et al., 2007).

As aplicações de monitoramento são diversas e envolvem desde a identificação única dos animais, utilizando-se da marcação a ferro, brincos com numeração pré-definida, transponders subcutâneos, imagens, etc. (HU et al., 2020; MEUNIER et al., 2018), na identificação dos seus vários comportamentos (LIU et al., 2018; NADIMI et al., 2008), buscando-se entender a movimentação dos animais, a ocupação dos espaços livres, como eles se relacionam entre si (WILLIAMS et al., 2019), mas também temos aplicações que auxiliam na identificação de cio (KIM et al., 2013). Uma outra aplicação do monitoramento animal são as cercas virtuais, que funcionam como uma barreira ou um limite, sem ser especificamente uma barreira física (CAMPBELL et al., 2018; UMSTATTER, 2011).

Um dos maiores obstáculos encontrados para promover o monitoramento bovino, utilizando-se de sensores embarcados (*wearable sensors*) é a baixa vida útil proporcionada pelas baterias (LIU et al., 2018). Os dispositivos mais utilizados na implantação desses sensores para monitoramento são brincos (LIU et al., 2018) e colares (HUHTALA et al., 2007; MEUNIER et al., 2018; PASTELL et al., 2018).

3.3. Cerca virtual

O manejo do gado a pasto pode vir acompanhado de vários desafios, que podem incluir o contato limitado do produtor com os animais em uma produção extensiva, presença de áreas restritas e/ou perigosas no ambiente, sendo que essas limitações podem levar a problemas de bem-estar se os animais sofrerem algum ferimento ou doença não detectados em tempo hábil. A construção ou manutenção de cercas físicas, permite um melhor controle dessas situações de risco, mas exige mão de obra, tem um custo elevado e, são pouco práticas (CAMPBELL et al., 2018).

Cercas virtuais definidas como limites cercos ou barreiras, sem ser na verdade uma barreira física (UMSTATTER, 2011), tem potencial para possibilitar o controle remoto e o monitoramento dos padrões de localização e movimento dos animais (CAMPBELL et al., 2018). Aplicando-se a funcionalidade da cerca virtual segundo Cunha, Nascimento Junior e Santos (2010), é possível monitorar a posição geográfica de um objeto em deslocamento, determinando se o mesmo está ou não dentro de uma área previamente determinada. Se durante o percurso o objeto sair dessa área, estará fora da cerca, sendo tal evento notificado.

De acordo com Cunha, Nascimento Junior e Santos (2010), a solução da cerca eletrônica poderá estar tanto no sistema embarcado, quanto na central de monitoramento, sendo que a vantagem de estar no sistema embarcado está na estratégia de conexão, pois somente no caso de uma ocorrência para fora da cerca, o link de comunicação será ativado e a informação será enviada para a central de monitoramento. No outro caso, o sistema deverá estar permanentemente conectado, enviando os pacotes de informação com a dependência do link ativo para tomada de decisões.

A criação extensiva de bovinos exige a implantação de cercas nas propriedades, para conter os animais em áreas específicas como nas divisas da propriedade, na delimitação de áreas cultivadas e nas divisórias dos pastos, visando um melhor aproveitamento da pastagem para se obter maior eficiência e lucratividade (CPT, 2019). Ela se torna uma alternativa inovadora para aumentar a produtividade a pasto e permite que os monitoramentos passem de manuais, escassos e pontuais para automáticos, contínuos e precisos (PRODAP, 2019). Uma outra vantagem que a cerca virtual proporciona é um monitoramento do ativo, diferencial valioso para a redução de furtos e roubos ao alertar o usuário, quando o animal ultrapassar a área demarcada. Ela pode ser aplicada como ferramenta de minimização de danos, pois tem-se a possibilidade de recuperar o animal ao se ter conhecimento de sua localização (BSOFT, 2019).

Dentre alguns fabricantes de dispositivos que utilizam o monitoramento de animais aplicando o conceito de cerca virtual, temos a Cattle Watch e a Agersens.

A Cattle Watch, é uma empresa israelense que integra tecnologias para monitoramento de rebanhos, utilizando-se da rede de telefonia celular ou da transmissão via satélite. Um colar com sistema de transmissão de dados e um receptor GPS formam a base do sistema, transmitindo posição, sinal vital e comportamental do animal para uma central. A cerca eletrônica está integrada ao sistema, onde um perímetro de segurança é traçado no computador e o animal pode ser declarado como roubado se ultrapassar esse perímetro (CATTLE WATCH, 2019).

O sistema eShephers, de acordo com a Agersens (2018), constitui-se de um colar com GPS e uma aplicação móvel para cercar, mover ou monitorar o rebanho, utilizando-se de mapas extraídos do Google Maps no computador, onde se desenha os limites da cerca virtual dentro da propriedade e o gado é treinado para permanecer dentro desse limite, sendo notificado pela coleira quando o atingir.

3.4. Revolução provocada pela internet das coisas (IoT)

Considerando o crescimento expressivo dos dispositivos com capacidade de se conectar ao mundo exterior, aliados à necessidade e motivação necessárias para aplicação de novas tecnologias, busca-se nesse trabalho desenvolver um sistema de

monitoramento bovino, capaz de solucionar as dificuldades encontradas pela bovinocultura, utilizando o conceito da internet das coisas (IoT), promovendo a conectividade entre dispositivos com eletrônica embarcada, capazes de coletar, armazenar e transmitir dados, promover o monitoramento e controle remotamente, através do uso da rede internet, sem a intervenção humana.

A internet das coisas expande nossos horizontes de comunicação ao enlaçar uma nova dimensão de conectividade, capaz de ultrapassar os limites físicos e temporais impostos pelo nosso meio, reduzindo barreiras de comunicação entre pessoas, entre dispositivos, e entre pessoas e dispositivos, proporcionando uma crescente aceleração no desenvolvimento de novos serviços e aplicações.

O mercado mundial globalizado e altamente competitivo, presente em todos os setores, faz da internet das coisas um importante aliado para a obtenção de melhorias, utilizando-se do monitoramento e da rastreabilidade dos vários recursos existentes nas cadeias de valores, permitindo aos produtores a otimização dos processos com o fornecimento da origem dos produtos e garantindo assim qualidade final aos consumidores (ALONSO et al., 2020).

A internet das coisas cria oportunidades entre o mundo físico e o virtual conectando dispositivos, máquinas e produtos denominados “coisas” à internet, permitindo o envio e recebimento de dados por dispositivos, para que possam ser controlados, rastreados de maneira remota (CARNEIRO, 2018), sendo assim, é de fundamental importância que a agropecuária também usufrua das oportunidades proporcionadas por essas tecnologias (ALONSO et al., 2020; DOSHI et al., 2019; KHANNA; KAUR, 2019).

3.5. Redes de comunicação de baixa potência e longo alcance

A escolha de uma rede de comunicação que atenda às necessidades da aplicação é de fundamental importância no desenvolvimento de projetos, e o estudo das características das diversas tecnologias disponíveis se faz necessário para obtenção de resultados satisfatórios.

As redes de comunicação de longo alcance, WAN (Wide Area Network), possuem tecnologias consagradas, com infraestrutura instalada, como das redes de telefonia celular, sendo uma das alternativas para implementação de sistemas de comunicação que necessitam da conexão de dispositivos em grandes áreas de cobertura, apesar de seu elevado consumo de energia (MEKKI et al., 2019).

As redes de telefonia celular evoluíram muito, desde a segunda geração (2G) utilizando a tecnologia GSM/GPRS com taxas de 9,6 Kbps, passando pela terceira geração, até chegar na rede 4G com a tecnologia LTE atingindo taxas de 300 Mbps, no entanto, essa solução acaba sendo superdimensionada para aplicações envolvendo a Internet das Coisas no quesito taxa de transmissão e complexidade dos protocolos, gerando a necessidade de um maior poder de processamento, com consequente elevação do consumo energético e um custo maior para manter os dispositivos conectados (SOUZA, 2019).

Com o aumento expressivo de novos serviços e aplicações baseadas no conceito da Internet das Coisas, surgem projetos que necessitam de tecnologias para redes de comunicação de longo alcance, baixo consumo energético, utilizando-se dispositivos de custo reduzido, com sinal de radiofrequência capaz de vencer barreiras físicas pertinentes ao meio, causando os menores níveis de atenuação possível (GARCIA; KLEINSCHMIDT, 2017).

A demanda elevada em função de novos cenários, a dificuldade de conexão entre dispositivos face a locais inacessíveis por determinadas tecnologias, desencadeou o surgimento de novas tecnologias, capazes de prover a transferência de um conjunto limitado de dados em links de longa distância, com dispositivos de custo reduzido, baixo consumo energético, impulsionando assim o surgimento das redes de comunicação de baixa potência e longo alcance LPWAN - Low Power Wide Area Network (RAZA et al., 2017).

Dentre as tecnologias LPWAN difundidas, Santos et al. (2017) destacam a LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) e a SigFox, onde a SigFox atua como uma operadora para a Internet das coisas, utilizando-se da tecnologia Ultra Narrow Band (UNB), abstraindo as dificuldades de conexão e provendo uma API para facilitar as implementações dos usuários, e a tecnologia LoRaWAN, adequada para a criação de redes de longo alcance, fazendo-se uso de frequências ISM (Industrial, Scientific

and Medical) na faixa sub GHz, tendo como fatores atrativos o baixo custo e uma grande quantidade de empresas de hardware adotando-a.

Em relação ao modelo de negócio utilizado pelas duas tecnologias, Garcia e Kleinschmidt (2017) ressaltam suas principais diferenças que auxiliam na escolha da tecnologia a ser adotada nos projetos, onde a rede SigFox, operada no Brasil pela empresa WND se apresenta com formato semelhante as operadoras de telefonia móvel, na qual a rede passa a ser transparente para os usuários sem que ele tenha ação direta em questões de cobertura, falhas ou gestão entre seus dispositivos, e a rede LoRa (Long Range) se apresenta através de comunidades de usuários, como um modelo aberto em questões de cobertura e configuração.

Segundo Raza et al. (2017), o alcance da rede LoRa pode atingir até 5 Km em perímetro urbano e 15 Km em áreas rurais, transmitindo mensagens com tamanho de até 250 bytes, com data rate entre 0,3 a 37,5 Kbps, e, a rede SigFox pode alcançar até 10 Km em perímetro urbano e 50 Km em áreas rurais, com tamanho das mensagens de 12 bytes para *uplink* e 8 bytes para *downlink*, com data rate de 100bps (*uplink*) e 600 bps (*downlink*).

3.5.1. Rede de comunicação LoRa/LoRaWAN

De acordo com Ortiz et al. (2019), a tecnologia de comunicação por radiofrequência LoRa é uma especificação proprietária para redes de comunicação de baixa potência e longo alcance, e o protocolo desenvolvido para sua tecnologia que utiliza a camada física LoRa é denominada LoRaWAN, na qual define-se a arquitetura do sistema, parâmetros de comunicação e de acesso ao meio.

A criação do protocolo de comunicação LoRaWAN, segundo Arruda (2019), veio para padronizar o desenvolvimento de aplicações para a tecnologia LoRa, sendo seu objetivo solucionar problemas com o custo de gerenciamento de rede, organização, eficiência energética e cobertura. Segundo Augustin (2016), esse protocolo oferece o mecanismo MAC (Media Access Control), permitindo que diversos dispositivos periféricos se comuniquem com vários gateways, proporcionando ao

sistema maior garantia no recebimento de mensagens em áreas que coincidem a cobertura de mais de um gateway.

De acordo com Raza et al. (2017), a tecnologia LoRa utiliza a técnica de espalhamento espectral, Chirp Spread Spectrum (CSS), onde se espalha um sinal de banda estreita sobre uma banda maior mantendo a densidade de potência, assim, o sinal modulado torna-se mais resistente a atenuações e interferências em frequências específicas. A tecnologia LoRa promove a combinação entre longo alcance, baixo consumo de energia com segurança na transmissão dos dados, sendo que em sua modulação, um símbolo é codificado em uma sequência longa de bits (*chirp*), reduzindo a relação sinal-ruído e a taxa de interferência que o receptor precisa corrigir, sem alterar a largura de banda da frequência do sinal (SEMTECH, 2019).

Segundo Adelantado et al. (2017), para este método de modulação, quanto maior for o fator de espalhamento espectral SF, maior é o tempo de transmissão da mensagem e maior o alcance, porém, como o tempo de transmissão se torna maior, ocorre um aumento do consumo energético. Devido ao fato do fator de propagação (Spread Factor) ser variável, é possível adaptá-lo em busca de uma taxa de transferência ideal para a aplicação (SEMTECH, 2019).

De acordo com Raza et al. (2017), a rede LoRaWAN utiliza a topologia estrela, sendo composta por três tipos de dispositivos: dispositivos terminais, gateways e servidores de rede. Os dispositivos terminais são sensores ou atuadores, normalmente com restrições energéticas, que se conectam via interface de radiofrequência LoRa a um ou mais gateways. Os gateways são dispositivos com restrições leves em termos de energia e processamento, caracterizando-se como elemento central da rede, viabilizando a conexão entre os dispositivos terminais e o servidor de rede. Os servidores de rede controlam a rede, através do gerenciamento de recursos, controle de admissão, segurança, etc.

Os concentradores ou gateways, recebem as mensagens dos nós sensores via RF LoRa, retransmitem seus dados para o servidor de rede, através da conexão com a internet utilizando o protocolo Internet Protocol (IP), convertendo pacotes (RF) em pacotes (IP). O servidor de rede gerencia a rede, filtra pacotes redundantes, executa verificações de segurança, programa agendas de reconhecimento e é capaz de executar a taxa de dados adaptativa (LORA-ALLIANCE, 2018).

Do lado da aplicação, o servidor de aplicação é o responsável pela gestão das aplicações, da inclusão de novos dispositivos e encriptação dos dados do *payload* (LAVRIC; POPA, 2017).

Figura 01 - Arquitetura de uma rede LoRa de comunicação

Fonte: LoRa-Alliance (2016).

Para que uma rede de comunicação estenda de longo alcance e se torne viável, o gateway deve ter capacidade para receber mensagens de um número elevado de nós, utilizando taxa de dados adaptável e transceptor multi-modem, multicanal, assim, mensagens em vários canais podem ser recebidas simultaneamente (ARRUDA, 2019).

Os fatores que afetam a capacidade de comunicação são o número de canais simultâneos, a taxa de dados (tempo no ar), o comprimento dos dados e a frequência que os nós transmitem (LORA-ALLIANCE, 2018). Se um nó da rede possui um bom link e está posicionado próximo ao gateway, não é necessário configurá-lo na menor taxa de dados e ocupar o espectro disponível por um tempo maior do que o necessário (ARRUDA, 2019). Ao aumentar a taxa de dados, o tempo no ar diminui, dando mais espaço para outros nós sensores transmitirem. A taxa de dados adaptável possibilita a otimização da vida útil da bateria do nó (LORA-ALLIANCE, 2018).

