UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ZOOTECNIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS

RENAN NANTES DONATTI

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO DE ANIMAIS, UTILIZANDO REDE DE SENSORES SEM FIO, BASEADO NO PROTOCOLO ZIGBEE E TECNOLOGIA GPS.

Pirassununga
2017

RENAN NANTES DONATTI

Desenvolvimento de um sistema de monitoramento de animais, utilizando rede de sensores sem fio, baseado no protocolo ZigBee e tecnologia GPS.

“Versão corrigida”

Dissertação apresentada à Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo para obtenção do título de mestre em Gestão e Inovação na Indústria Animal.

Área de concentração: Gestão e Inovação da Indústria Animal.

Orientador: Prof. Dr. Adriano Rogério Bruno Tech.

Pirassununga

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

Serviço de Biblioteca e Informação da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo

D677d

Donatti, Renan Nantes
Desenvolvimento de um sistema de monitoramento de animais, utilizando rede de sensores sem fio, baseado no protocolo ZigBee e tecnologia GPS / Renan Nantes Donatti. -- Pirassununga, 2017.
63 f.
Dissertação (Mestrado) -- Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos – Universidade de São Paulo.
Departamento de Ciências Básicas.
Área de Concentração: Gestão e Inovação na Indústria Animal.
Orientador: Prof. Dr. Adriano Rogério Bruno Tech.

1. Zootecnia de precisão 2. Tecnologia de informação 3. Sensoriamento remoto. I. Título.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por ser responsável por tudo que tenho e tudo que sou.

Dedico também a minha esposa, Raquel, que me apoiou e me incentivou em todos os momentos do caminho. A minha filha, que chegou durante o processo, trazendo muita luz. Ao meu pai, pela dedicação na vida em me prover uma boa educação. A minha mãe, pela base, cuidado e apoio em todos os momentos.

E a meu orientador, pelo apoio, educação e auxílio durante um período difícil em minha vida.

AGRADECIMENTO

A Deus, por me abençoar e me guiar todos os dias da minha vida.

À Instituição, pela excelência e ambientes favoráveis à educação e ao conhecimento.

Ao Professor Doutor Adriano Rogério Bruno Tech, pela orientação, apoio e incentivo, mesmo durante períodos árduos e difíceis.

Agradeço a todos os professores pelo conhecimento transmitido, pelos diálogos, pelos ensinamentos, que foram muito além da ementa curricular. Obrigado pelo tempo dedicado, paciência e amor ao lecionar.

Aos meus pais, pela luta, dedicação e renúncia pelo melhor de seus filhos.

Obrigado ao meu irmão, que me guiou e me direcionou neste projeto.

Agradeço imensamente a minha esposa, que com muita paciência e amor me deu forças e me ajudou a não desistir durante o caminho penoso.

A todos que direta ou indiretamente me auxiliaram e são responsáveis por mais essa conquista.

O presente trabalho foi realizado com o apoio do CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (proc. Num. 310314/2013-5).

Aqueles que esperam no Senhor renovam as suas forças. Voam alto como águias. Correm e não ficam exaustos, andam e não se cansam. (Isaías 40:31)

RESUMO

DONATTI, Renan Nantes. **Desenvolvimento de um sistema de monitoramento de animais, utilizando rede de sensores sem fio, baseado no protocolo ZigBee e tecnologia GPS.** 2017. 62 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2017.

A busca pelo aumento da produtividade e a difusão da agricultura de precisão trazem a necessidade cada vez maior de informações melhores e mais detalhadas, para isso o uso da tecnologia se torna mais comum e mais necessária. Uma das necessidades para um manuseio bovino com precisão é saber com detalhes o comportamento dos animais no campo, sendo um fator de análise a forma como eles se movimentam. Assim, este trabalho tem por objetivo o desenvolvimento de um sistema de comunicação sem fio para coleta de dados referentes ao posicionamento global dos animais (Latitude e Longitude), provenientes de animais em ambiente aberto. O sistema foi desenvolvido utilizando a tecnologia de comunicação sem fio, baseado no protocolo ZigBee e tecnologia GPS (*Global Positioning System*). Foram desenvolvidos dois sistemas para testes, sendo um deles composto de nó coordenador e nó móvel, e outro sistema composto de um celular fora de uso com um aplicativo desenvolvido para sistema operacional Android. Ambos os sistemas efetuaram leituras das posições e deslocamento dos animais, o primeiro em tempo real e o segundo tendo os seus dados armazenados para uma avaliação posterior. Os resultados atenderam aos objetivos e mostraram-se satisfatórios, desta forma, pode-se concluir que o sistema de comunicação sem fio, responsável pela coleta dos dados, tem-se mostrado eficiente e com confiabilidade na transmissão dos dados.

Palavras-chave: Zootecnia de Precisão, Tecnologia de Informação, Sensoriamento Remoto.

ABSTRACT

DONATTI, Renan Nantes**. Development of an animal monitoring system, using wireless sensor network based on ZigBee protocol and GPS technology**. 2017. 62 f. M.Sc. Dissertation – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2017.

The pursuit of increased productivity and the diffusion of precision agriculture brings the increasing need for better and more detailed information, for which the use of technology becomes more common and more necessary. One of the needs for accurate handling of cattle is to know in detail the behavior of the animals in the field, being a factor of analysis the way they move. Thus, the objective of this work is the development of a wireless communication system for collecting data from animals in an open environment. The system was developed using wireless communication technology, based on the ZigBee protocol and GPS (Global Positioning System) technology. Two systems were developed for testing, one being composed of coordinating node and mobile node and another system composed of a without use mobile phone with an application developed for Android. Both systems carried out readings of the positions and displacement of the animals, one being able to be evaluated in real time and another having their data stored for later evaluation. The results met the objectives and were satisfactory, so it can be concluded that the wireless communication system responsible for data collection has been shown to be efficient and reliable in data transmission.