3.5.1.1. Tipos de mensagens e classes dos dispositivos

As terminologias das mensagens LoRa são distinguidas entre *uplink* e *downlink*, onde as mensagens *uplink* são aquelas enviadas pelos dispositivos finais para o servidor de rede e as mensagens *downlink* são aquelas enviadas pelo servidor de rede para apenas um dispositivo final e entregue por apenas um gateway (LORA-ALLIANCE, 2018).

Para atender diferentes cenários nas mais diversas aplicações, o protocolo LoRaWAN utiliza-se de três classes de dispositivos em sua arquitetura, que podem operar dentro de uma mesma rede para atingir determinados serviços. As classes de operação se diferenciam pelo caráter bidirecional da comunicação e pelo consumo de energia (ORTIZ et al., 2019).

De acordo com a Lora-Alliance (2018), os dispositivos classe A devem ser suportados por todos os dispositivos, sendo a classe com o melhor desempenho energético, com comunicação assíncrona e bidirecional, sendo utilizada geralmente para sensores com aplicações em monitoramento, onde a transmissão de mensagens ocorre de acordo com a necessidade do dispositivo. Nessa classe o dispositivo é capaz de receber mensagens somente após a abertura de duas janelas curtas de recepção, após encerramento de sua transmissão. Os dispositivos classe B operam da mesma forma que os dispositivos da classe A, porém, possuem janelas extras de *downlink* em horários programados, configurados através de pacotes de *beacon* emitidas pelo gateway, sendo utilizados por dispositivos que necessitam receber comandos remotos ou enviar dados requisitados pelo usuário. Os dispositivos classe C podem manter a janela de comunicação aberta, tendo como consequência o alto consumo energético, sendo que a janela de recepção só é fechada durante a transmissão.

Figura 02 - Classes de operação dos dispositivos LoRa

Fonte: Bouguera et al. (2018).

3.5.1.2. Frequência de operação

A escolha da frequência de operação é um fator relevante em função da necessidade da aplicação e consequentemente da tecnologia a ser adotada, e deve-se seguir as normas de regulamentação adotadas no âmbito nacional e internacional.

De acordo com Liagkou, Stylios e Salmas (2018), as frequências utilizadas na faixa sub-GHz sofrem menos atenuação por obstáculos, se comparadas com aquelas transmitidas na ordem dos GHz, facilitando a transmissão de dados com longo alcance devido ao seu maior comprimento de onda e maior facilidade de penetração do sinal.

A ITU (União Internacional de telecomunicações), organização responsável por ações de padronização no setor de comunicações, criou uma regulação de radiofrequência com o intuito de administrar o espectro ao redor do globo terrestre, dividindo o planeta em três regiões. A figura 03, Representação das três regiões regulamentadas pela ITU, mostra que o Brasil se localiza na região 2. A ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações) é a responsável por administrar e regulamentar o espectro de radiofrequência no Brasil, cujas frequências comumente utilizadas compreendem entre 915 MHz e 2,4 GHz (PEREIRA, 2019).

No Brasil, a banda ISM estabelecida está compreendida entre 902 MHz e 928 MHz, porem existem bandas proibidas dentro dessa faixa. A portaria 50637 de dezembro/2015 proíbe a utilização das faixas que começam em 907,5 MHz até 915

MHz. Em função disso, todos os dispositivos LoRa utilizados no Brasil devem trabalhar na faixa entre 902 MHz até 907,5 MHz ou de 915 MHz até 928 MHz.

Figura 03 - Representação das três regiões regulamentadas pela ITU

Fonte: (ITU, 1998).

3.5.1.3. Parâmetros de configuração

O consumo de energia, a taxa efetiva de transmissão de dados e a resistência à interferência do ruído, são fatores variáveis que podem ser ajustados a partir de quatro parâmetros configuráveis: a frequência da portadora, a largura de banda, a taxa de código e o fator de espalhamento.

A frequência da portadora (f_c), define a frequência central para a banda de transmissão, sendo configurada de acordo com a região de operação. A largura de banda (BW), define o tamanho da faixa de frequência utilizada, sendo três as larguras configuráveis: 125 KHz, 250 KHz e 500 KHz. A taxa de código CR (Code Rate), define

quantos bits são utilizados para causar redundância na mensagem, a fim de realizar a recuperação de erros. O fator de espalhamento (SF), define o espalhamento espectral, sendo que a especificação LoRa define seis valores diferentes: SF7, SF8, SF9, SF10, SF11, SF12 (SEMTECH, 2015).

A modulação LoRa é baseada em um sinal de frequência variável com o tempo denominado *chirp*, podendo ser de uma frequência menor para maior (*up-chirp*), ou de uma frequência maior para menor (*down-chirp*). A figura 04 mostra a representação de sinais *up-chirp* e *down-chirp* onde:

f: representa a frequência;

t: representa o tempo;

f1: representa a frequência menor;

f2: representa a frequência maior;

f_c: representa a frequência da portadora;

t1: representa o instante inicial;

t2: representa o instante final;

t_c: representa o instante relativo a frequência da portadora.

Figura 04 - Representação de sinais: *up-chirp* (esquerda) e *down-chirp* (direita)

Fonte: Própria autoria.

O tempo necessário para atingir a frequência final no instante t_2 , partindo da frequência inicial no instante t_1 , é determinado pelo Spreading Factor (SF). A largura de banda (BW) é determinada pela diferença entre a frequência maior e a menor.

A Figura 05 mostra a representação de sinais com diferentes configurações, com SF variando de 7 a 12.

Figura 05 - Representação de sinais com diferentes configurações

Fonte: All about LoRa and Lorawan (2019).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo, são descritos os métodos adotados no desenvolvimento do trabalho, sendo que os materiais utilizados são abordados individualmente e escolhidos após realização de uma pesquisa envolvendo diversos fabricantes e fornecedores, assim como o estudo de seus manuais e/ou *datasheets*, contendo as características e especificações técnicas necessárias para o desenvolvimento, montagem e testes finais do protótipo desenvolvido.

4.1. Visão global e funcionamento do sistema

A figura 06 apresenta uma visão global do sistema desenvolvido, e na sequência descreve-se o funcionamento do mesmo.

Figura 06 - Visão global do sistema

Fonte: Própria autoria.

O nó sensor é um dispositivo alimentado por um sistema de geração de energia solar fotovoltaica, que deverá ser acoplado ao animal monitorado, composto por um receptor GPS que, em comunicação com satélites do sistema global de posicionamento, fornece a geolocalização do animal no pasto. Um software instalado no seu microcontrolador executa a função cerca virtual, analisando a posição que o animal se encontra, comparando-a com uma referência pré-definida e transmitindo sinais de alerta, via mensagens SMS ao smartphone do produtor, sempre que o animal monitorado ultrapassar os limites pré-definidos dentro de uma determinada área.

A informação da geolocalização do animal monitorado e a notificação emitida pela cerca virtual são transmitidas via rádio LoRa ao gateway, responsável pela recepção das mensagens recebidas e retransmissão das mesmas para armazenamento em um servidor hospedado em nuvem, utilizando a tecnologia Wi-Fi para a conectividade com a rede internet.

Para armazenar as informações de geolocalização do animal monitorado em um servidor hospedado em nuvem e, para que as mesmas sejam visualizadas em tabelas e/ou indicadas em mapas e acessadas remotamente, optou-se por utilizar a plataforma EasyIoT, uma plataforma web para gerenciamento de projetos embarcados e dispositivos IoT, que permite a configuração para o envio automático de mensagens de alerta (SMS) ao produtor, notificadas pela ação da cerca virtual.

4.2. Materiais

Os tópicos a seguir mostram os componentes utilizados nesse projeto e suas respectivas especificações técnicas.

4.2.1. Nó sensor

A figura 07 mostra os componentes que fazem parte da constituição do nó sensor com suas respectivas interligações, ressaltando-se a subdivisão entre o sistema de geração e alimentação de energia elétrica e o sistema de comunicação entre os vários componentes do nó sensor.

Figura 07- Componentes e interligações do nó sensor

Fonte: Própria autoria.

4.2.1.1. Sistema de geração de energia e alimentação do nó sensor

A alimentação de energia elétrica do nó sensor constitui-se em um dos grandes obstáculos que surge quando necessita-se de aplicações de longa duração a pasto, devido a baixa capacidade de armazenamento de energia imposta pelas baterias convencionais e pela inviabilidade de substituição das mesmas.

Tendo em vista esses fatores, optou-se pelo desenvolvimento de um sistema de geração de energia solar fotovoltaica, que se utiliza de um mini painel solar, um controlador/carregador de bateria, uma bateria recarregável de lítio e um conversor *boost step up*, para tornar o sistema autônomo e prover a alimentação dos componentes com a tensão adequada.

Os componentes do sistema de geração de energia solar fotovoltaica e alimentação do nó sensor, estão especificados no Quadro 01.

Quadro 01- Especificação dos componentes: Sistema de geração e alimentação

Quantidade	Material	Especificações
01	Mini painel solar fotovoltaico	Tensão de operação: 5,0V Corrente: 400mA Potência: 2W Dimensões: 142 x 88 x 3mm Peso: 51g
01	Bateria de Lítio	Tipo: Li-Íon Modelo:18650 Tensão de operação: 3,7V Capacidade: 2600mAh Dimensões: 65 x 17mm Peso:50g
01	Carregador de Bateria Li-Íon	Controlador: TP 4056 Capacidade de carga: 1A Tensão de corte: 4,2V Dimensões: 26 x 19 x 5mm Peso: 4g
01	Conversor <i>Boost Step Up</i>	Tensão de entrada:2 a 24VDC Tensão de saída:2,5 a 28VDC Corrente max:2A Regulação de carga: +/- 0,5% Dimensões:37 x 17 x 6 mm Peso: 4 g

Fonte: Própria autoria.

A bateria recarregável de lítio, utilizada no desenvolvimento do nó sensor, tem como função armazenar a energia gerada pelo mini painel solar fotovoltaico durante o dia, alimentar o sistema nos horários de não geração e durante a noite.

Dessa forma, o mini painel solar fotovoltaico gera a energia necessária para prover a alimentação do nó sensor e manter a carga completa da bateria de lítio durante o dia, para que, durante a noite, a bateria forneça a energia armazenada para alimentação do sistema.

A bateria de lítio foi escolhida nesse projeto por ser leve, de baixa manutenção em comparação com as baterias convencionais, possuindo uma elevada capacidade de carga, tornando-se adequada para aplicações que exigem elevada capacidade de armazenamento de energia. Cada célula da bateria possui uma tensão nominal de 3,7 V e sua tensão de carga máxima atinge 4,2 V.

As figuras 08, 09 e 10 mostram respectivamente as imagens do mini painel solar fotovoltaico, bateria de lítio com seu carregador e o conversor *boost steep up*, componentes utilizados na formação do sistema de geração de energia elétrica e alimentação do nó sensor.

Figura 08 - Mini painel solar fotovoltaico

Fonte: Própria autoria.

Figura 09 - Bateria de lítio e carregador de bateria

Fonte: Própria autoria.

Figura 10 - Conversor *boost step up*

Fonte: Própria autoria.

4.2.1.2. Sistema de sensoriamento e comunicação do nó sensor

O receptor GPS, responsável pela aquisição de sinais dos satélites do Sistema de Posicionamento Global, através do protocolo NMEA 0183, processamento dos mesmos e fornecimento das coordenadas geográficas de localização faz parte da constituição do nó sensor. O gerenciamento do nó sensor é executado pela placa de desenvolvimento ESP 32 LoRa, através do microcontrolador ESP 32, sendo que a transmissão dos dados para o gateway é realizada pelo rádio transceptor LoRa, que posteriormente retransmite os dados para a plataforma. Outro componente do nó sensor é a Unidade de Medida Inercial (IMU), constituído por um acelerômetro e um giroscópio de três eixos que, ao detectar movimento, habilita o envio de transmissões dos dados de geolocalização pelo transceptor LoRa.

Além dos componentes descritos no quadro 01, o nó sensor também é constituído pelo sistema de sensoriamento e comunicação, descritos no Quadro 02.

Quadro 02 – Especificação dos componentes de sensoriamento e comunicação do nó sensor (continua)

Quantidade	Material	Especificações
01	Receptor GPS com antena cerâmica	Módulo Base: NEO-6M-0-001 Fabricante: U-blox Tensão de operação: 3,3 VDC Corrente de consumo: 67 mA (Máx.) Corrente de consumo: 47 mA (Típica) Interface de comunicação: UART Velocidade padrão: 9600 Baud Rate Número de canais: 50 Sensibilidade: -146 dBm / -160 dBm Faixa de atualização: 5Hz Dimensões do módulo: 25 x 35 mm Peso do módulo: 6g Dimensões da antena: 25 x 25 mm Peso da antena: 11g

Quadro 02 – Especificação dos componentes de sensoriamento e comunicação do nó sensor (conclusão)

Quantidade	Material	Especificações
01	ESP 32 LoRa	<p>Fabricante: Heltec Automation</p> <p>Dimensões: 52 x 25 x 6 mm</p> <p>Peso: 11g</p> <p>Microprocessador do ESP 32: Dual-core Tensilica LX6</p> <p>Módulo: 802.11 b/g/n WiFi integrado</p> <p>Corrente típica ESP32: 80mA</p> <p>Interfaces: UART, I2C, SPI</p> <p>Alimentação: 2,2-3,6 VDC</p> <p>Chip LoRa: SX 1276 SEMTECH</p> <p>Corrente de envio (LoRa): 120 mA</p> <p>Corrente de sono (LoRa): 4mA</p> <p>Potência de transmissão (LoRa): 20 dBm (100mW)</p> <p>Frequência de operação: 915 MHz</p> <p>Sensibilidade recepção: -139 dBm</p>
01	Unidade de Medida Inercial (IMU)	<p>Acelerômetro e Giroscópio 3 eixos</p> <p>Chip: MPU-6050</p> <p>Tensão de Operação: 3-5V</p> <p>Corrente do giroscópio: 3,6 mA</p> <p>Corrente do acelerômetro: 500µA</p> <p>Conversor AD: 16 bits;</p> <p>Comunicação: Protocolo I2C</p> <p>Faixa do Acelerômetro: ±2, ±4, ±8, ±16g</p> <p>Faixa do Giroscópio: +/- 250, 500, 1000, 2000 °/s</p> <p>Dimensões: 20 x 20 x 1,6 mm</p> <p>Peso: 1,2g</p>

Fonte: Própria autoria.

As figuras 11,12 e 13 mostram respectivamente, o receptor GPS com sua antena, a placa de desenvolvimento ESP 32 LoRa com sua antena e a IMU, componentes do nó sensor que formam o sistema de sensoriamento e comunicação.

Figura 11- Receptor GPS e antena

Fonte: Própria autoria.

Figura 12 - ESP 32 LoRa e antena

Fonte: Própria autoria.

Figura 13 - Unidade de medida inercial (IMU)

Fonte: Própria autoria.

4.2.2. Gateway

O gateway deverá estar localizado em uma posição estratégica junto à propriedade rural, preferencialmente em um local com energia elétrica disponível para sua alimentação e com acesso à rede internet.

A energia elétrica não é prioridade, pois, poderia se dispor de outro sistema de geração de energia solar fotovoltaica, instalado no local, para sua alimentação.

O gateway é o responsável por receber os dados de geolocalização transmitidos pelo nó sensor, retransmiti-los para a plataforma para armazenamento em nuvem, utilizando a tecnologia Wi-Fi embarcada no módulo ESP 32 LoRa, para se conectar com a rede Internet.

A figura 14 mostra os componentes do gateway, constituído pela placa de desenvolvimento ESP 32 LoRa, alimentado por uma fonte chaveada AC/DC e sua comunicação sem fio com a plataforma de serviços através da rede internet utilizando uma conexão Wi-Fi.

O produtor, utilizando-se do seu smartphone e acessando a plataforma de serviços, consegue visualizar as coordenadas e/ou o mapa de localização do animal monitorado, recebendo também mensagens SMS de alerta, quando o animal ultrapassar a região permitida.

Figura 14 – Componentes do gateway e sua conectividade com a internet

Fonte: Própria autoria.

Os dados de geolocalização recebidos pelo gateway, armazenados em um servidor hospedado em nuvem, poderão ser visualizados através do acesso remoto a plataforma, em um *dashboard*, mostrando suas coordenadas ou utilizando-se de um mapa indicando sua localização.

O quadro 03 apresenta os componentes do gateway e suas especificações:

Quadro 03 – Especificação dos componentes do gateway (continua)

Quantidade	Material	Especificações
01	ESP 32 LoRa	Fabricante: Heltec Automation Dimensões: 52 x 25 x 6 mm Peso: 11g

Quadro 03 – Especificação dos componentes do gateway**(conclusão)**

Quantidade	Material	Especificações
		Microprocessador do ESP 32: Dual-core Tensilica LX6 Módulo: 802.11 b/g/n WiFi integrado Corrente típica ESP32: 80mA Interfaces: UART, I2C, SPI Alimentação: 2,2-3,6 VDC Chip LoRa: SX 1276 SEMTECH Corrente de envio (LoRa): 120 mA Corrente de sono (Lora): 4mA Potência de transmissão (LoRa): 20 dBm (100mW) Frequência de operação: 915 MHz Sensibilidade recepção: -139 dBm
01	Fonte alimentação: AC/DC	Entrada: AC 110-240V Saída Micro USB: 5V Corrente max saída: 1,5A

Fonte: Própria autoria.

4.3. Métodos

Neste tópico, aborda-se a metodologia adotada no desenvolvimento do projeto. Os métodos utilizados estão divididos em etapas importantes:

1-Desenvolvimento e montagem dos hardwares: nó sensor e gateway.

2-Desenvolvimento e instalação do software do gateway, responsável pela recepção dos dados transmitidos pelo nó sensor, conectividade com a rede internet via tecnologia Wi-Fi e envio dos dados para armazenamento em nuvem, através da utilização da plataforma de serviços.

3-Desenvolvimento e instalação do software do nó sensor, responsável pela recepção das coordenadas do animal monitorado, execução da função cerca virtual e envio dos dados para o gateway, via transceptor LoRa.

4-Criação de mapa para visualização da geolocalização do nó sensor e geração de alertas com envio automático de mensagens SMS.

5-Desenvolvimento e instalação do software do nó sensor, responsável pela otimização do consumo de energia do sistema através da utilização de uma unidade de medida inercial (IMU).

6-Avaliação da transmissão de dados, funcionamento da cerca virtual, envio de mensagens de alerta, alcance da transmissão e atuação da IMU.

7-Avaliação do consumo energético, determinação da capacidade dos componentes do sistema de geração de energia elétrica e montagem final do sistema de monitoramento.

4.3.1. Desenvolvimento e montagem dos hardwares

Nesse tópico é mostrado o desenvolvimento e montagem dos hardwares: Nó sensor e Gateway.

4.3.1.1. Desenvolvimento e montagem do nó sensor

O desenvolvimento e montagem do hardware do nó sensor foi realizado em três etapas. Na primeira etapa, foi utilizada a placa de desenvolvimento ESP 32 LoRa, o receptor GPS e uma fonte chaveada AC/DC para alimentar o conjunto. Um dos objetivos dessa montagem foi comprovar a obtenção das coordenadas de localização do nó sensor, envio das mesmas para o gateway, seguido pelo armazenamento em nuvem e visualização em um *dashboard* e/ou em um mapa criado na plataforma EasyIoT. Outro objetivo da primeira etapa de montagem, foi a comprovação do funcionamento da cerca virtual e envio automático de notificações de alerta, via SMS, para o celular cadastrado na plataforma.

A montagem do hardware do nó sensor, executada na primeira etapa, seguiu o diagrama da figura 15, onde o pino RX do receptor GPS foi ligado ao pino TX do ESP 32 LoRa e o pino TX do receptor GPS foi ligado ao pino RX do ESP 32 LoRa.

Figura 15 - Diagrama elétrico do nó sensor (1ª etapa)

Fonte: Própria autoria.

Na segunda etapa de montagem, o objetivo foi avaliar o funcionamento e o desempenho da IMU, integrada ao protótipo para prover a otimização do consumo energético do nó sensor. O diagrama elétrico do circuito é mostrado na figura 16.

Figura 16 - Diagrama elétrico do nó sensor (2ª etapa)

Fonte: Própria autoria.

Na terceira etapa da montagem, o protótipo deixa de ser alimentado por uma fonte externa e passa utilizar-se do sistema de geração de energia solar fotovoltaica desenvolvido. O diagrama elétrico final (3ª etapa) é mostrado na figura 17.

Figura 17 - Diagrama elétrico final do nó sensor (3ª etapa)

Fonte: Própria autoria.

4.3.1.2. Desenvolvimento e montagem do gateway

No desenvolvimento e montagem do hardware do gateway, foi utilizada a placa de desenvolvimento ESP 32 LoRa, alimentada por uma fonte chaveada com saída de 5 V, de acordo com as especificações contidas no quadro 03.

A montagem do protótipo foi executada conforme diagrama da figura 18, onde a utilização da placa de desenvolvimento ESP 32 LoRa facilitou o desenvolvimento e a montagem final do hardware, por integrar componentes como o microcontrolador ESP 32, transceptor LoRa e o módulo Wi-Fi em uma única placa.

Figura 18 - Diagrama elétrico do gateway

Fonte: Própria autoria.

4.3.2. Desenvolvimento e instalação do software do gateway

Neste tópico, aborda-se o desenvolvimento e a instalação do software no microcontrolador do gateway, que se conecta via rede internet com a plataforma EasyIoT, utilizando-se do módulo Wi-Fi integrado junto à placa de desenvolvimento.

A plataforma utilizada permite o armazenamento dos dados no servidor, hospedado em nuvem, disponibilizando-os ao produtor, além de proporcionar a utilização de outras funcionalidades relevantes ao projeto.

4.3.2.1. Desenvolvimento de softwares

Para a programação do microcontrolador, componente que faz parte da constituição do nó sensor e do gateway, utilizou-se do ambiente de desenvolvimento (IDE) do Arduino, um software livre que pode ser instalado em qualquer computador com plataforma Windows ou Linux. Trata-se de um ambiente simples, muito conhecido pelos programadores e que utiliza a linguagem C/C++. A portabilidade do ambiente do Arduino para a família de microcontroladores da Espressif (fabricante do ESP 32) é importante, uma vez que se torna possível utilizar as bibliotecas disponíveis para Arduino, em projetos com ESP 32, tornando rápido o acesso a referências e exemplos de aplicação.

Para permitir que a IDE do Arduino seja utilizada na programação dos microcontroladores da família Espressif, foi necessário baixar a versão atualizada do Arduino e preparar os arquivos necessários para o reconhecimento do ESP 32. Para isso, foi instalada a biblioteca do ESP 32, abrindo a IDE Arduino, copiando o link < https://dl.espressif.com/dl/package_esp32_index.json > em URLs Adicionais para Gerenciadores de Placas, selecionando e instalando o pacote ESP 32 by Espressif Systems na guia Gerenciador de Bibliotecas.

Por estarmos utilizando a placa de desenvolvimento ESP 32 LoRa, que integra o transceptor LoRa e o Display Oled, foi necessária a seleção e instalação de mais três bibliotecas: Heltec ESP 32 Dev-Boards by Heltec Automation, versão 1.0.8; Adafruit SSD 1306 by Adafruit, versão 2.1.0 e Adafruit GFX by Adafruit, versão 1.7.5.

4.3.2.2. Plataforma EasyIoT

Optou-se por utilizar a plataforma EasyIoT para a gestão dos dispositivos IoT pela disponibilização de vários recursos, contando ainda com suporte a diversas tecnologias empregadas, tais como Wi-Fi e LoRa. A plataforma permite a conexão de dispositivos à nuvem, facilitando a integração de hardware e software, disponibilizando as informações enviados pelos dispositivos na tela do monitor do

usuário, sendo que as mesmas são criptografadas e disponibilizadas aos usuários com segurança.

No sistema de monitoramento desenvolvido, a plataforma promove o envio dos dados de localização do animal obtidos através do receptor GPS, para o armazenamento em um servidor hospedado em nuvem, permitindo ainda a criação de gráficos e/ou mapas que podem ser visualizados pelo usuário em um *dashboard*. A plataforma permite ainda, o envio de alertas automáticos resultantes da execução da função cerca virtual, por mensagens via SMS ou mesmo por e-mail.

Para utilização da Plataforma EasyIoT (< easyiot.com.br >) criou-se uma conta, sendo que um código de ativação (token) foi enviado ao celular do titular para se ter acesso à plataforma. Na plataforma tem-se disponível a biblioteca EasyIoT-LoRa-ESP32, para a utilização da placa de desenvolvimento utilizada no projeto, que deverá ser baixada e incluída na biblioteca da IDE Arduino. Tem-se também disponível o menu Painel, onde será possível acessar e monitorar os dados enviados para a nuvem.

4.3.2.3. Software responsável pelo armazenamento dos dados em nuvem

O gateway é o responsável por receber via rádio transceptor LoRa as mensagens captadas pelo receptor GPS e redireciona-las para um servidor hospedado em nuvem, atuando como um ponto de conexão entre um ou vários nós sensores e a plataforma de gerenciamento.

Para o desenvolvimento e instalação do software do gateway, responsável pelo armazenamento dos dados obtidos do nó sensor, no servidor hospedado em nuvem, foi utilizada a biblioteca <Easyiot-LoRa.h> disponibilizada pela plataforma e o código EasyGateway mostrado no apêndice A.

Para configuração do gateway foi necessário obter o easy token, código de registro do EasyGateway na plataforma EasyIoT, após adicionar novo dispositivo e criar aplicação selecionando o protocolo Wi-Fi. O easy token obtido junto a plataforma EasyIoT, foi copiado e colado na URL do monitor serial da IDE Arduino, após compilação e transferência do código EasyGateway para o dispositivo, para obtenção

do código de identificação do gateway (RX-ID), que será usado na configuração do nó sensor.

4.3.3. Desenvolvimento e instalação do software do nó sensor

Nesse tópico, abordaremos os procedimentos adotados para o desenvolvimento e instalação do software no microcontrolador do nó sensor, que ocorreu em três etapas. Na primeira etapa, o software instalado no nó sensor foi responsável pela aquisição dos dados brutos do receptor GPS, via protocolo NMEA 0183, extração dos dados relevantes para o projeto como as coordenadas geográficas de localização, e envio dos mesmos para o gateway, via transceptor LoRa. Na segunda etapa desenvolveu-se uma rotina de programação para execução da função cerca virtual e o comando para envio automático de notificações de alerta através de mensagens SMS. Na terceira etapa, implementou-se uma rotina de programação para otimização do consumo energético, utilizando-se da IMU.

4.3.3.1. Software para aquisição das coordenadas do nó sensor e envio para o gateway

O software desenvolvido e instalado junto ao microcontrolador do nó sensor, consiste em um código que executa uma rotina de programação para receber os dados brutos de geolocalização do receptor GPS, processa-los e transmitir informações relevantes para o gateway utilizando-se das bibliotecas: < Easyiot-LoRa.h > e < TinyGPS++.h >. A biblioteca <TinyGPS++.h> facilita a extração dos dados de localização do nó sensor (latitude e longitude), advindos dos dados brutos recebidos do receptor GPS.

Para a instalação do software do nó sensor, foi necessário utilizar o código RX-ID obtido na configuração do gateway e, para isso, utilizou-se do ambiente de desenvolvimento da IDE Arduino, abriu-se o código Easy GPS mostrado no apêndice B que, após compilação e transferência ao microcontrolador para execução do programa, abriu-se o monitor serial e digitou o código RX-ID obtido.

4.3.3.2. Software para implementação da função cerca virtual

O software instalado no microcontrolador ESP 32 executa a função cerca virtual, analisando se o animal está dentro ou fora da região permitida.

A programação da cerca virtual está baseada na determinação da distância entre a posição atual do animal monitorado (latitude e longitude atual) em relação à uma posição de referência fixa (latitude e longitude de referência), previamente definidas. Através da determinação dessa distância e da comparação com a distância máxima permitida, previamente definida, o microcontrolador decide se executa ou não o comando para envio de mensagem de alerta SMS ao smartphone do produtor.

Com o objetivo de simplificar o desenvolvimento da rotina de programação da cerca virtual, a região de acesso permitida para o animal monitorado foi definida como sendo uma área de seção circular, onde adotou-se uma distância máxima (raio= r) em que o animal pode-se deslocar, a partir de um ponto de referência adotado (centro do círculo= O), definido pela latitude e longitude do ponto de referência, sem a necessidade de envio automático de um sinal de alerta. Se o animal ultrapassar a distância máxima permitida, uma mensagem de alerta via SMS é enviada automaticamente ao celular do produtor.

A figura 19, Análise de funcionamento da cerca virtual, ilustra a ação executada pela cerca virtual.

Figura 19 – Análise de funcionamento da cerca virtual

Fonte: Própria autoria.