Keywords: Precision Animal Science, Information Technology, Remote Sensing.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Constituição de uma Rede de Sensores Sem Fio. Fonte: Cansado (2011). 23
Figura 2 - Funcionamento de um sistema RFID (Radio Frequency IDentification). Fonte: Gutierrez, Filha e Neves (2005). 24
Figura 3 – Integração do sistema RFID ao sistema de gestão. Fonte: Gutierrez, Filha e Neves (2005). 24
Figura 4 – Rede ZigBee. Fonte: Cansado (2011). 27
Figura 5 – Foguete V-2. Fonte: (SCHMIDT, 2010). 29
Figura 6 – Sistema SPIRE. Fonte: (SCHMIDT, 2010). 30
Figura 7 – Fabricação das placas de circuito impresso do nó sensor. Fonte: Propria autoria. 33
Figura 8 – Esquema elétrico do nó sensor móvel com GPS e sensor termohigrômetro. Fonte: Própria autoria.....34
Figura 9 – Diagrama de blocos do nó sensor móvel. Fonte: Própria autoria. 35
Figura 10 – Ambiente de desenvolvimento do firmware. Fonte: Própria autoria. 35
Figura 11 – Módulo GPS. Fonte: LOCOSYS, 2016. 36
Figura 12 – Microcontrolador PIC16F628. Fonte: MICROSHIP, 2017. 36
Figura 13 – Diagrama de fluxo do software embarcado. Fonte: ARCE, 2008. 37
Figura 14 – Módulo wireless Ubee Fractum. Fonte: FRACTUM, 2017.....38
Figura 15 – Diagrama de blocos do nó coordenador. Fonte: ARCE, 2008.....38
Figura 16 – Imagem do USBee da Fractum. Fonte: FRACTUM, 2016b.....39
Figura 17 – Diagrama de blocos do software coletor. Fonte: Própria autoria. 41
Figura 18 – Diagrama Projeto GMaps. Fonte: www.codeplex.com 42
Figura 19 – Classe Ubee desenvolvida para gerenciar o nó coordenador. Fonte: Própria autoria. 43
Figura 20 – Área utilizada para experimento. Fonte: Própria autoria 44
Figura 21 – Imagens durante o experimento. Fonte: Própria autoria 45
Figura 22 – Infraestrutura utilizada para o teste do sistema. Fonte: Própria autoria .46
Figura 23 – Fixação dos equipamentos aos animais através de cabresto. Fonte: Própria autoria.....46
Figura 24 – Protótipo de nó sensor móvel. Fonte: Própria autoria 47
Figura 25 – Diagrama funcionamento software. Fonte: Própria autoria. 48

Figura 26 – Estação base. Fonte: Própria autoria 48
Figura 27 – Diagrama Curva de descarga da bateria alcalina de 9V utilizada Fonte: www.duracell.be/oem/pdf/MN1604_US_CT.pdf. 49
Figura 28 – Sinal coletado para o cálculo de autonomia. Fonte: Própria autoria. 50
Figura 29 – Relativa ao consumo dos nós móveis durante a transmissão de um pacote. Fonte: Própria autoria 51
Figura 30 – Frames do software de coleta para plataforma Android. Fonte: Própria autoria 52
Figura 31 – Tela do software de coleta e monitoramento. Fonte: Própria autoria 53
Figura 32 – Monitoramento do deslocamento do animal 4 durante o primeiro experimento. Fonte: Própria autoria 54
Figura 33 – Monitoramento do deslocamento do animal 9 durante o primeiro experimento. Fonte: Própria autoria 54
Figura 34 – Deslocamento do animal 3 equipado com o aparelho celular no segundo experimento. Fonte: Própria autoria 55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estrutura do pacote de dados. Fonte: Própria autoria. 42

LISTA DE SIGLAS

CDMA	Code Division Multiple Access
EDI	Eletronic Data Interchange
FFD	Full Function Devices
FZEA	Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos
GPRS	General Packet Radio Services
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile Communications
IEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
IrDA	Infrared Data Association
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MNEA	National Marine Electronics Association
PCI	Placa de Circuito Impresso
PIC	Programmable Interface Controller
RF	Rádio Frequência
RFD	Reduced Function Device
RFID	Radio Frequency IDentification
RSSF	Redes de sensores sem fio
SMS	Short Message Service
TI	Tecnologia da Informação
USB	Universal Serial Bus
WPAN	Wireless Personal Area Network
WLAN	Wireless Local Area Network

LISTA DE SIMBOLOS

V	Volts
GHz	Giga Hertz
mA	Miliampére
°C	Graus Celcius
h	Horas
Ω	Ohm
ms	Milisegundo
µs	Microsegundo

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 15

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 17

2.1. Comportamento bovino 17

2.2. Zootecnia de Precisão 18

2.3. As Tecnologias de Informação e Comunicação 21

2.3.1. Rede de Sensores sem fio (RSSF) 21

2.3.2 Protocolo ZigBee 26

2.3.3. GPS (Global Positioning System) 28

3. MATERIAL E MÉTODOS 32

3.1. Desenvolvimento do sistema dedicado de monitoramento baseado em Tecnologia Zigbee 32

3.1.1. Nó sensor ZigBee móvel com GPS 33

3.1.2. Estação base 38

3.1.3. Ensaio de consumo de energia 39

3.2. Desenvolvimento de software de geolocalização para a plataforma Android ..40

3.3. Desenvolvimento do software de coleta e monitoramento 40

3.4. Experimento a campo 43

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES 47

4.1. Resultados 47

4.1.1. Nó sensor móvel com GPS 47

4.1.2. Nó coordenador (estação base) 48

4.1.3. Bateria 49

4.1.4. Testes de autonomia e desempenho 49

4.2. Ensaio de consumo elétrico para determinação de autonomia 50

4.3. Software de geolocalização para plataforma Android 51

4.4. Software de coleta e monitoramento 52

4.5. Resultados dos experimentos a campo 53

5. CONCLUSÕES 56

REFERÊNCIAS 57

ANEXO A 61

ANEXO B 63

1. INTRODUÇÃO

O Brasil vem se destacando como um dos principais países em fornecimento de carne bovina no mercado exterior, principalmente para aqueles onde o preço ainda é um fator importante, além é claro da qualidade do produto fornecido (PEREIRA *et al.* 2011).

A busca pelo aumento da produtividade, aperfeiçoamento da produção, cuidado com a saúde animal e redução de custos, tem possibilitado ao Brasil uma inserção importante no mercado internacional. O uso de tecnologias de ponta e o investimento realizado em todo o processo de produção tem permitido ao país um ganho de mercado (TECH, 2013).

Antigamente, a difusão do conhecimento e o uso da tecnologia era cara e complicada, porém através das pesquisas em tecnologias de comunicação e transmissão de dados, o melhoramento de desempenho e de velocidade de liberação de informações, o quadro tem sofrido grandes alterações, podendo-se observar o aumento considerável do uso e disseminação da informação. O aprimoramento e a criação de novas tecnologias tornaram o meio de divulgação e o acesso aos dados e informações uma tarefa mais fácil e rápida, inclusive rompendo as barreiras de distância e, ao mesmo tempo, simplificaram a forma de armazenar, distribuir, consultar e manipular dados através das novas EDI´s (*Eletronic Data Interchange*) desenvolvidas.