Para o desenvolvimento da rotina de programação da cerca virtual, utilizou-se a função `distanceBetween ()` da biblioteca `<TinyGPS++.h>`, que calcula a distância entre duas coordenadas quaisquer. O código `Easy GPS_Raio`, mostrado no apêndice C, acrescenta ao código `Easy GPS`, a rotina de programação da função cerca virtual.

Declarou-se na programação um variável tipo inteiro, denominada `raio`, com valor de 100 (equivalente a 100m), que pode ser alterado conforme a necessidade do usuário, levando-se em consideração o limite imposto pela tecnologia, como o valor máximo do alcance da transmissão. Esta variável define um círculo de raio 100m que corresponde ao limite da cerca virtual programada, limitando a máxima distância que o animal pode percorrer sem que o produtor seja notificado.

Declarou-se o centro do círculo adotado como ponto de referência. Esse ponto de referência é declarado na programação, utilizando-se as constantes latitude e longitude de referência (LAT_REF e LON_REF), ponto a partir do qual define a máxima distância que o animal monitorado pode atingir sem que o produtor seja notificado. As constantes adotadas no projeto: LAT_REF = - 22.034715 e LON_REF = - 47.429779, refere-se ao local de posicionamento do gateway, durante os testes realizados para verificação do funcionamento do sistema, que poderão ser alteradas de acordo com o local estabelecido pelo produtor.

4.3.4. Criação de mapa e geração de alertas com envio automático de mensagens SMS

Esse tópico apresenta os procedimentos que foram adotados para a criação de um mapa mostrando a localização do nó sensor e sua visualização em um *dashboard* implementado na plataforma EasyIoT. Apresenta também os procedimentos para a criação de alertas gerados pela ultrapassagem da barreira imposta pela cerca virtual, onde são enviadas mensagens SMS ao celular do produtor previamente cadastrado na plataforma.

4.3.4.1. Criação de mapa no *dashboard*

Para indicar a localização do animal monitorado em um mapa, foi necessário implementar uma *dashboard* para visualizar e interpretar as informações enviadas pelo nó sensor e, para isso, acessou-se a plataforma EasyIoT, adicionando um novo *dashboard* nomeado como Mapa Novo, sendo que a aplicação criada App_GPS foi selecionada e os dados de latitude e Longitude do nó sensor foram enviados.

Para a disponibilização dos dados de localização no mapa, foi necessário adicionar dois pontos de análise, sendo considerado como ponto de análise, a parte da mensagem enviada pelo receptor GPS onde encontra-se a informação que se deseja exibir no *dashboard*. Essa informação aparece na mensagem entre colchetes, para que o *dashboard* a identifique como um ponto relevante.

O primeiro ponto de análise adicionado nos fornece a latitude, com o nome “lat”, selecionado na posição 1 do dado no *payload*, e o segundo ponto de análise adicionado nos fornece a longitude, com o nome “lng”, selecionado na posição 2 do dado no *payload*.

4.3.4.2. Configuração de mensagens SMS de alerta

A plataforma EasyIoT permite a configuração de alertas automáticos para o produtor através de mensagens SMS, ou através de mensagens por e-mail, quando qualquer evento gerado por um dos dispositivos cadastrados na plataforma ocorrer.

No sistema automático desenvolvido, o alerta é gerado quando o animal monitorado ultrapassa o limite imposto pela cerca virtual, e, nessa condição, uma mensagem SMS é enviada ao produtor para notifica-lo da ocorrência do evento. Para gerar o alerta, foi atribuído um status, de acordo com a localização do animal monitorado, em função dos limites determinados pela cerca virtual. Foram atribuídos os seguintes valores para definir o status:

“0” = animal monitorado em região permitida.

“1” = animal monitorado fora da região permitida.

Após cada medição, o status é atualizado e enviado para a plataforma EasyIoT e, quando o status passa para “1”, uma mensagem SMS é enviada para o smartphone do produtor, para que este possa tomar as decisões cabíveis, como por exemplo, ir até o local do evento, verificar o motivo pelo qual o animal ultrapassou o limite imposto, trazê-lo de volta para a área permitida e verificar a possibilidade de evitar novas ocorrências.

A figura 20 apresenta um fluxograma, referente ao processo de envio de mensagem SMS ao produtor, gerado pela atuação da cerca virtual.

Figura 20 – Fluxograma: Cerca virtual

Fonte: Própria autoria.

Para implantar o sistema de envio automático de mensagens de alerta SMS, selecionou-se o dispositivo cadastrado na plataforma cujos dados geram o alerta e, ao clicar em “Editar Configurações e Visualizar API Token”, abre-se uma janela para a marcação da opção “Envio automático de SMS”.

A figura 32, Tela para criação de alertas, apresentada no item 5.2, em Resultados, apresenta a imagem da interface para criação de alerta.

Foi necessário cadastrar o número do celular que receberá as mensagens, digitar a mensagem, indicar a posição do bit que registra a informação (ponto de análise = status da cerca virtual) e impor a condição para envio da mensagem.

O celular cadastrado foi do autor do projeto e digitou-se a mensagem a ser enviada: “O animal encontra-se fora da região permitida”. A posição do bit que registra a informação é o bit 0 e adotou-se como condição de envio da mensagem SMS a ocorrência de igualdade na comparação entre o ponto de análise e “1”, ou seja,

sempre que o animal se encontra fora da região permitida (status da cerca virtual = “1”), ocorre o envio da mensagem SMS, pois, foi satisfeita a condição de igualdade.

4.3.5. Desenvolvimento de software e hardware adicional ao nó sensor para otimizar o consumo de energia elétrica

A necessidade de reduzir o consumo de energia elétrica do nó sensor, para viabilizar o desenvolvimento de um sistema autônomo quanto ao aspecto energético, foi fator determinante para o desenvolvimento de um software e hardware adicional capaz de proporcionar essa otimização. Como alternativa para solucionar o problema, integrou-se ao nó sensor uma IMU, capaz de detectar a movimentação do animal monitorado e executando-se uma rotina de programação apropriada, cumprir com o objetivo de reduzir o consumo energético do sistema.

4.3.5.1. Integração da IMU ao nó sensor com novo software

A IMU, composta por um acelerômetro e um giroscópio de três eixos, foi incorporada ao nó sensor e se comunica com o microcontrolador ESP 32, responsável pelo gerenciamento, via protocolo I2C, para promover a redução do consumo energético do sistema. O novo componente foi adicionado ao nó sensor, alterando-se as configurações de hardware e de software, ocasionando a necessidade de desenvolvimento de uma nova rotina na programação.

A IMU é um sensor que vai detectar o movimento do nó sensor e, conseqüentemente, o movimento do animal monitorado, e foi programada para que, enquanto o nó sensor estiver em repouso, deve habilitar o microcontrolador ESP 32 a entrar e permanecer no modo *sleep*, estado de mínimo consumo energético, inibindo o envio de dados pelo rádio transceptor LoRa e, quando o nó sensor entrar em movimento, a IMU deve habilitar o despertar do microcontrolador do seu estado de sono, permitindo o envio dos dados de localização do animal monitorado. Esse procedimento é um artifício importante para a redução do consumo energético do sistema proposto.

A figura 21 mostra os passos executados pela rotina de programação, para promover a otimização do consumo energético do sistema.

No apêndice D é mostrado o código final (GPS + Cerca Virtual + IMU).

Figura 21- Fluxograma: Otimização do consumo energético

Fonte: Própria autoria.

4.3.6. Avaliação da transmissão de dados, funcionamento da cerca virtual, envio automático de mensagens de alerta e atuação da IMU

Com o objetivo de avaliar o funcionamento, o desempenho do protótipo e validar o sistema desenvolvido, elaborou-se vários testes descritos nos tópicos 4.3.6.1, 4.3.6.2 e 4.3.6.3, pelo autor do projeto e pelo grupo de pesquisa, para serem realizados em bancada no laboratório.

Os parâmetros utilizados para a configuração do transceptor LoRa, nos testes realizados foram:

f_c = frequência da portadora = 915 MHz;

BW = Largura de banda = 250 KHz;

CR = Taxa de código = 4/8;

SF = fator de espalhamento = 11.

A IMU foi configurada conforme o padrão de fábrica, na menor escala e maior sensibilidade, ou seja, +/- 2g para o acelerômetro, e +/- 250°/s para o giroscópio.

Em todos os testes realizados o gateway permaneceu fixo, posicionado sobre uma mesa, a uma altura de 80 cm do piso, no interior de uma sala com coordenadas: latitude = -22.034715 e longitude = -47.429779, na cidade de Pirassununga, em um local com disponibilidade de energia elétrica e com acesso a rede internet via Wi-Fi.

4.3.6.1. Teste: transmissão de dados, função cerca virtual e envio automático de mensagens SMS

O primeiro teste realizado foi feito com vários objetivos. O primeiro objetivo foi comprovar a transmissão dos dados de localização do nó sensor e seu armazenamento em nuvem. O segundo objetivo foi comprovar o funcionamento da cerca virtual e envio automático de mensagem SMS ao celular cadastrado, no momento em que o nó sensor ultrapassa o limite imposto pela cerca virtual. O terceiro

objetivo do teste realizado foi quantificar a taxa de perdas de pacotes enviadas para a plataforma.

Para a realização do teste, o gateway ficou posicionado em um local com acesso à internet e o protótipo desenvolvido (nó sensor) se desloca em três direções aleatórias, denominadas A, B e C, por ruas e praças da cidade, transportado pelas mãos do autor do projeto, a uma altura de 1,2 m do solo, caminhando em uma velocidade média de 0,4 m/s, partindo e retornando de um mesmo local denominado ponto de origem, com coordenadas médias: Latitude = - 22.034777 e Longitude = - 47.430 061.

As direções B e C definidas para a realização do teste estão em sentidos opostos de uma mesma rua e a direção A é perpendicular às direções B e C.

A figura 22 mostra a imagem retirada do Google Maps, da área onde foi realizado o teste, indicando as respectivas direções percorridas pelo protótipo. O ponto G indicado na imagem corresponde a localização do gateway.

Figura 22 - Direções percorridas pelo nó sensor

Fonte: Própria autoria.

O teste inicia-se com o primeiro deslocamento do nó sensor na direção A, partindo de um local (ponto de origem), até atingir outro local com restrição imposta pela cerca virtual (distância maior que 100 m). Nesse instante o celular cadastrado deverá receber mensagem SMS da Plataforma EasyIoT, e o nó sensor deverá retornar ao ponto de origem.

O segundo deslocamento do protótipo acontece na direção B e o terceiro deslocamento na direção C, seguindo os mesmos procedimentos adotados no primeiro deslocamento, onde o protótipo parte de o ponto de origem até ultrapassar o limite definido pela cerca virtual, exato momento em que o celular cadastrado deverá receber mensagem SMS da Plataforma EasyIoT e o protótipo deverá retornar ao ponto de origem.

Acessando a plataforma EasyIoT, temos disponíveis os dados de localização do nó sensor, obtidos durante o teste de deslocamento realizado nas três direções, possibilitando a análise dos mesmos, para validação do protótipo desenvolvido.

Analisando os dados obtidos por meio da plataforma, será possível comprovar ou não, a eficiência na transmissão de dados e avaliar a taxa de perdas de pacotes ocorrida durante as transmissões.

Através da análise dos mesmos dados de localização do nó sensor, durante o percurso nas três direções, comparando-os com o horário em que o celular cadastrado recebe mensagem SMS de alerta, será possível verificar se as mensagens de alerta foram enviadas exatamente nos horários em que o nó sensor ultrapassou os 100m (limite imposto pela cerca virtual), podendo-se dessa forma comprovar ou não, a funcionalidade da cerca virtual e o envio automático de mensagem SMS de alerta.

4.3.6.2. Teste: alcance de transmissão

O segundo teste realizado para avaliação e validação do protótipo desenvolvido, teve como objetivo a determinação do alcance da transmissão dos dados enviados pelo nó sensor, utilizando-se do transceptor LoRa.

Para a realização do teste, o protótipo desenvolvido (nó sensor) se desloca a partir do ponto de origem, em uma determinada direção aleatória, denominada direção D, transportado pelas mãos do autor, a uma altura média de 1,2 m do solo, caminhando por ruas e praças da cidade, a uma velocidade média de 1,0 m/s percorrendo uma distância de 500 metros, correspondente a 10% do valor do alcance no perímetro rural indicado por Raza et al. (2017), retornando em seguida ao ponto de origem.

Caso a transmissão alcance os 500 m proposto inicialmente, o protótipo deverá avançar por mais 500 m. Esse procedimento deverá ser realizado sempre que a transmissão consiga alcançar o limite estabelecido.

O valor do máximo alcance atingido, é determinado a partir dos dados de geolocalização transmitidos durante o período em análise, após cálculo da distância percorrida pelo protótipo.

Para o cálculo da distância percorrida entre duas coordenadas geográficas, onde uma das coordenadas é a de referência (latitude e longitude de referência) e a outra coordenada é obtida durante a realização do teste em questão, utiliza-se da equação 1, baseada na lei dos cossenos, e que leva em consideração a influência da curvatura da terra.

$$D = 6371 * \text{acos} \left\{ \cos \left[(90 - LATat) * \frac{\pi}{180} \right] * \cos \left[(90 - LATref) * \frac{\pi}{180} \right] + \right. \\ \left. \text{sen} \left[(90 - LATat) * \frac{\pi}{180} \right] * \text{sen} \left[(90 - LATref) * \frac{\pi}{180} \right] * \cos \left[(LONref - LONat) * \frac{\pi}{180} \right] \right\} \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

D = distância percorrida (Km);

LATat = Latitude do local na data e horário considerado;

LATref = Latitude do local considerado como referência (-22,034715);

LONref = Longitude do local considerado como referência (-47,429779);

LONat = Longitude do local na data e horário considerado;

6371= constante adotada como raio da terra na linha do equador (Km).

Para que não ocorra o envio de mensagens de alerta via SMS durante o teste, alterou-se o valor limite da cerca virtual (raio), passando de 100m para 5000 m, valor que poderá ser alcançado no perímetro rural, segundo Raza et al. (2017).

4.3.6.3. Teste: atuação da IMU

O terceiro teste realizado para avaliação e validação do protótipo desenvolvido, teve como objetivo verificar o desempenho da IMU integrada ao sistema de monitoramento e analisar se sua atuação acontece de acordo com a programação.

O teste consistiu em deixar o nó sensor em repouso por 7 minutos e na sequência, fazer com que o mesmo entre em movimento por 7 minutos. O tempo determinado para esse teste, corresponde a valores necessários e adequados para a permanência do nó sensor em repouso e para a execução dos 5 movimentos (3 lineares e 2 circulares) propostos.

O teste foi realizado com o protótipo no interior de uma sala, sobre uma mesa a uma altura de 80 cm do piso. Os movimentos executados pelo protótipo foram suaves, orientados pelas mãos do autor do projeto, através de vários movimentos lineares nos dois sentidos, das três direções ortogonais, x, y, z de um plano cartesiano, percorrendo um segmento de reta de 40 cm em cada uma das direções, com velocidade linear média de 0,5 m/s, a partir de um ponto de referência sobre o plano horizontal da mesa. Também se executou dois movimentos circulares, a partir do mesmo ponto de referência sobre o plano horizontal x, y da mesa, percorrendo um círculo com diâmetro de 40 cm, nos sentidos horário e anti-horário, com velocidade angular média de 2,5 rad/s.

A figura 23 mostra o esquema indicando os movimentos executados pelo nó sensor, no teste realizado para verificar a atuação da IMU.

Figura 23 – Movimentos executados no teste: Atuação da IMU

Fonte: Própria autoria.

Através da análise dos dados de localização transmitidos pelo nó sensor, obtidos por meio da plataforma EasyIoT durante o período do teste em questão, será possível analisar a atuação da IMU, quanto as condições impostas pela programação,

ou seja, quando o nó sensor entrar em movimento deverá ocorrer a transmissão dos dados e caso contrário, quando o nó sensor permanecer em repouso, a transmissão não deverá ocorrer.

4.3.7. Avaliação do consumo energético do nó sensor e determinação da capacidade do sistema de geração de energia

O objetivo desse tópico, é avaliar o consumo energético do sistema de sensoriamento e comunicação do nó sensor e utilizar esses dados na determinação da capacidade do sistema de geração de energia, para prover a autossuficiência energética do conjunto.

4.3.7.1. Avaliação do consumo energético do sistema de sensoriamento e comunicação do nó sensor

Para avaliação do consumo energético do sistema de sensoriamento e comunicação do nó sensor, foram utilizadas as informações contidas no *datasheet* de cada dispositivo.

Na avaliação do consumo energético considerou-se como referência o dia (24 horas), constituído por 12 horas no período diurno e 12 horas no período noturno.

Foi elaborado um quadro (Quadro 04), contendo a lista de dispositivos que fazem parte do sistema de sensoriamento e comunicação do nó sensor, com indicação da sua corrente consumida em mA, obtida do *datasheet* fornecido pelo fabricante e o tempo estimado de funcionamento em horas, dentro de um período de avaliação de 24 horas.

Para determinação do período de funcionamento do dispositivo (estimativa), foi considerado que durante a terça parte do dia (8 horas), o nó sensor (representando o animal monitorado) encontra-se em repouso, com o microcontrolador operando no modo *sleep* e o transceptor LoRa não transmitindo informações.

Considerou-se, para efeito de avaliação do consumo energético do nó sensor, o envio de 960 pacotes (envio de 1 pacote a cada minuto, dentro de um período de 16 horas, em que o nó sensor encontra-se em movimento). Considerou-se ainda que o tempo no ar de cada pacote transmitido pelo rádio transceptor LoRa, tem duração de 400 ms (valor máximo permitido no Brasil), proporcionando um ciclo de trabalho de 0,667%, menor que o valor máximo de 1% estabelecido pela União Europeia.

Quadro 04 – Corrente elétrica e tempo de funcionamento dos dispositivos

Dispositivo	Corrente elétrica típica	Tempo estimado de funcionamento
Receptor GPS: NEO - 6M	47 mA (Modo Normal)	24 horas
Microprocessador: ESP 32	80 mA (Modo Normal) 0,005 mA (<i>Sleep</i>)	16 horas 8 horas
Transceptor: LoRa SX1276	120 mA (Transmitindo) 4 mA (Não transmitindo)	0,107 horas 23,893 horas
IMU: MPU – 6050	0,5 mA (Modo Normal)	24 horas

Fonte: Própria autoria.

4.3.7.2. Determinação da capacidade dos componentes do sistema de geração de energia para prover a autossuficiência energética

Para determinação da capacidade do mini painel de energia solar fotovoltaico, visando prover a autossuficiência energética do nó sensor, dividiu-se o consumo de energia total em mAh necessário ao funcionamento durante o período de

24 horas, pelo número de horas efetivo dentro do mesmo período, período no qual o mini painel solar é capaz de gerar energia elétrica.

Para efeito de avaliação estimativa, consideramos nesse trabalho como sendo 10 horas, o número efetivo de horas com capacidade para geração de energia elétrica.

Para determinação da capacidade da bateria recarregável de Lítio, deve-se prever que a mesma possa suprir a alimentação do nó sensor durante todo período em que não ocorra geração de energia elétrica. O valor mínimo a ser considerado para determinação da capacidade da bateria é de 58,33% do valor do consumo diário de energia, considerando um período de 14 horas sem geração de energia.

5. RESULTADOS

Nesse capítulo, serão abordados os resultados obtidos durante o desenvolvimento do trabalho e a discussão dos mesmos.

5.1. Resultados obtidos no desenvolvimento e montagem: gateway e nó sensor

Na etapa inicial, trabalhou-se no desenvolvimento e montagem dos hardwares. Esse tópico apresenta os resultados obtidos no desenvolvimento e montagem dos hardwares do gateway e do nó sensor, através do uso de imagens.

5.1.1. Resultados obtidos no desenvolvimento e montagem do gateway

Na figura 24 apresenta-se a imagem da montagem final do gateway desenvolvido, com uso da placa de desenvolvimento ESP 32 LoRa e fonte de alimentação chaveada.

Figura 24 - Gateway desenvolvido

Fonte: Própria autoria.

5.1.2. Resultados obtidos no desenvolvimento e montagem do nó sensor

Na figura 25 apresenta-se a imagem do resultado obtido no desenvolvimento do nó sensor, destacando-se a montagem do sistema de sensoriamento e comunicação, com a utilização da placa de desenvolvimento ESP 32 LoRa, receptor GPS e IMU.

Figura 25 - Sistema de sensoriamento e comunicação do nó sensor

Fonte: Própria autoria.

Na figura 26 tem-se a imagem do sistema de geração de energia solar fotovoltaica e alimentação do nó sensor, composta pelo mini painel solar, bateria, controlador de carga e conversor *boost step up*.

Figura 26 - Sistema de geração de energia solar fotovoltaica

Fonte: Própria autoria.

Nas figuras 27 e 28 apresenta-se as imagens da montagem final do protótipo do nó sensor, com a integração do sistema de sensoriamento e comunicação ao sistema de geração de energia elétrica. Temos a imagem do dispositivo apresentando um de seus lados, lado A, com todos componentes interligados (figura 27), exceto o mini painel solar que é visualizado na figura 28 (lado B).

Na montagem do protótipo desenvolvido, não se buscou a otimização da miniaturização do dispositivo, que apresentou as seguintes medições:

Dimensões: 142 x 88 x 30 (mm)

Peso: 146 g

Figura 27 – Montagem nó sensor (lado A) Figura 28 – Montagem nó sensor (lado B)

Fonte: Própria autoria.

Fonte: Própria autoria.

5.2. Resultados obtidos no cadastro e configurações na plataforma EasyIoT

Após finalizada a etapa inicial de desenvolvimento e montagem dos hardwares, foram desenvolvidos e instalados os softwares do gateway e do nó sensor, para que os dados de geolocalização do animal monitorado fossem enviados a um servidor em nuvem e visualizados pelo produtor, fazendo-se uso da plataforma EasyIoT.

Para a instalação do software do gateway, responsável pelo armazenamento dos dados em nuvem, foi necessário o cadastramento dos dispositivos na plataforma EasyIoT, conforme mostra a imagem da figura 29.

Figura 29 - Dispositivos cadastrados

Fonte: Própria autoria.

Após a instalação dos softwares do gateway e do nó sensor, e cadastramento dos mesmos, visualizou-se as mensagens enviadas pelo nó sensor, recebidas pelo gateway e retransmitidas para armazenamento em nuvem, acessando o painel de dados da plataforma EasyIoT, responsável por exibir as mensagens enviadas para a nuvem. A figura 30 mostra a imagem dos resultados obtidos.

Figura 30 - Mensagens enviadas pelo nó sensor

Envios dos dispositivos				Créditos
Aplicação: App_GPS	Horário: 12:58:57 07/05/2020	Dispositivo: 3E E0 B2 DC 34	Sinal: -117 dBm	
Payload: Latitude: [-22.033673] Longitude: [-47.429963] [0]	Tamanho: 50 B			
Aplicação: App_GPS	Horário: 12:58:26 07/05/2020	Dispositivo: 3E E0 B2 DC 34	Sinal: -109 dBm	
Payload: Latitude: [-22.034108] Longitude: [-47.430012] [0]	Tamanho: 50 B			
Aplicação: App_GPS	Horário: 12:57:54 07/05/2020	Dispositivo: 3E E0 B2 DC 34	Sinal: -90 dBm	
Payload: Latitude: [-22.034506] Longitude: [-47.429978] [0]	Tamanho: 50 B			
Aplicação: App_GPS	Horário: 12:57:23 07/05/2020	Dispositivo: 3E E0 B2 DC 34	Sinal: -75 dBm	
Payload: Latitude: [-22.034691] Longitude: [-47.429751] [0]	Tamanho: 50 B			

Fonte: Própria autoria.

Para se obter uma melhor visualização da localização do animal monitorado, criou-se um mapa no *dashboard*, executando os procedimentos descritos na metodologia e, após acessar a plataforma EasyIoT, visualizou-se a localização do nó sensor no mapa criado. A figura 31 mostra a imagem do resultado obtido.

Figura 31 – Mapa indicando localização do nó sensor

Fonte: Própria autoria.

No sistema de monitoramento desenvolvido, através da utilização da plataforma EasyIoT, foi feita a configuração necessária para geração de alerta automático com envio de mensagem SMS ao celular cadastrado, quando o animal monitorado ultrapassar o limite imposto pela cerca virtual criada. A figura 32 mostra uma tela de configuração de alertas.

Figura 32 – Tela para criação de alertas

easy IOT.Dev

⚙️ Criar alerta

Tipo de alerta	Nome	Análise por	Aplicação
Celular	Alerta Cerca Virtual	Aplicação	App_GPS

Ponto de análise	Condição	Comparando
SMS	=	1

Mensagem a ser enviada (40 de 160)

O animal encontra-se fora da região permitida.

Fonte: Própria autoria.

5.3. Resultados obtidos nos testes: transmissão de dados, função cerca virtual e envio automático de mensagens SMS

No dia 07 de maio de 2020, no período entre 11:16:13 h e 11:39:04 h, na cidade de Pirassununga, estado de São Paulo, foram realizados testes para validação do protótipo de monitoramento desenvolvido.

No primeiro teste realizado comprova-se a eficiência na transmissão dos dados de localização do nó sensor com armazenamento em nuvem, o correto funcionamento da cerca virtual, o envio automático de mensagens de alerta SMS ao celular do produtor, além de quantificar a taxa de perdas de pacotes na transmissão.

Para cada direção de deslocamento efetuado pelo nó sensor, construiu-se tabelas (Tabelas: 01, 02 e 03), a partir de informações retiradas do banco de dados disponível na Plataforma EasyIoT, exibindo-se os valores correspondentes: Número

do *payload*, Latitude, Longitude, Status da cerca virtual e Horário, para cada posição alcançada pelo nó sensor durante o percurso.

Nas tabelas construídas, adicionou-se uma coluna para informar a distância, em metros, percorrida pelo nó sensor entre o ponto de referência adotado na programação da cerca virtual e a localização atual do nó sensor. Para o preenchimento dessa coluna, utilizou-se a equação 1, descrita no tópico 4.3.6.2, para cálculo da distância entre as coordenadas de localização dos dois pontos.

O primeiro deslocamento do nó sensor ocorreu na direção A, onde o experimento foi realizado no período entre 11:16:13 h (*payload* 1) e 11:24:00 h (*payload* 16), conforme dados fornecidos pela tabela 01.

Tabela 01 - Dados enviados pelo nó sensor, na direção A

Nº	Lat.	Long.	Status	Horário	Distância (m)
1	-22.034776	-47.430002	0	11:16:13	23,97
2	-22.034751	-47.430150	0	11:16:44	38,45
3	-22.034680	-47.430377	0	11:17:16	61,76
4	-22.034665	-47.430603	0	11:17:46	85,11
5	-22.034685	-47.430643	0	11:18:17	89,12
6	-22.034627	-47.430717	0	11:18:49	97,18
7	-22.034516	-47.430761	1	11:19:19	104,00
8	-22.034515	-47.430748	1	11:19:51	103,10
9	-22.034485	-47.430757	1	11:20:22	103,61
10	-22.034677	-47.430730	0	11:20:53	98,11
11	-22.034680	-47.430463	0	11:21:24	70,61
12	-22.034863	-47.430288	0	11:21:55	54,98
13	-22.034793	-47.430086	0	11:22:28	32,81
14	-22.034755	-47.430059	0	11:22:58	29,20
15	-22.034771	-47.430036	0	11:23:28	27,20
16	-22.034764	-47.430022	0	11:24:00	25,63

Fonte: Própria autoria.

A figura 33, apresenta a imagem retirada do Google Maps, dos pontos percorridos pelo nó sensor na direção A.

Figura 33 - Percurso do nó sensor na direção A

Fonte: Própria autoria.

Verifica-se, analisando a Tabela 01, que se tem três pontos onde o status da cerca virtual = “1”, indicando que o nó sensor ultrapassou os limites pré-estabelecidos pela cerca virtual. Ver os *payloads* 7, 8 e 9, que indicam distâncias percorridas de 104,00 m, 103,10 m e 103,61 m, respectivamente, nos horários 11:19:19 h, 11:19:51 h e 11:20:22 h.

Na figura 34, pode-se visualizar as mensagens SMS enviadas pela Plataforma EasyIoT ao celular cadastrado, nos horários em que o nó sensor ultrapassou os 100 m (limite da cerca virtual).

Figura 34 - Mensagens SMS enviadas ao celular, na direção A

Fonte: Própria autoria.

O segundo deslocamento do nó sensor ocorreu na direção B, onde o experimento foi realizado no período entre 11:24:31h (*payload 1*) e 11:32:50h (*payload 16*), conforme dados fornecidos pela tabela 2.