Fenômeno semelhante tem-se observado na Zootecnia e na Agricultura, principalmente com a utilização de novas tecnologias que estão sendo incorporadas a essas áreas do saber. Assim, pode-se observar grandes avanços na Zootecnia de Precisão, associada à Computação, Instrumentação de Precisão, Eletrônica e à Inteligência Artificial.

Essa associação tem proporcionado informações com maior exatidão, distribuições mais rápidas dos dados, análises simultâneas no tocante ao processo decisório, com a conveniência de não precisar de manutenções e pré-processamentos manuais complicados e demorados, bem como compartilhamento e processamento dos dados de forma otimizada e em tempo real.

O monitoramento e o controle através de sistemas eletrônicos tem se tornado cada vez mais fundamentais para vários negócios, em especial para a pecuária, em

que estão sendo estudadas várias maneiras e novas tecnologias de atuação. Dentre elas, os sistemas de comunicação sem fio e a utilização das redes de sensores sem fio com aplicação no monitoramento de animais (rebanhos), tem ganhado força e trazido bons resultados para o gerenciamento dos processos produtivos da cadeia do agronegócio (TECH *et al.* 2011).

A tecnologia sem fio teve uma rápida evolução, e, recentemente, vários modelos vêm sendo desenvolvidos, para curto, médio e longo alcance, com as mais diversas possibilidades de aplicações, muitas vezes empregadas nas comunicações interpessoais, aplicações essas que difundiram o seu uso. Porém torna-se uma tendência que tais tecnologias sejam empregadas cada vez mais para as aplicações profissionais.

Esta tecnologia traz diversas vantagens para a gestão dos negócios, como redução e simplificação da aplicação, pela eliminação dos cabos, além de maior facilidade para implantação e distribuição dos pontos em ambientes e processos monitorados (WANG; ZHANG; WANG, 2006).

A necessidade de aumentar a eficiência e a produtividade no agronegócio tem propiciado a utilização da eletrônica, robótica, computação e da mecatrônica, que influenciam diretamente a qualidade de produtos e serviços provenientes das mais diversas aplicações (BANDEIRA FILHO, 2003).

A microeletrônica abre novas possibilidades e novas aplicações dessas tecnologias, favorecendo a diminuição de perdas, decorrente de uma melhor tomada de decisão, sendo uma das novas aplicações desses sistemas na administração de propriedades ou empresas. Também nessa área, o desenvolvimento dos biossensores tem trazido um alto potencial na melhora do bem estar, da saúde e da produção animal (NAAS, 2002).

Assim, o presente trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um sistema de monitoramento de bovinos e coleta de dados a distância, por meio da tecnologia sem fio (wireless), podendo ser através do protocolo dde comunicação ZigBee interligado ao módulo GPS, ou através de um celular e um aplicativo desenvolvido para utilizar o GPS do próprio aparelho já existente. Espera-se com isso trazer novas formas de levantamentos de dados importantes para tomadas de decisões, dados que atualmente são feitos de forma manual e trabalhosa.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Comportamento bovino

Segundo Snowdon (1999), a pesquisa referente ao comportamento animal envolve aspectos moleculares e fisiológicos relacionados à biologia animal e ecologia, sendo que a base do comportamento animal é a interação do organismo com o ambiente, além da associação entre ecossistema e sistema nervoso, sendo fundamental nas adaptações das funções biológicas. Assim, o comportamento é uma das características mais importante da vida dos animais.

Os bovinos, assim como todo animal ruminante, são animais de comportamento social típico, com uma necessidade de interagir com outros, formando grupos organizados por hierarquia. Por meio de padrões de comportamento dentro e fora do grupo, é possível verificar a agressividade dos animais, assim como outros fatores negativos da competição entre eles (GONSALVES NETO, 2009).

A organização social entre bovinos é de suma importância para a eficiência do manejo. Apesar dos benefícios gerados na relação de grupo, efeitos negativos como a competição podem prejudicar a produção, se tornando fundamental o conhecimento e o monitoramento dos padrões sociais desses animais para o manejo adequado. Os bovinos possuem um padrão de uso do espaço, com área de descanso e um espaço físico individual, onde o animal permanece durante um tempo, mas se desloca de acordo com distância e movimentação de outros membros do grupo. Os bovinos não são considerados animais territoriais, pois compartilham o espaço com tolerância entre indivíduos (COSTA; SILVA, 2007).

Os bovinos habitam em diferentes características de grupo, se comparados entre o grupo adotado em sistemas de produção, com o grupo de animais livres. A alteração da modalidade do grupo implica várias características sociais dos animais, assim, com a implantação de sistemas que diminuem o estresse do rebanho, tornasse possível uma melhor produtividade (GONSALVES NETO, 2009).

Para isso, é de extrema importância o correto conhecimento da forma social do rebanho e do comportamento individual do bovino, a fim de evitar conflitos, identificar anomalias de comportamento a tempo de se atuar sem maiores prejuízos,

garantindo sempre uma harmonia no rebanho e, consequentemente uma boa qualidade da carne. A alimentação influi também no comportamento animal, por isso o aproveitamento do pasto é outro fator importante para um melhor manejo, assim o tempo de permanência no pastejo do bovino e a frequência de bocado dos animais são ajustados de acordo com a deficiência em sua alimentação, a qualidade do pasto ou a disponibilidade de alimentos. (KROLOW *et al.* 2014).

De acordo com Carvalho *et al*. (2009), o comportamento alimentar do bovino é o alicerce do conhecimento que se necessita para tomar as corretas decisões de manejo. Sendo assim, podem-se ajustar os locais do gado em função de suas necessidades a partir de informações levantadas através de sua localização e comportamento.

Sempre houve a necessidade dos produtores de bovinos em observar seus animais com a maior frequência possível. A falta de atenção ao bem-estar animal pode trazer a redução da produtividade e até a morte de algum animal. Porém o animal em si é incapaz de descrever sua situação para um veterinário, como os humanos fazem aos médicos. Assim, é possível conhecer a situação dos animais por meio de informações levantadas a partir do próprio animal, utilizando um conhecimento específico da pessoa que irá executar o manejo dos mesmos (MAYER; ELLIS; TAYLOR, 2004).

De acordo com Ferreira *et al*. (2013), apesar do amplo desenvolvimento referente ao bem-estar animal dos últimos tempos, a literatura existente demonstra que ainda são necessárias medidas em todas as fases de produção para atingir tal objetivo.