Tabela 02- Dados enviados pelo nó sensor, na direção B

(continua)

Nº	Lat.	Long.	Status	Horário	Distância (m)
1	-22.034769	-47.430020	0	11:24:31	25,56
2	-22.034706	-47.430023	0	11:25:02	25,17
3	-22.034632	-47.430020	0	11:25:33	26,50
4	-22.034539	-47.430016	0	11:26:05	31,30
5	-22.034285	-47.430005	0	11:26:36	53,19
6	-22.034133	-47.429993	0	11:27:06	68,37

Tabela 02- Dados enviados pelo nó sensor, na direção B (conclusão)

Nº	Lat.	Long.	Status	Horário	Distância (m)
7	-22.034023	-47.429980	0	11:27:38	79,69
8	-22.033912	-47.429973	0	11:28:10	91,50
9	-22.033834	-47.429963	0	11:28:41	99,78
10	-22.033730	-47.429953	1	11:29:11	111,43
11	-22.033728	-47.429966	1	11:29:43	110,99
12	-22.033837	-47.429965	0	11:30:14	99,50
13	-22.034062	-47.430016	0	11:31:16	76,61
14	-22.034354	-47.430050	0	11:31:47	48,90
15	-22.034651	-47.430053	0	11:32:19	29,12
16	-22.034781	-47.430051	0	11:32:50	28,98

Fonte: Própria autoria.

A figura 35, apresenta a imagem retirada do Google Maps, dos pontos percorridos pelo nó sensor na direção B.

Figura 35 - Percurso do nó sensor na direção B

Fonte: Própria autoria.

Verifica-se o envio de mensagens SMS ao celular cadastrado nos *payloads* 10 e 11 da tabela 02, que indicam distanciamento do ponto de referência adotado de 111,43 m e 110,99 m respectivamente, onde o status da cerca virtual = “1”, devido ao nó sensor ter ultrapassado o limite pré-estabelecido de 100m. Observa-se que os eventos ocorreram às 11:29:11 h e 11:29:43 h respectivamente, e as mensagens enviadas podem ser visualizados na figura 36.

Figura 36- Mensagens SMS enviadas ao celular, na direção B

Fonte: Própria autoria.

O terceiro deslocamento ocorreu na direção C, no período entre 11:33:21h (*payload* 1) e 11:39:04h (*payload* 12), conforme dados fornecidos pela tabela 03.

Tabela 03 - Dados enviados pelo nó sensor, na direção C

Nº	Lat.	Long.	Status	Horário	Distância(m)
1	-22.034796	-47.430061	0	11:33:21	30,43
2	-22.035012	-47.430139	0	11:33:52	49,67
3	-22.035253	-47.430141	0	11:34:24	70,51
4	-22.035453	-47.430179	0	11:34:55	91,84
5	-22.035532	-47.430192	0	11:35:26	100,32
6	-22.035655	-47.430209	1	11:35:57	113,53
7	-22.035649	-47.430222	1	11:36:28	113,45
8	-22.035523	-47.430185	0	11:36:59	99,11
9	-22.035438	-47.430181	0	11:37:31	90,44
10	-22.035205	-47.430137	0	11:38:03	65,80
11	-22.034902	-47.430087	0	11:38:33	37,95
12	-22.034711	-47.429881	0	11:39:04	10,52

Fonte: Própria autoria.

A figura 37, apresenta a imagem retirada do Google Maps, dos pontos percorridos pelo nó sensor na direção C.

Figura 37 - Percurso do nó sensor na direção C

Fonte: Autoria própria.

Verifica-se o envio de mensagens SMS ao celular cadastrado nos *payloads* 6 e 7 da tabela 03, que indicam distanciamento do ponto de referência adotado de

113,53 m e 113,45 m respectivamente, com status da cerca virtual = “1”, devido ao nó sensor ter ultrapassado o limite pré-estabelecido de 100m. Observa-se que os eventos ocorreram às 11:35:57 h e 11:36:28 h respectivamente, e as mensagens enviadas podem ser visualizados na figura 38.

Figura 38 - Mensagens SMS enviadas ao celular, na direção C

Fonte: Própria autoria.

5.4. Resultados obtidos no teste de alcance de transmissão

Para determinação do alcance de transmissão dos dados de localização do nó sensor através do transceptor LoRa, realizou-se um teste no dia 02 de junho de 2020, no período entre 14:49:44h (*payload* 1) e 15:05:46h (*payload* 24) na cidade de Pirassununga, onde o nó sensor se deslocou em uma determinada direção aleatória,

denominada direção D, percorrendo uma distância de 500 metros, e em seguida, retornou ao ponto de origem, conforme os dados que se pode visualizar na tabela 04.

Tabela 04- Dados enviados pelo nó sensor para determinação do alcance

Nº	Lat.	Long.	Status	Horário	Distância (m)
1	-22.034735	-47.430041	0	14:49:44	27,10
2	-22.034205	-47.430028	0	14:50:16	62,25
3	-22.033855	-47.429990	0	14:50:48	98,07
4	-22.033515	-47.429988	0	14:51:20	135,16
5	-22.033308	-47.429958	0	14:51:52	157,53
6	-22.032896	-47.429882	0	14:52:17	202,54
7	-22.032735	-47.429940	0	14:52:48	220,79
8	-22.032520	-47.429894	0	14:53:19	244,36
9	-22.032328	-47.429822	0	14:53:49	265,46
10	-22.032353	-47.430050	0	14:54:21	264,12
11	-22.032398	-47.430230	0	14:55:00	261,80
12	-22.032052	-47.430653	0	14:56:25	309,51
13	-22.031876	-47.430952	0	14:56:57	338,04
14	-22.031804	-47.431052	0	15:00:36	349,27
15	-22.032020	-47.430801	0	15:01:06	317,65
16	-22.032243	-47.430651	0	15:01:36	289,20
17	-22.032577	-47.430653	0	15:02:08	254,23
18	-22.032880	-47.430494	0	15:02:40	216,94
19	-22.033233	-47.430464	0	15:03:11	179,28
20	-22.033478	-47.430386	0	15:03:41	151,10
21	-22.033781	-47.430308	0	15:04:12	117,30
22	-22.034093	-47.430161	0	15:04:44	79,59
23	-22.034385	-47.430111	0	15:05:15	50,17
24	-22.034698	-47.430093	0	15:05:46	32,42

Fonte: Própria autoria.

A figura 39, apresenta a imagem retirada do Google Maps, dos pontos percorridos pelo nó sensor para determinação do máximo alcance.

Figura 39 - Determinação do máximo alcance

Fonte: Própria autoria.

Verifica-se através da análise dos dados obtidos na tabela 04 que o *payload* nº14 enviado às 15:00:36h, atingiu o maior alcance: 349,27 m.

5.5. Resultados obtidos no teste de atuação da IMU

Para análise da atuação da IMU, realizou-se o teste no dia 02 de junho de 2020, no período entre 16:22:43h (*payload* 1) e 16:37:07h (*payload* 13) na cidade de Pirassununga, onde o nó sensor permaneceu em repouso (7 minutos) e movimentou-se em seguida (7 minutos).

A tabela 05 mostra os dados enviados pelo nó sensor com a IMU integrada, onde constata-se que durante o período de tempo em que o nó sensor permaneceu em repouso, ou seja, entre 16:22:44h e 16:29:46h (no instante posterior ao envio do *payload* 1 e no instante anterior ao envio do *payload* 2) não houve transmissão de dados e, durante o período em que o nó sensor entrou em movimento, ou seja, entre 16:29:47h (*payload* 2) e 16:37:07h (*payload* 13), houve transmissão de dados, comprovando-se que o funcionamento da IMU está de acordo com o programado.

Tabela 05 - Dados enviados pelo nó sensor com a IMU integrada

Nº	Lat.	Long.	Status	Horário
1	-22.034671	-47.429772	0	16:22:43
2	-22.034683	-47.429726	0	16:29:47
3	-22.034681	-47.429766	0	16:31:30
4	-22.034683	-47.429765	0	16:32:03
5	-22.034673	-47.429760	0	16:32:36
6	-22.034660	-47.429744	0	16:33:10
7	-22.034641	-47.429745	0	16:33:43
8	-22.034650	-47.429767	0	16:34:17
9	-22.034684	-47.429762	0	16:34:52
10	-22.034695	-47.429741	0	16:35:26
11	-22.034698	-47.429742	0	16:36:00
12	-22.034681	-47.429763	0	16:36:34
13	-22.034698	-47.429774	0	16:37:07

Fonte: Própria autoria.

5.6. Resultados obtidos na avaliação energética do nó sensor

Na tabela 06, indica-se os valores estimados do consumo de energia dos dispositivos do sistema de sensoriamento e comunicação do nó sensor, durante 24 horas, considerando a IMU integrada ao nó sensor.

Tabela 06 - Consumo energético do nó sensor

Dispositivo	Corrente (mA)	Tempo (h)	Consumo (mAh)
GPS:NEO - 6M	47	24	1.128
ESP 32	80	16	1.280
ESP 32	0,005	8	0,04
LoRa :SX1276	120	400ms.960 = 0,107h	12,84
LoRa: SX1276	4	24h – 0,107h = 23,893h	95,57
IMU: MPU 6050	0,5	24	12
TOTAL			2.528,45

Fonte: Própria autoria.

Pelos dados indicados na tabela 06, constata-se que o consumo energético diário do nó sensor é 2.528,45 mAh, e para esse valor de consumo diário, tem-se necessidade de adotar uma mini placar solar com capacidade mínima de 253 mA, para prover a autossuficiência energética.

Para proporcionar ao sistema desenvolvido uma maior confiabilidade e segurança quanto ao aspecto energético, adotou-se uma mini placa solar com capacidade de 400 mA, considerando-se que a energia elétrica gerada é proporcional à radiação da luminosidade incidente na mini placa solar, não apresentando um valor de rendimento máximo, devido variações da radiação solar durante o transcorrer do dia, e/ou durante as diversas estações do ano, sendo ainda influenciado pelo aspecto de tempo nublado ou de céu limpo, além da própria inclinação do mini painel solar.

Para especificação da bateria recarregável de lítio, considera-se os resultados da estimativa do consumo energético do nó sensor, conforme dados indicados na tabela 06, e assim, constata-se a necessidade de uma bateria com capacidade de no mínimo 58,33% de 2.528,45 mAh, ou seja, 1.475 mAh, suficiente para suprir a necessidade do sistema no período em que não há geração de energia elétrica.

Para proporcionar ao sistema uma maior confiabilidade e segurança quanto ao aspecto energético, adotou-se para esse trabalho uma bateria recarregável de lítio com capacidade de 2600 mAh.

Para se determinar uma estimativa de economia de energia elétrica, proporcionada pela integração da IMU, construiu-se a tabela 07 que destaca o consumo de energia sem a integração da IMU por um período de 24 horas.

Tabela 07- Consumo energético do nó sensor sem a integração da IMU

Dispositivo	Corrente (mA)	Tempo (h)	Consumo (mAh)
GPS:NEO - 6M	47	24	1.128
ESP 32	80	24	1.920
LoRa :SX1276	120	400ms.1440 = 0,16h	19,2
LoRa: SX1276	4	24h – 0,16h = 23,84h	95,36
TOTAL			3.162,56

Fonte: Própria autoria.

A análise dos dados de consumo de energia do nó sensor com a integração da IMU (2.528,45 mAh), conforme dados obtidos da tabela 06, em comparação com o consumo de energia do nó sensor sem a integração da IMU (3.162,56 mAh), conforme dados obtidos da tabela 07, nos mostra uma redução significativa do consumo de energia (20%), valor expressivo para o desenvolvimento de um sistema autônomo.

5.7. Discussão dos resultados

O desenvolvimento desse trabalho, é de grande importância para a bovinocultura, pois, a aquisição dos dados de localização do animal monitorado, ou do rebanho, possibilita inúmeras aplicações, além da cerca virtual, onde se enfatiza o monitoramento, o controle, rastreamento, detecção e prevenção de fuga, furto ou roubo do animal.

O produtor, fazendo uso do sistema de monitoramento aqui abordado, além de adquirir conhecimentos da rotina diária do animal monitorado ou de seu rebanho bovino, adquire um poder maior na tomada de decisão, por estar com a posse de informações relevantes advindas do sistema de monitoramento utilizado, facilitando o processo de gerenciamento de seu próprio negócio.

Considerando a importância do trabalho desenvolvido, inicia-se a etapa de discussão dos resultados apresentados, durante a realização dos testes, com o objetivo de validação do protótipo.

Verifica-se, através da análise dos resultados obtidos, o correto funcionamento do protótipo desenvolvido e os excelentes resultados apresentados pelo mesmo.

O protótipo se comunicou com a plataforma de forma eficiente, transmitindo os dados de localização e o status definido pela cerca virtual em tempo real. A plataforma recebeu, armazenou e disponibilizou ao produtor os dados transmitidos pelo protótipo, enviando ainda mensagens SMS ao celular do produtor sempre que o limite pré-determinado pela cerca virtual fosse atingido. O produtor, através do acesso remoto à plataforma, visualiza os dados transmitidos através de tabelas e/ou mapas.

Analisando os dados informados na tabela 03, no percurso realizado pelo nó sensor na direção C, verifica-se no *payload* 5, que a distância percorrida foi 100,32 m (acima do limite de 100 m estabelecido) e que, naquele horário (11:35:26 h), não houve o envio automático de mensagem de alerta SMS ao celular do produtor conforme previsto (status da cerca virtual indicado é "0").

Essa divergência pode ser justificada pela própria imprecisão do GPS, que de acordo com o fabricante é de +/- 2,5 m, e/ou, pela imprecisão ocasionada pelo uso das diferentes equações utilizadas (equação 1 e equação da função `distanceBetween()` da biblioteca `<TinyGPS++.h>`).

Pode-se afirmar que, para a aplicação desenvolvida nesse trabalho, essa divergência torna-se irrelevante frente a um cenário envolvendo uma grande área de cobertura, e que vários trabalhos se utilizaram do mesmo receptor GPS, do fabricante U-blox, modelo NEO-6M, como se pode observar no trabalho desenvolvido por (ARRUDA,2019).

Outro parâmetro ou métrica importante a ser discutido dentro de transmissões por radiofrequência, é a perda de pacotes ocorridas durante a transmissão dos dados.

Através da análise dos resultados obtidos no envio de dados pelo nó sensor, mostrados nas tabelas 01, 02 e 03, constata-se que se perdeu um pacote durante a transmissão de um total de 45 pacotes, fato ocorrido entre os *payloads* 12 e 13 da tabela 02, acarretando uma taxa de perdas de 2,2%.

O valor apresentado no teste é coerente com o trabalho apresentado por Ortiz et al. (2019), na qual, para distancias menores que 350 metros, a taxa de perdas obtida é menor que 5%, e também é coerente com o trabalho apresentado por Souza (2019), onde para dispositivos localizados com distancias menores que 150 metros, a perda máxima de pacotes apresentada foi de 2,23%.