2.2. Zootecnia de Precisão

O conceito de Zootecnia de Precisão está relacionado com a maximização dos índices de produtividade e a otimização de perdas, dentro de todo o processo gerenciado, em grande parte se utilizando de tecnologias para se adquirir as informações ou mesmo para a aplicação das ações desejadas. Assim, Zootecnia de Precisão tem uma grande relação com a eficiência produtiva e a tecnologia.

A produção zootécnica busca tratar do bem estar animal, da qualidade do produto final, da qualidade de trabalho dos empregados e do ambiente final da

produção, além de melhorar cada vez mais os processos envolvidos na produção, tornando o processo de tomada de decisão sobre os eventos ocorridos mais rápidos, com um sistema de comunicação mais confiável (NAAS, 2000).

O conhecimento e o respeito pelo bem-estar dos bovinos exigem uma observância de diversas variáveis que influenciam toda uma sociedade, que se preocupa cada vez mais com as formas de tratamento e manejo dos animais (FERREIRA; ZIECH; GUIRRO, 2013).

Segundo Pandorfi, Almeida e Guiselini (2012), a Zootecnia de precisão deve fornecer meios de o produtor monitorar suas produções de maneira prática, alcançando índices de produção com informações geradas por sistemas especializados. Porém, ainda segundo o mesmo autor, uma das maiores limitações é a falta de recursos em automação para uma correta coleta de dados em campo.

Assim, várias tecnologias estão sendo desenvolvidas na procura de otimizar processos e melhorias do manejo dos animais. Hoje, observam-se no mercado várias formas de sistemas de automação, porém com alguns pontos diferentes que os caracterizam.

Um sistema de automação deve identificar o ambiente que o cerca e interagir de forma previsível com ele, por meio de sensores e atuadores, os quais permitem uma comunicação rápida e eficiente sobre o meio produtivo em monitoramento, e em alguns casos, com a utilização de sistemas e controladores inteligentes (NAAS, 2000).

Entre os vários fatores que interferem na produção animal, a genética e a nutrição, os fatores bio-climáticos e ambientais também requerem uma atenção especial, e é de extrema importância o conhecimento da resposta do animal, frente às variações climáticas, para que se possa evitar a perda de produção, bem como o estresse.

Nessas circunstâncias, os produtores necessitam adquirir dados de experimentos etológicos, que permitam entender como o animal responde às mudanças de temperatura e, assim, aprimorar e melhorar o processo de tomada e estratégia de decisão *(ARCE et al.* 2009).

Através de análise do comportamento animal no espaço, tentar encontrar relações entre as variações externas e a sensibilidade do animal.

De acordo com Marques et al. (2006) os animais mudam seus hábitos alimentares e consumo de água de acordo com as modificações climáticas, influenciando assim seu comportamento digestivo.

As pesquisas em tecnologias de precisão, aumento de performance e agilidade na disponibilização dos dados têm propiciado, nas várias áreas do saber, um aumento significativo na disseminação e uso da informação. Se antes o compartilhamento do conhecimento era difícil, hoje, com o advento da computação e principalmente da internet, tornou-se mais fácil e acessível a todos.

O mesmo acontece com a Zootecnia de Precisão. Com o passar dos anos, observaram-se as facilidades que a integração com a Computação, a Eletrônica, a Instrumentação de Precisão e a Inteligência Artificial poderiam trazer de benefícios, já que tais técnicas propiciam dados com maior precisão e acurácia, distribuição e processamento desses dados em tempo real, sem a necessidade de manutenção de bancos de dados, e tudo é feito de forma automatizada.

Portanto, segundo Tech (2013):

> O termo Zootecnia de Precisão vem ganhando cada vez mais significado e importância dentro do contexto Nacional e Mundial. Assim, o objetivo da Zootecnia de Precisão é alcançar melhorias na produção animal, que não podem ser alcançadas pelo manejo convencional, visando principalmente o aumento de produtividade e o bem-estar animal, agregado ao bem-estar do homem e tem trazido à tona inúmeros questionamentos e maneiras de como tratar ou lidar com o animal, em relação à segurança e o respeito ao manejo desses animais (TECH, 2013, p. 16).

“O fundamento está em conhecer o comportamento em pastejo dos animais e saber por que, e como, modificá-lo (CARVALHO *et al*. 2009, p. 2). ”

De acordo com Tullo, Fontana e Guarino (2013), pode-se verificar que a automatização deve funcionar em qualquer local e em qualquer condição, porém sempre dependente da parametrização manual. Esse passo fundamental para a correta análise dos dados demanda uma enorme quantidade de tempo e mão de obra. Por essas razões, as ferramentas a serem desenvolvidas devem ser de grande precisão com grande cooperação entre os desenvolvedores e os especialistas em saúde animal, fisiologia animal etc., para a correta parametrização dos dados. Dessa

forma, com os dados levantados, o gestor pode inferir sobre o processo de maneira segura e com eficiência, obtendo assim, um resultado satisfatório no processo de tomada de decisão.

Segundo Mayer, Ellis e Taylor (2004), o desenvolvimento de plataformas de tecnologia para coleta de dados específicos é o futuro da pecuária nos lugares mais remotos do mundo, e também terá lugar no manejo intensivo tanto na área leiteira como na área de engorda. A habilidade de informar mudanças do metabolismo do animal, comportamento e bem-estar em tempo real, como auxílio de sensores que indicam a disponibilidade de comida e água, irá reduzir a corrente dependência da mão de obra e melhorar o processo de gestão.

Portanto, é possível verificar cada vez mais a necessidade de desenvolvimento de novas tecnologias para uma correta tomada de decisão, sendo um dos grandes desafios o levantamento de dados em campo, sem o alto custo e o estresse animal.

2.3. As Tecnologias de Informação e Comunicação

2.3.1 Rede de Sensores sem fio (RSSF)

As RSSF (Redes de sensores sem fio) são redes com pequenos nós computacionais, providos de sensores e dispositivos de comunicação telemétricos que são acoplados aos objetos em estudo ou à área em monitoramento (construções ou animais) (MIN *et al.* 2002).

Um exemplo dos componentes usados em um nó sensor são, os microcontroladores, sistemas de transmissão e recepção que usam rádio frequência, uma fonte de alimentação e um ou mais sensores acoplados (ASADA *et al.* 2000).

O conceito de tecnologia de sensores aplicada na produção animal, baseado principalmente em sensores eletrônicos miniaturizados, tem sido usado desde os anos 70 em vários estágios da produção, não só na alimentação, detecção e testes metabólicos na criação animal, como também na identificação e monitoração individual, sendo um passo importante no rastreamento de ações e aplicações de processos na cadeia animal (NAAS, 2002).

Apesar do grande desenvolvimento na tecnologia sem fio, ainda ficam algumas questões que se fazem necessárias à oferta de melhores garantias de qualidade para um bom funcionamento (CORRÊA *et al.* 2006). Existem vários obstáculos a serem superados para uma ideal aquisição de dados sem fio, por exemplo, a limitação de energia, a capacidade computacional, a redução dos tamanhos dos sensores e a minimização do custo da estrutura final (ARCE *et al.* 2009).

Segundo Cansado (2011) as Redes de Sensores Sem Fio influenciam o modo das pessoas interagirem com o mundo, assim são distribuídos vários nós sensores para se obter dados de interesse no meio físico, com o objetivo de enviar as informações para um nó sorvedouro que é capa de processar as informações e disponibilizar as informações desejadas.

Uma rede de sensores sem fio é composta de sensores, processamento computacional e comunicação, que permitem ao responsável as funções de instrumentação, monitoramento e tomadas de decisões. As RSSFs também podem ser desenvolvidas para executar funções de controle e atuação e não apenas sensoriamento (SOUSA; LOPES, 2011).

Segundo Sousa e Lopes (2011), são quatro componentes básicos em uma rede de sensores sem fio:

- Conjunto de nós sensores;
- Rede de interconexão sem fio;
- Estação central para processamento;
- Computador principal para manipulação dos dados.

Na Figura 1 pode-se observar o nó sensor que incorpora o processamento (microprocessador), sensores e a comunicação sem fio (módulo de rádio e bateria). Os outros pontos que constituem uma rede sem fio são nós clusters e nós sorvedouro.

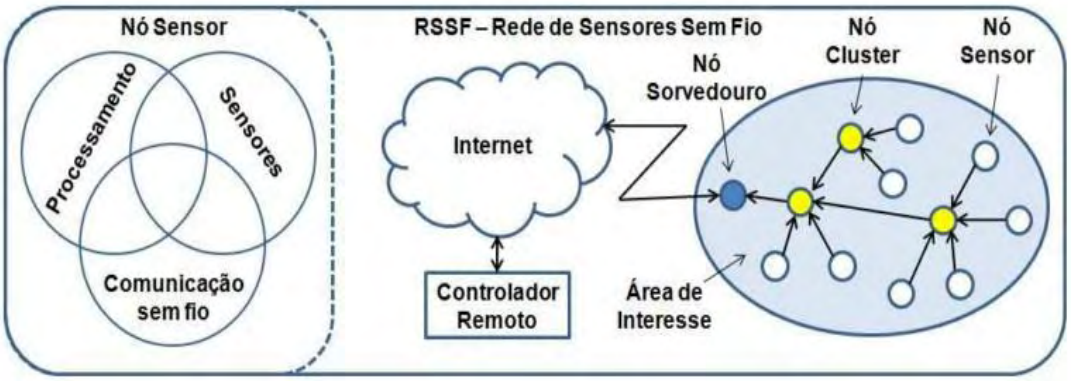


Figura 1 - Constituição de uma Rede de Sensores Sem Fio. Fonte: Cansado (2011).

Os outros elementos da Rede de Sensores Sem Fio são os nós sorvedouros e os nós clusters. O nó sorvedouro é obrigatório e tem como objetivo ser o nó de acesso à rede, sendo o responsável pela comunicação com os outros nós. O uso dos nós clusters é dependente da aplicação, sua função principal é juntar as informações dos nós vizinhos, gerando assim uma sequência de comunicação com o nó sorvedouro. Em geral esses componentes possuem recursos muito superiores aos dos nós sensores (CANSADO, 2011, p. 25).

A tecnologia de comunicação sem fio tem se desenvolvido rapidamente nos últimos anos. Os tipos de tecnologias sem fio que estão em desenvolvimento são variados: o simples IrDA (*Infrared Data Association*), que utiliza luz infravermelha de curto alcance com comunicação ponto a ponto; as redes de área pessoal (*Wireless Personal Area Network* WPAN) para curto alcance com comunicação de um ponto a múltiplos pontos, como Bluetooth e ZigBee; as de médio alcance com comunicação entre múltiplos pontos, como a rede de área local sem fio (*Wireless Local Area Network* – WLAN); as de longas distâncias como sistemas de celulares, como GSM/GPRS (*Global System for Mobile Communications / General Packet Radio Services*) e CDMA (*Code Division Multiple Access*) (WANG; ZHANG; WANG, 2006).

Na Figura 2 é possível verificar a exemplificação de um sistema de RFID, em que são necessários um objeto para o envio de dado, uma antena que recebe o dado do objeto e um módulo de RF (Rádio Frequência) que converte os dados da antena em informações as quais possam ser interpretadas e utilizadas por um módulo de controle e um computador.

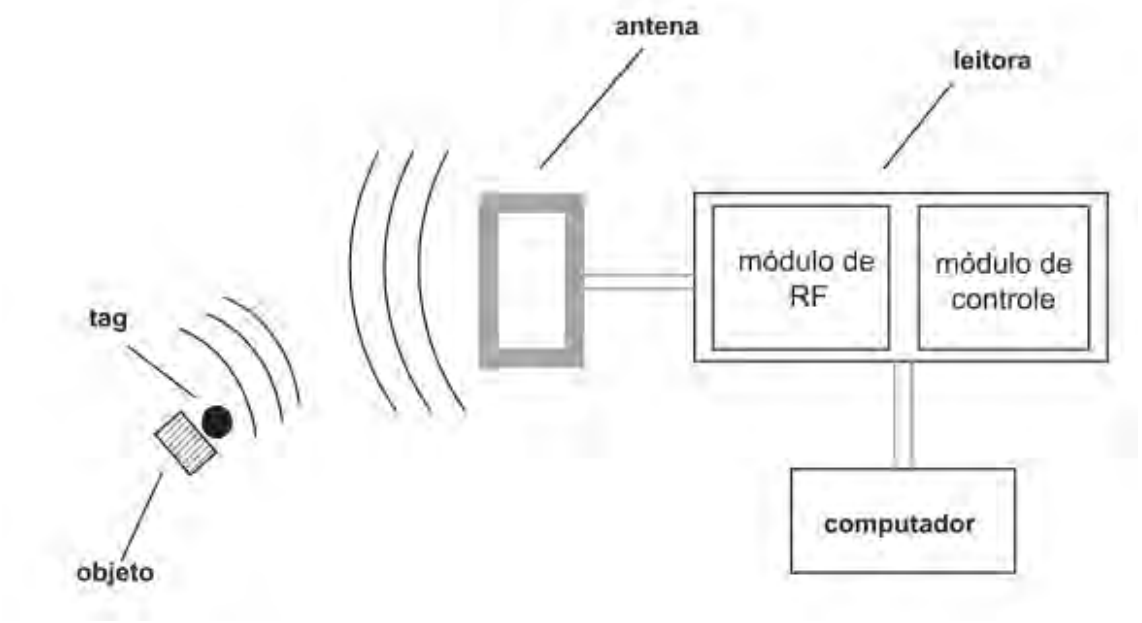


Figura 2 - Funcionamento de um sistema RFID (Radio Frequency IDentification). Fonte: Gutierrez, Filha e Neves (2005).