Na realização do teste para determinação do alcance de transmissão do nó sensor, não houve a preocupação em se trabalhar com cenários mais próximos à realidade, onde se atinge alcances maiores, mas ao contrário, foi realizado em um cenário comum, vivenciado dentro uma área urbana, onde a distância máxima atingida pelo nó sensor foi de 349 metros, em uma região com predomínio de muitos obstáculos, impossibilitando a obtenção de um alcance maior conforme indicado em literaturas pesquisadas.

O resultado do teste realizado para determinação do alcance de transmissão está coerente com o trabalho realizado por Domingues (2020), onde realizou-se o teste, em um ambiente onde os dispositivos nó sensor e gateway não tinham visada direta entre si, apresentando como resultado um alcance de 300 metros.

É importante salientar a possibilidade de se aumentar o alcance de transmissão, utilizando-se de antenas de maior ganho, conforme mostrado no trabalho apresentado por Souza (2019), e/ou, modificando-se as configurações do rádio transmissor, por exemplo, aumentando seu fator de espalhamento espectral SF, e/ou, buscando-se um melhor posicionamento do gateway.

Entretanto, a aplicação do sistema de monitoramento desenvolvido destina-se a área rural, onde o alcance fornecido pelos fabricantes do dispositivo é muito maior, em razão do menor índice de obstáculos.

6. CONCLUSÕES

O trabalho cumpriu com os objetivos propostos e a metodologia aplicada foi eficiente para o desenvolvimento de um protótipo para monitoramento, com infraestrutura e potencial para ser utilizado em bovinos.

O protótipo desenvolvido utilizou-se de uma rede de comunicação de baixa potência, com capacidade de cobertura de grandes áreas, autônoma, capaz de gerar sua própria energia elétrica através de um mini painel solar fotovoltaico onde, suas coordenadas de geolocalização obtidas por um receptor GPS são armazenadas em um servidor hospedado em nuvem, podendo ser visualizadas em tabelas e/ou mapas, acessando-se remotamente a plataforma de serviços, responsável pelo gerenciamento dos dispositivos que compõe o sistema.

O sistema desenvolvido, utilizou-se de um software que implementou a função cerca virtual onde, o acesso do protótipo (nó sensor) a áreas restritas gera um evento, com envio automático de mensagem SMS de alerta, ao celular do produtor.

O uso de componentes, utilizando-se de tecnologias com reduzido consumo energético e a evolução tecnológica em diversos processos de desenvolvimento e produção de componentes eletrônicos como bateria, painel solar, etc., viabilizou a implementação de um sistema de geração de energia elétrica, bem como o desenvolvimento de uma rotina de programação, com a finalidade de otimizar e reduzir o consumo de energia elétrica do nó sensor, tornando o sistema autossuficiente em termos energéticos.

A condição de autossuficiência energética, exigida em virtude da aplicação específica do monitoramento bovino em área extensiva, é um fator relevante para o sistema, e se tornou viável somente após estudo e desenvolvimento de uma nova configuração de software e hardware, agregado ao sistema proposto, com a integração da IMU ao nó sensor, o que possibilitou a otimização do consumo energético, com uma redução estimada de 20%.

O produtor, fazendo-se uso do sistema de monitoramento proposto, também poderá utilizar as informações disponibilizadas pela plataforma, para emitir relatórios baseados no histórico do animal, ou de seu rebanho, podendo com isso, agregar

novos valores ao seu negócio, ao poder comprovar a seus clientes (compradores), que seu rebanho sempre esteve presente em áreas de ocupação legal, nunca utilizando-se de pastos provenientes de desmatamento ilegal ou de áreas de preservação permanente, reservas ambientais, ou mesmo de terras indígenas. Essa comprovação é um fator importante no contexto atual, frente às atuais exigências do mercado internacional.

O protótipo desenvolvido apresenta importantes diferenciais em relação a produtos similares no mercado, sendo um deles, a utilização da tecnologia de comunicação e transmissão por radiofrequência LoRa, que vem se destacando por atingir alcances elevados com um mínimo de consumo energético, em substituição às tecnologias utilizadas comercialmente que normalmente utilizam a comunicação via satélite ou as redes de telefonia celular, e que apresentam um custo e consumo energético relativamente elevados.

É importante destacar outro fator relevante ao trabalho, que é a nacionalização do protótipo desenvolvido, com grande potencial para se tornar um produto que venha atender as necessidades do mercado, proporcionando uma maior transparência, rapidez e economia ao produtor, utilizando-se de softwares open source, componentes de baixo custo, reduzido consumo de energia, utilizando-se de tecnologias já consagradas aliadas a um elevado grau de integração e miniaturização de componentes, permitindo assim, uma facilidade adicional na embarcação do dispositivo ao animal, em trabalhos futuros.

Para trabalhos futuros, além embarcação do protótipo ao animal, e a transformação do protótipo em produto final, o objetivo é agregar novos valores ao produto desenvolvido, dentro do contexto da bovinocultura. E dentro do contexto, a proposta é a utilização do hardware desenvolvido nesse trabalho, para promover o estudo e análise comportamental do animal, na identificação de seus movimentos como caminhar, pastear, ficar em pé, deitado, na detecção de problemas de saúde, cio, etc., bastando para isso, a implementação de funções adicionais ao software desenvolvido.

Finalizando, espera-se com esse trabalho proporcionar uma contribuição relevante para a pecuária, ao reforçar as relações entre os setores de engenharia e produção animal, visando solucionar questões desafiantes encontradas pelos pecuaristas na busca do alcance de metas como qualidade, produtividade aliados aos fatores de rastreabilidade, saúde e bem-estar animal.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNE - ABIEC. **Perfil da Pecuária no Brasil-Relatório Anual-2018**. 2018. Disponível em: <<http://abiec.siteoficial.ws/images/upload/sumario-pt-010217.pdf>>. Acesso em: 05 Jan. 2019.
- ADELANTADO, F. et al. Understanding the limits of LoRaWAN. **IEEE Communications Magazine**, New York, v. 55, n. 9, p. 34-40. 2017. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8030482>>. Acesso em: 23 fev. 2020.
- AGERSENS. **Como funciona o eShepherd?** 2018. Disponível em: <<https://www.agersens.com/eshepherd/>>. Acesso em: 01 fev. 2019.
- ALONSO, R. S. et al. An intelligent Edge-IoT platform for monitoring livestock and crops in a dairy farming scenario. **Ad Hoc Networks**. 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2019.102047>>. Acesso em: 25 maio 2020.
- ALL ABOUT LORA AND LORAWAN. **LoRa: Symbol Generation**. Disponível em: <<https://www.sgshosly.com/p/lora-is-chirp-spreadspectrum.html>>. Acesso em: 10 abr. 2019.
- AUGUSTIN, A. A study of LoRa: long range & low power networks for the internet of things. **Sensors**, Lausanne, v 16, n. 9, art. 1466, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/s16091466>>. Acesso em: 24 fev. 2020.
- ARRUDA, C. V. **Análise da implantação de uma rede LoRaWAN para sistemas embarcados**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/202037>>. Acesso em: 03 fev. 2020.
- BARBARI, M. et al. The use of global positioning and geographical information systems in the management of extensive cattle grazing. **Biosystems Engineering**, London, v. 95, n. 2, p. 271-280, 2006. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2006.06.012>>. Acesso em: 25 maio 2020.
- BOUGUERA, T. et al. **Energy consumption model for sensor nodes based on LoRa and LoRaWAN**. 2018. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/326134076_Energy_consumption_model_for_sensor_nodes_based_on_LoRa_and_LoRaWAN>. Acesso em: 20 jan. 2021.
- BSOFT. **Cercas virtuais: saiba o que são e como utiliza-las da melhor forma**. 2019. Disponível em: <<https://www.bsoft.com.br/blog/cercas-virtuais-como-utiliza-las-da-melhor-forma>>. Acesso em: 03 fev. 2020.
- CAMARGO, J. F. C. **Desenvolvimento de tecnologia de hardware e software para o monitoramento de animais**. 75 f. 2019. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2019. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/55/55137/tde-11062019-090814/publico/JoaoFernandoCalcagnoCamargo_revisada.pdf>.

Acesso em: 03 fev. 2020.

CAMPBELL, D. L. M. et al. Virtual fencing of cattle using an automated collar in a feed attractant trial. **Applied Animal Behaviour Science**, Amsterdam, v. 200, p. 71-77, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.applanim.2017.12.002>>. Acesso em: 25 maio 2020.

CARNEIRO, G. R. **Smart window - sensor de janelas para a IoT**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/108805670-Universidade-tecnologica-federal-do-parana-curso-de-tecnologia-em-sistemas-para-internet-campus-guarapuava-guilherme-ribas-carneiro.html>>. Acesso em: 03 fev. 2020.

CATTLE WATCH. **Website da empresa Cattle Watch**. Disponível em: <<http://www.cattle-watch.com>>. Acesso em: 19 jan. 2019.

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA - CEPEA. **Evolução do mercado de trabalho no agronegócio e seus segmentos (pessoal ocupado)**. 2018a. Disponível em: <<https://www.cepea.esalq.usp.br/br/mercado-de-trabalho-do-agronegocio.aspx>>. Acesso em: 05 jan. 2019.

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA - CEPEA. **PIB do agronegócio brasileiro de 1996 a 2018**. 2018b. Disponível em: <<https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>>. Acesso em: 05 jan. 2019.

CPT. **Pastejo rotacionado: cerca elétrica ou convencional?** 2019. Disponível em: <<https://www.cpt.com.br/artigos/pastejo-rotacionado-cerca-eletrica-ou-convencional>>. Acesso em: 03 fev. 2020.

CUNHA, W. C.; NASCIMENTO JUNIOR, C. L.; SANTOS, D. S. **Rastreamento e telemetria de veículos e embarcações em missões estratégicas**. Artigo, 2010. Disponível em: <ftp://161.24.19.221/ele/cairo/My_Publications/2010/SIGE2010_Douglas_Chiepa_Cairo.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2018.

DOMINGUES, H.T. **Tecnologia IoT LoRa na automação do abastecimento de água**. 2020. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2020. Disponível em: <<http://www.ppgeet.uff.br/site/wp-content/uploads/2021/01/Hingrid-Domingues.pdf>>. Acesso em: 20 jan. 2021.

DOSHI, J.; PATEL, T.; BHARTI, S. K. Smart Fanning using IoT, a solution for optimally monitoring fanning conditions. **Procedia Computer Science**, Amsterdam, v. 160, p. 746-751, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.11.016>>. Acesso em: 25 maio 2020.

GARCIA, P. S. R.; KLEINSCHMIDT, J. H. Tecnologias emergentes de conectividade na IoT: Estudo de redes lpwan. In: XXXV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TELECOMUNICAÇÕES E PROCESSAMENTO DE SINAIS-SBrT, 35., 2017, São

Pedro. **Anais...** São Pedro, 2017. p.1009–1013. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/319762405_Tecnologias_Emergentes_de_Conectividade_na_IoT_Estudo_de_Redes_LPWAN>. Acesso em: 03 fev. 2020.

HU, H. et al. Cow identification based on fusion of deep parts features. **Biosystems Engineering**, London, v. 192, p. 245-256, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.02.001>>. Acesso em: 25 maio 2020.

HUHTALA, A. et al. Evaluation of instrumentation for cow positioning and tracking indoors. **Biosystems Engineering**, London, v.96, n. 3, p. 399-405, 2007. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2006.11.013>>. Acesso em: 25 maio 2020.

ITU. **Radio Regulations 1 Articles**, 1998. Disponível em: <<http://search.itu.int/history/HistoryDigitalCollectionDocLibrary/1.14.48.en.101.pdf>>. Acesso em: 20 jan. 2021.

JESUS, L. **Identificação do comportamento bovino por meio de monitoramento animal**. 2014. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Pioneiros, 2014. Disponível em: <<https://repositorio.ufms.br:8443/jspui/bitstream/123456789/2075/1/Leandro%20de%20Jesus.pdf>>. Acesso em: 03 fev. 2020.

KHANNA, A.; KAUR, S. 2019. Evolution of Internet of Things (IoT) and its significant impact in the field of precision agriculture. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 157, p. 218-231, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.12.039>>. Acesso em: 25 maio 2020.

KIM, H. T. et al. Prediction of the body condition with free grazing cattle by the GPS. **IFAC Proceedings Volumes**, Kidlington, v. 46, n. 4, p. 346-349, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.3182/20130327-3-jp3017.00078>>. Acesso em: 25 maio 2020.

LAVRIC, A.; POPA, V. L. Wide-area networks from an internet of things perspective. In: 9th INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRONICS, COMPUTERS AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE – ECAI, 9., 2017, Targoviste. **Proceedings...** Targoviste, 2017. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8166397>>. Acesso em: 24 fev. 2020.

LIAGKOU, V.; STYLIOU, C.; SALMAS, D. VR Training model for exploiting security in LPWAN. In: CONFERENCE ON INTELLIGENT COMPUTATION IN MANUFACTURING ENGINEERING - CIRP, 12., 2018, Gulf of Naples, Italy. **Proceedings...** Gulf of Naples, 2018. Disponível em: <<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2212827119301362?token=ED13EFA3AB0E426080E924975605F3E0C4EB9C1C2D6A02542D7610862615086382B74B749B9F12DC59DAC10E515F9BF9>>. Acesso em: 16 fev. 2020.

LIU, L. S. et al. Design and test of a low-power acceleration sensor with Bluetooth Low Energy on ear tags for sow behaviour monitoring. **Biosystems Engineering**, London, v. 176, p. 162-171, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.10.011>>. Acesso em: 25 maio 2020.

LORA ALLIANCE. **LoRaWAN™ What is it?** A technical overview of LoRa and LoRaWAN. Technical marketing workgroup 1.0, 2016. Disponível em: <https://www.mouser.com/pdfdocs/LoRaWAN101_final.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2021.

LORA ALLIANCE. **LoRaWAN™ 1.0.3 specification**. 2018. Disponível em: <<https://lora-alliance.org/sites/default/files/2018-07/lorawan1.0.3.pdf>>. Acesso em: 16 fev. 2020.

MEKKI, K. et al. A comparative study of LPWAN Technologies for large-scale IoT deployment. **Ict Express**, Beijing, v. 5, n. 1, p.1-7, 2019. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ict.2017.12.005>>. Acesso em: 03 fev. 2020.

MEUNIER, B. et al. Image analysis to refine measurements of dairy cow behaviour from a real-time location system. **Biosystems Engineering**, London, v. 173, p. 32-44, Sept., 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.08.019>>. Acesso em: 25 maio 2020.