A Figura 3 permite uma visualização da integração Hardware e Software, por meio da interação do sistema de coleta (sem fio) com o software de gerenciamento de dados, em que são feitas a captura de dados e a comunicação. No caso do RFID (Radio Frequency IDentification), conforme Figura 2, o tratamento da informação se dá por meio de um mediador de informações, que irá tratar o dado, para que o sistema de gestão final entenda completamente todas as informações coletadas.

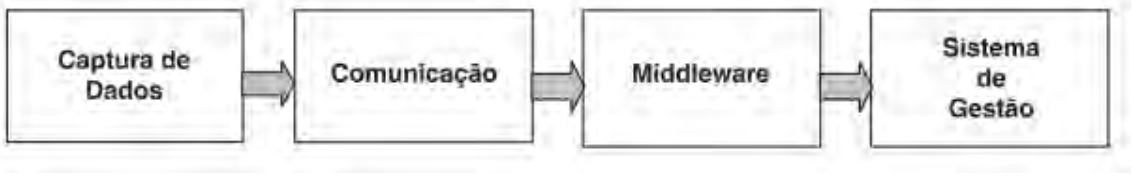


Figura 3 – Integração do sistema RFID ao sistema de gestão. Fonte: Gutierrez, Filha e Neves (2005).

Assim, um sistema RFID funciona como um sistema de aquisição de dados em tempo real e processado juntamente com um sistema de informação.

De acordo com Wang, Zhang e Wang, (2006), os obstáculos encontrados no desenvolvimento de sensores sem fio são:

- A padronização ainda não está completa;

- Os usuários iniciais ainda estão ajustando os problemas, e vários usuários em potencial estão aguardando provas de um uso seguro e de sucesso;
- Os dados maciços gerados por sensores sem fio têm o potencial de sobrecarregar, enquanto fornecem valores limitados, a menos que a estrutura e o processo estejam no lugar para tirar proveito de todo o seu potencial;
- A infraestrutura de TI (Tecnologia da Informação) existente, predominantemente estruturas de comunicação com fio, simplesmente não foram projetadas para insumos penetrantes e requerem uma revisão significativa;
- A compatibilidade com sistemas legados não é abordada, de modo que muitos sistemas existentes impedem a adoção de produtos sem fio. A adoção completa pode exigir a abolição da infraestrutura existente, com fio, e mudanças no status quo. Uma vez implementada, a flexibilidade da infraestrutura pode ser restringida;
- As questões de segurança precisam ser resolvidas, a crise de segurança WLAN pode servir como um exemplo;
- Complexidade e alto custo para cobertura em grandes plantas impedem a adoção rápida;
- A fonte de alimentação é sempre uma grande preocupação para sistemas sem fio;
- A confiabilidade do sistema sem fio permanece não provada, além disso ele é considerado muito arriscado para o controle do processo;
- Falta de pessoal experiente para a solução de problemas.

Portanto, existe uma forte demanda de Tecnologia da Informação (TI) associada à tecnologia RFID, para processamento, armazenamento e análise dos dados recebidos, caracterizando, dessa forma, um Sistema de Informação de apoio à Zootecnia de Precisão (GUTIERREZ; FILHA; NEVES, 2005).

2.3.2. Protocolo ZigBee

O protocolo de comunicação ZigBee teve seu início de desenvolvimento em 2001, e seu nome tem origem do zigue-zague que as abelhas fazem à procura do mel nas flores. Esse movimento representa a forma de comunicação dessa tecnologia, desenvolvida pela ZigBee Alliance, que é uma aliança de diversas empresas de materiais, equipamentos e softwares (KUMAR; GUPTA, 2013).

ZigBee Alliance é um consórcio de empresas que buscam criar padrões inovadores, em que soluções customizadas são desenvolvidas para as necessidades do mercado (CANSADO, 2011).

Os fabricantes tinham que desenvolver sua própria tecnologia de comunicação ou adquirir licença para tecnologias de outros fabricantes antes da criação do padrão Zigbee, fazendo com que criações desse tipo de aplicação ficassem complexas e caras (JESUS, 2014).

O protocolo ZigBee fornece os padrões para que haja a interoperabilidade entre os equipamentos desenvolvidos por diferentes fabricantes.

Assim, a partir do padrão Zigbee, é aguardado que os sistemas se movam para comportamentos com base em padronização, possibilitando a troca de informações entre sensores de forma padronizada (SOUSA; LOPES, 2011).

As definições das camadas físicas e de acesso são de responsabilidade da norma IEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) 802.15.4 (MALAFAYA; TOMÁS; SOUSA, 2005), que evoluiu para se tornar o ZigBee como é conhecido hoje, tornando-se a melhor ferramenta tecnológica de RSSF pela sua padronização, baixo custo e fácil utilização (JESUS, 2014).

As principais vantagens de se utilizar ZigBee são: o suporte à grande quantidade de nós, o baixo custo, a bateria de alta duração, a baixa manutenção, além disso é fácil de desenvolver, seguro e usado mundialmente. Porém, com a tecnologia ZigBee, só é possível a troca de pequenos pacotes de dados e, seu alcance médio é de aproximadamente 70 metros, mas pode ser expansivo (WANG; ZHANG; WANG, 2006).

Existem três categorias de nós na tecnologia ZigBee: o coordenador, o roteador e o dispositivo terminal (KUMAR; GUPTA, 2013).