NADIMI, E. S.; SØGAARD, H. T.; BAK, T. ZigBee-based wireless sensor networks for classifying the behaviour of a herd of animals using classification trees. **Biosystems Engineering**, London, v. 100, n. 2, June, 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2008.03.003>>. Acesso em: 25 maio 2020.

ORTIZ, F. M. et al. Caracterização de desempenho de uma rede lora em ambientes urbanos: simulação vs.prática. In: WORKSHOP DE COMPUTAÇÃO URBANA, 3., 2019, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: SBC, 2019. p. 167–180. Disponível em: <<https://doi.org/10.5753/courb.2019.7476>>. Acesso em: 25 maio 2020.

PASTELL, M. et al. Filtering methods to improve the accuracy of indoor positioning data for dairy cows. **Biosystems Engineering**, London, v. 169, p. 22-31, May. 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.01.008>>. Acesso em: 25 maio 2020.

PEREIRA, P. H. M. **Desenvolvimento de dispositivo de sensoramento para cidades inteligentes usando o padrão Lorawan**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/198377>>. Acesso em: 16 fev. 2020.

PRODAP. **Cerca virtual para bovinos: O que é, como funciona e quais os impactos?** 2019. Disponível em: <<https://prodap.com.br/pt/blog/cerca-virtual-tecnologia-pecuaria>>. Acesso em: 03 fev. 2020.

RAZA, U. et al. **Low power wide area networks: an overview**. Cornell University Library, 2017. Disponível em: <<https://arxiv.org/pdf/1606.07360>>. Acesso em: 16 fev. 2020.

SANTOS, B. P. et al. **Internet das coisas: da teoria à prática**. 2017. Disponível em:

<<https://homepages.dcc.ufmg.br/~mmvieira/cc/papers/internet-das-coisas.pdf>>. Acesso em: 03 fev. 2020.

SEMTECH CORPORATION. **LoRa TM modulation basics**. Application note AN1200.22, 2015. Disponível em: <<http://wiki.lahoud.fr/lib/exe/fetch.php?media=an1200.22.pdf>>. Acesso em: 16 fev. 2020.

SEMTECH CORPORATION. **What is LoRa?** 2019. Disponível em: <<https://www.semtech.com/lora/what-is-lora>>. Acesso em: 23 fev. 2020.

SILVA, A.C.S. **Caracterização de sinais elétricos cerebrais de bovinos usando técnicas avançadas de processamento digital de sinais**. 2009. Tese (Doutorado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2009. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/74/74131/tde-08022010-160159/>>. Acesso em: 20 jan. 2021.

SOUZA, F. V. M. **Uma arquitetura LPWAN de custo acessível para cidades inteligentes**. 2019. Dissertação (Mestrado) -. Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2019. Disponível em: <<http://tede.upf.br:8080/jspui/handle/tede/1763>>. Acesso em: 03 fev. 2020.

TECH, A. R. B. **Desenvolvimento de uma ferramenta computacional para monitoramento e coleta de dados, baseados no conceito de e-Science e Data Warehouse para aplicação na pecuária**. 2008. Tese (Doutorado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2008. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/74/74131/tde-25032008-094134/publico/5574789.pdf>>. Acesso em: 18 ago. 2020.

UMSTATTER, C. The evolution of virtual fences: A review. **Computers and Electronics in Agriculture**, Kidlington, v. 75, n. 1, p. 10-22, 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.compag.2010.10.005>>. Acesso em: 25 maio 2020.

WILLIAMS, L. R. et al. Use of radio frequency identification (RFID) technology to record grazing beef cattle water point use. **Computers and Electronics in Agriculture**, Kidlington, v. 156, p. 193-202, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.11.025>>. Acesso em: 25 maio 2020.

APÊNDICES

Apêndice A - Programação do gateway: Easy Gateway

```
#include <Easyiot - LoRa.h>

const char* ssid = "MEU_SSID"; // < - - Digite nome da sua rede WiFi

const char* password = "MINHA_SENHA"; // < - - Digite nome senha rede WiFi

unsigned long início;

void setup () {

    int timeout = 0;

    Serial.begin (115200);

    display_logo ();

    delay_lora (5000) ;

    Serial.print (F ("Conectando a "));

    Serial.print(ssid);

    WiFi.mode(WIFI_STA);

    WiFi.begin(ssid, password);

    While ((WiFi.status() != WL_CONNECTED) || (timeout < 10)) {

        Serial.print (".");

        timeout++;

        delay_lora (1000);

        if (timeout == 30) {

            timeout = 0;

            Serial.println(F ("Falha na conexão, verifique os dados da sua WiFi! "));
```

```

        Serial.println(F ("Tentando conectar novamente"));

        Serial.println();

        Serial.println(F ("Conectando a "));

        Serial.println(ssid);

    }

}

Serial.println();

Serial.println (F ("WiFi conectado"));

Serial.println ();

PinMode (pinBUTTON, INPUT_PULLUP);

PinMode (led, OUTPUT);

attachInterrupt (digitalPinToInterrupt (pinBUTTON), handleButtonInterrupt,
CHANGE);

registro_gateway ();

display_gateway ();

_start_LoRa ();

inicio = millis ();

}

void Loop () {

    Interrupção ();

    Receive_lora ();

    if ((millis () – inicio) > 300000) {

        inicio = millis ();

        _start_LoRa ();

```

```

    }
}

```

Apêndice B - Programação do nó sensor (GPS): Easy GPS

```

#include <Easyiot-LoRa.h>

#include <TinyGPS++.h>

TinyGPSPlus gps;

#define GPSECHO false

#define tempo_gps 30000

uint32_t timer;

Int cont = 0;

void setup () {

    Serial.begin(115200);

    Serial2.begin(9600, SERIAL_8N1, 16, 17);

    hardware_serial = true;

    delay_lora (5000);

    pinMode (pinBUTTON, INPUT_PULLUP);

    pinMode (led, OUTPUT);

    attachInterrupt (digitalPinToInterrupt (pinBUTTON), handleButtonInterrupt,
CHANGE);

    registro_device ();

    _start_LoRa ();

```

```

    timer = millis ();
}

void gpsSend () {
    double aux;

    int aux2, aux3;

    if (((millis () – timer) > tempo_gps) && (gps.location.isValid()) &&
(gps.date.isValid()) && (gps.time.isValid())) {

        payload = "Latitude: [";

        aux = gps.location.lat ();

        aux2 = gps.location.lat ();

        aux = (aux – aux2) * 1000000;

        aux3 = (int) abs (aux);

        payload = payload + aux2;

        payload = payload + ".";

        payload = payload + aux3;

        payload = payload + "] Longitude: [";

        aux = gps.location.lng ();

        aux2 = gps.location.lng ();

        aux = (aux – aux2) * 1000000;

        aux3 = (int) abs (aux);

        payload = payload + aux2;

        payload = payload + ".";

        payload = payload + aux3 + "];

```

```

    send_lora ();

    Serial.println (F ("Payload enviado (visualize os dados na plataforma) "));

    payload = "";

    timer = millis ();

    }

}

void loop () {

    Interrupção ();

    while (serial2.available () > 0)

        if (gps. encode (serial2.read ()))

            gpsSend ();

    if (millis () > 15000 && gps. charsProcessed () < 10) {

        Serial.println (F ("No GPS detected: check wiring."));

        while (true);

    }

}

```

Apêndice C – Programação do nó sensor (GPS+ Cerca virtual): Easy GPS _ Raio

```

#include <Easyiot-LoRa.h>

#include <TinyGPS++.h>

TinyGPSPlus gps;

```

```

#define GPSECHO false

#define tempo_gps 30000

uint32_t timer;

int cont = 0;

void setup () {

    Serial.begin(115200);

    Serial2.begin(9600, SERIAL_8N1, 16, 17);

    hardware_serial = true;

    delay_lora (5000);

    pinMode (pinBUTTON, INPUT_PULLUP);

    pinMode (led, OUTPUT);

    attachInterrupt (digitalPinToInterrupt (pinBUTTON), handleButtonInterrupt,
CHANGE);

    registro_device ();

    _start_LoRa ();

    timer = millis ();

}

void gpsSend () {

    double aux;

    int aux2, aux3, raio = 100;

    static const double LAT_REF = -22.034715, LON_REF = -47.429779;

    double LAT_FINAL, LON_FINAL;

    if (((millis () – timer) > tempo_gps) && (gps.location.isValid()) &&

```

```

(gps.date.isValid()) && (gps.time.isValid())) {

    payload = "Latitude: [";

    aux = gps.location.lat ();

    LAT_FINAL =aux;

    aux2 = gps.location.lat ();

    aux = (aux – aux2) * 1000000;

    aux3 = (int) abs (aux);

    payload = payload + aux2;

    payload = payload + ".";

    payload = payload + aux3;

    payload = payload + "] Longitude: [";

    aux = gps.location.lng ();

    LON_FINAL = aux;

    aux2 = gps.location.lng ();

    aux = (aux – aux2) * 1000000;

    aux3 = (int) abs (aux);

    payload = payload + aux2;

    payload = payload + ".";

    payload = payload + aux3 + "] [";

    unsigned long distanceToREF = (unsigned long)
TinyGPSPLUS::distanceBetween(LAT_FINAL, LON_FINAL, LAT_REF , LON_REF);

    if (distanceToREF > raio) {

        payload = payload + "1]";

    }

    else {

```

```

        Payload = payload + "0]";
    }

    send_lora ();

    Serial.println (F ("Payload enviado (visualize os dados na plataforma) "));

    payload = " ";

    timer = millis ();

}

}

```

```

void loop () {

    Interrupção ();

    while (serial2.available () > 0)

        if (gps. encode (serial2.read ()))

            gpsSend ();

    if (millis () > 15000 && gps. charsProcessed () < 10) {

        Serial.println (F ("No GPS detected: check wiring.));

        While (true);

    }

}

```

Apêndice D - Programação do nó sensor (GPS+Cerca Virtual + IMU)

```

#include <Easyiot-LoRa.h>

#include <TinyGPS++.h>

```



```

#include <Arduino.h>

#include <Wire.h>

#include <driver/adcd.h>

// MPU Registers

#define SIGNAL_PATH_RESET    0x68

#define I2C_SLV0_ADDR        0x37

#define ACCEL_CONFIG         0x1C

#define MOT_THR              0x1F

#define MOT_DUR              0x20

#define MOT_DETECT_CTRL     0x69

#define INT_ENABLE           0x38

#define PWM_MGMT             0x6B

#define INT_STATUS           0x3A

#define MPU6050_ADDRESS      0x68

#define GPSECHO false

#define tempo_gps 30000

TinyGPSPlus gps;

uint32_t timer = 0, TIMER2 = 0;

bool flag = false;

void gpsSend () {

    double aux;

    int aux2, aux3, raio = 100;

    static const double LAT_REF = -22.034715, LON_REF = -47.429779;

```

```

double LAT_FINAL, LON_FINAL;

if (((millis () – timer) > tempo_gps) && (gps.location.isValid()) &&
(gps.date.isValid()) && (gps.time.isValid())) {

    payload = "Latitude: [";

    aux = gps.location.lat ();

    LAT_FINAL =aux;

    aux2 = gps.location.lat ();

    aux = (aux – aux2) * 1000000;

    aux3 = (int) abs (aux);

    payload = payload + aux2;

    payload =payload + ".";

    if (aux3 < 100000) {

        payload = payload + "0" + aux3;

    }

    else {

        payload = payload + aux3;

    }

    payload = payload + "] Longitude: [";

    aux = gps.location.lng ();

    LON_FINAL = aux;

    aux2 = gps.location.lng ();

    aux = (aux – aux2) * 1000000;

    aux3 = (int) abs (aux);

    payload = payload + aux2;

```

```

    payload = payload + ".";

    if (aux3 < 100000) {

        payload = payload + "0" + aux3 + "] [";

    }

    else {

        payload = payload + aux3 + "] [";

    }

    unsigned long distanceToREF = (unsigned long)
TinyGPSPLUS::distanceBetween(LAT_FINAL, LON_FINAL, LAT_REF , LON_REF);

    if (distanceToREF > raio) {

        payload = payload + "1]";

    }

    else {

        payload = payload + "0]";

    }

    send_lora ();

    Serial.println (F ("Payload enviado (visualize os dados na plataforma) "));

    payload = " ";

    timer = millis ();

    flag = true;

}

}

void writeByte (uint8_t address, uint8_t subAddress, uint8_t data)

{

```

```

Wire.begin();

Wire.beginTransmission(address);

Wire.write(subAddress);

Wire.write(data);

Wire.endTransmission();

}

uint8_t readByte (uint8_t address, uint8_t subAddress)
{
    uint8_t data;

    Wire.beginTransmission (address);

    Wire.write (subAddress);

    Wire.endTransmission (false);

    Wire.requestFrom (address, (uint8_t) 1);

    Data = Wire.read ();

    return data;
}

void configureMPU (int sens) {

    writeByte (MPU6050_ADDRESS, 0x68, 0x00);

    writeByte (MPU6050_ADDRESS, SIGNAL_PATH_RESET, 0x07);

    writeByte (MPU6050_ADDRESS, I2C_SLV0_ADDR, 0x20);

    writeByte (MPU6050_ADDRESS, ACCEL_CONFIG, 0x01);

    writeByte (MPU6050_ADDRESS, MOT_THR, 20);

    writeByte (MPU6050_ADDRESS, MOT_DUR, 40);

```

```

writeByte (MPU6050_ADDRESS, MOT_DETECT_CTRL, 0x15);

writeByte (MPU6050_ADDRESS, 0x37, 140);

writeByte (MPU6050_ADDRESS, INT_ENABLE, 0x40);

writeByte (MPU6050_ADDRESS, PWR_MGMT, 8);

writeByte (MPU6050_ADDRESS, 0x6C, 7);

}

void setup () {

  Serial.begin(115200);

  Serial2.begin(9600, SERIAL_8N1, 16, 17);

  hardware_serial = true;

  registro_device ();

  display_device ();

  _start_LoRa ();

  pinMode (pinBUTTON, INPUT_PULLUP);

  pinMode (led, OUTPUT);

  attachInterrupt (digitalPinToInterrupt (pinBUTTON), handleButtonInterrupt,
CHANGE);

  delay (5000);

  timer2 = millis ();

  flag = false;

  while (((millis () – timer2) < 300000) && (flag == false)) {

  while (serial2.available () > 0) {

    if (gps.encode (serial2.read ())) {

      gpsSend ();

```

```
    }  
  }  
  Interrupção ();  
}  
flag = false;  
ConfigureMPU (1);  
Serial.println("Sleeping");  
adc_power_off ();  
esp_sleep_enable_ext0_wakeup (GPIO_NUM_2,0);  
delay (1500);  
adc_power_off ();  
esp_deep_sleep_start ();  
}  
  
void loop () {  
  
}
```