1) Coordenador: forma a base da rede e pode conectar-se com outras redes, há exatamente um coordenador por rede. Ele é responsável por iniciar a rede, selecionar os parâmetros dela, como o canal de frequência de rádio, e também pode armazenar as informações sobre a rede e senhas.
2) Roteador: age como nó intermediário, transmitindo dados de outros dispositivos. Pode se conectar a uma rede já existente e também aceitar conexões de outros dispositivos, sendo uma espécie de retransmissor para a rede.
3) Dispositivo terminal: pode ser de baixa potência ou alimentado por bateria. Pode coletar várias informações de sensores e fim de cursos mecânicos. Tem funções suficientes para se comunicar com outros tipos de nó (tanto com o coordenador, quando com o roteador) e não consegue retransmitir dados de outros dispositivos. Essa redução de funcionalidade é para a redução de custo.

Na Figura 4, também é possível verificar algumas topologias de redes que o padrão Zigbee aceita para seus nós.

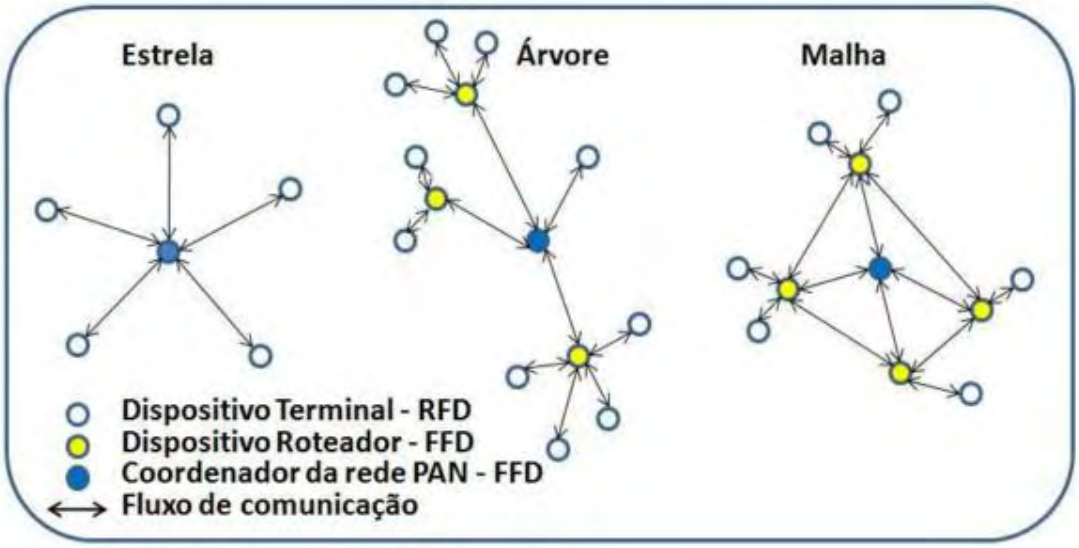


Figura 4 – Rede ZigBee. Fonte: Cansado (2011).

O nó coordenador e o roteador, definidos como FFD (Full Function Devices), são alimentados de acordo com a necessidade de comunicação da rede. No nó terminal, definido como RFD (Reduced Function Device), as tarefas são limitadas e

sem a possibilidade de retransmitir de outros dispositivos, porém ele pode ser alimentado de forma externa por bateria (VARCHOLA; DRUTAROVSKÝ, 2007).

É possível encontrar a utilização da tecnologia Zigbee em vários projetos das mais diversas áreas. Sankpal *et al*. (2016), desenvolveram um estudo para o uso do sistema Zigbee a fim de medir o consumo de energia a distância, além de verificar a capacidade de detectar o uso ilegal de eletricidade.

Somani e Patel (2012), identificaram que o uso do Zigbee é bem favorável aos projetos que necessitem de uma baixa velocidade de troca de informação, como monitoração e controle de estufas, sistemas de monitoração de vagas em estacionamentos de carros, monitoração da posição de mineradores, monitoração de ambientes em geral, automação residencial, medição de energia automática, sistemas de utilidades comerciais e residenciais, dispositivos de saúde humana, monitoramentos para esportes e exercícios, consumo de energia inteligente, monitoração de pacientes, substituição dos cabos nos automóveis etc.

2.3.3. GPS (Global Positioning System)

Os sistemas de navegação por inércia progrediram a partir dos dispositivos eletromecânicos, que guiaram os primeiros foguetes V-2 (Figura 5), para os atuais dispositivos de estado sólido, que estão em muitos veículos modernos (SCHMIDT, 2010).

O ímpeto para esse progresso significativo veio durante os programas de mísseis balísticos da década de 1960, nos quais a necessidade de alta precisão em intervalos de milhares de quilômetros, usando sistemas de navegação autônomos, era aparente (SCHMIDT, 2010).

Figura 5 – Foguete V-2. Fonte: (SCHMIDT, 2010).

Por "autônomo" entende-se que não são necessários sinais artificiais de fora do veículo para efetuar a navegação. Se não forem necessários sinais externos feitos pelo homem, então um inimigo não pode bloqueá-los. Um dos primeiros líderes na navegação inercial foi o Laboratório de Instrumentação do Instituto de Tecnologia do Massachusetts (MIT), que foi solicitado pela Força Aérea dos Estados Unidos da América para desenvolver sistemas inerciais para os mísseis Thor e Titan, bem como pela Marinha para desenvolver um sistema inercial para o míssil Polaris (SCHMIDT, 2010).

Essa solicitação foi feita, depois que o Laboratório havia demonstrado, em 1953, a viabilidade de navegação autônoma para aeronaves em uma série de testes em voos com um sistema chamado SPIRE (Figura 6). Esse sistema tinha cinco metros de diâmetro e pesava 2700 libras. O sucesso notável daqueles programas adiantados conduziu à aplicações mais atuais nas aeronaves, nos navios, nos mísseis, e nas naves espaciais, tanto que os sistemas inerciais são agora equipamento quase padrão em aplicações militares e civis da navegação (SCHMIDT, 2010).

Figura 6 – Sistema SPIRE. Fonte: (SCHMIDT, 2010).

Depois de vários anos de desenvolvimentos, projetos, testes e investigações, o GPS ultrapassou todas as expectativas imagináveis, inicialmente era apenas para fins militares, hoje é utilizado nas mais diversas áreas pelo mundo, como agricultura, aviação, topografia, etc. (CARVALHO, *et al*. 2014).

O GPS é composto por três segmentos: o segmento espacial, o segmento de controle e o segmento dos usuários. O espacial é composto por satélites artificiais, que emitem sinais eletromagnéticos; o de controle é composto pelas estações na terra, que mantêm o satélite funcionando; e o segmento dos usuários é composto pelos receptores, que captam os sinais enviados pelos satélites e calculam a posição (PAZ; FERREIRA; CUGNASCA, 1998).

Como método de posicionamento, o GPS determina a posição do objeto desejado baseado no cálculo do tempo e distância que o sinal do satélite demora para comunicar-se com o sensor (HUHTALA *et al*. 2007), basicamente o receptor mede o intervalo de tempo decorrido entre o envio do sinal pelo satélite e sua efetiva recepção, ou seja, mede o tempo necessário para o sinal percorrer esse trajeto entre satélite e receptor. Calculando o tempo com a velocidade do sinal, obtém-se a distância ao satélite (PAZ; FERREIRA; CUGNASCA, 1998).

A precisão para o resultado da posição depende da precisão das posições dos satélites. Podem ocorrer erros na determinação da posição, caso ocorra desvio

de órbita do satélite, desvios dos relógios dos satélites, variação da velocidade dos sinais quando atravessam a atmosfera ou até múltiplas reflexões que o sinal pode sofrer, em obstáculos próximos ao receptor. Tais fatores trazem um erro na casa de dezenas de metros para o resultado, porém todos os receptores têm um função chamada de diferencial que ameniza esses erros, sendo que cada GPS tem sua função diferencial dedicada, fazendo com que cada GPS tenha sua faixa de erro de acordo com o fabricante do receptor (PAZ; FERREIRA; CUGNASCA, 1998).

Assim, para cada aplicação deve-se estudar e identificar o melhor equipamento para cada finalidade.

3. MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia empregada no desenvolvimento deste trabalho foi dividida em duas vertentes. A primeira envolveu o desenvolvimento de sistema composto de hardware e software baseado na tecnologia Zigbee, para coleta de dados dos animais a distância e em tempo real, já a segunda consistiu na implementação de um software de geolocalização para aplicativo Android, que possibilitou a reutilização de aparelhos celulares destinados a descarte por obsolescência.

Esses aparelhos foram utilizados como um hardware acoplado aos animais, a fim de coletar e armazenar os dados referentes aos seus descolamentos em um cartão de memória, para posterior processamento e visualização dos animais.

Foi desenvolvido, também, um software de monitoramento que permite a visualização espacial dos animais, ou seja, a geolocalização e análise do deslocamento dos animais em tempo real, a partir dos dados coletados pelo sistema construído (primeira vertente), porém tal software também pode ser utilizado para lançamento dos dados obtidos pelos celulares, para execução das análises dos dados (segunda vertente).

3.1. Desenvolvimento do sistema dedicado de monitoramento baseado em Tecnologia Zigbee

Este sistema consiste de dois tipos de dispositivo: um nó sensor Zigbee móvel com GPS e uma estação base.

O nó sensor móvel é o que será fixado ao animal, executará a coleta das informações desejadas, como sua localização com o módulo GPS, e as enviará para a estação base em tempo real, através da comunicação sem fio, utilizando a tecnologia Zigbee.

A estação base é uma placa de comunicação Zigbee e USB (Universal Serial Bus), que é conectada a um computador pela porta USB e receberá os dados enviados pelo nó sensor móvel, e irá transmitir em tempo real, as informações coletadas pelo sensor móvel ao computador.

3.1.1. Nó sensor ZigBee móvel com GPS

Esse dispositivo foi projetado para capturar a posição geográfica de um bovino, por meio de um módulo GPS acoplado, e transmiti-la à estação rádio base.

Para a fabricação do nó sensor, foi preciso não só projetar um circuito impresso, desenvolvendo a Placa de Circuito Impresso (PCI), onde foram fixados todos os componentes, de acordo com o projeto e o layout, como microcontrolador, módulo GPS, módulo ZigBee e bateria, como também programar o microcontrolador para execução da função desejada.

O projeto, o desenho do esquema elétrico e o layout da PCI do dispositivo foram realizados utilizando a ferramenta Proteus 8, o layout desenvolvido foi processado no software LPKF - Circuit Pro V.1.4.315.0 (LPKF, 2016a) e finalmente foi transferido para a placa de fibra de vidro cobreada de face dupla, com 0,35µm de camada de cobre, utilizando o equipamento LPKF - ProtoMat E33 (LPKF, 2016b) (Figura 7).

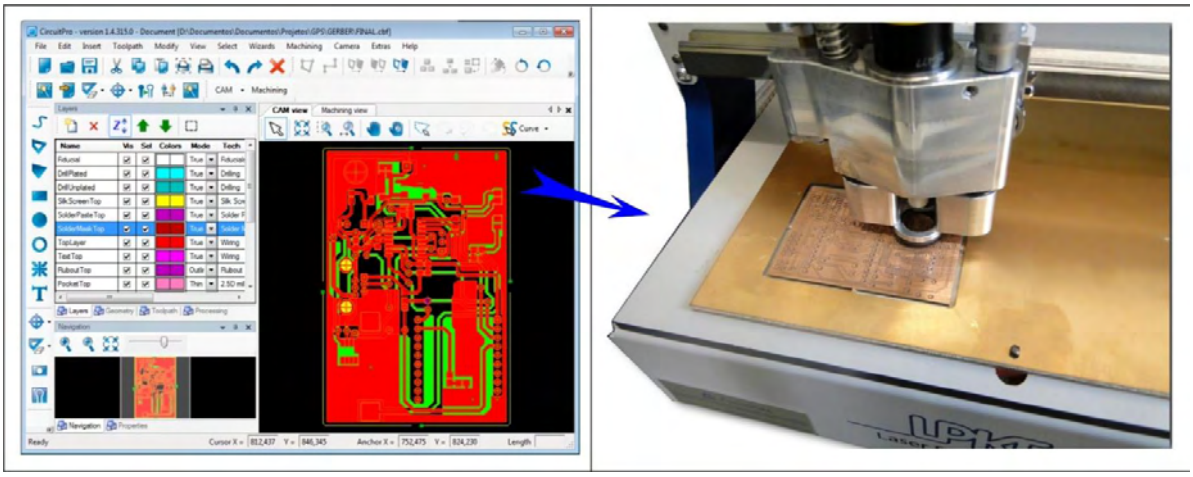


Figura 7 – Fabricação das placas de circuito impresso do nó sensor. Fonte: Propria autoria.

A Figura 8 mostra o circuito elétrico projetado para o nó sensor embarcado, onde é possível verificar a ligação elétrica entre cada componente e os componentes idealizados no projeto.

Na Figura 8, é possível verificar que o projeto conta com um módulo GPS para e leitura da posição espacial do animal, o módulo Zigbee para a comunicação

sem fio, a alimentação por meio de bateria 9 V e o microcontrolador, que executará o controle e funcionamento de todo o sistema.

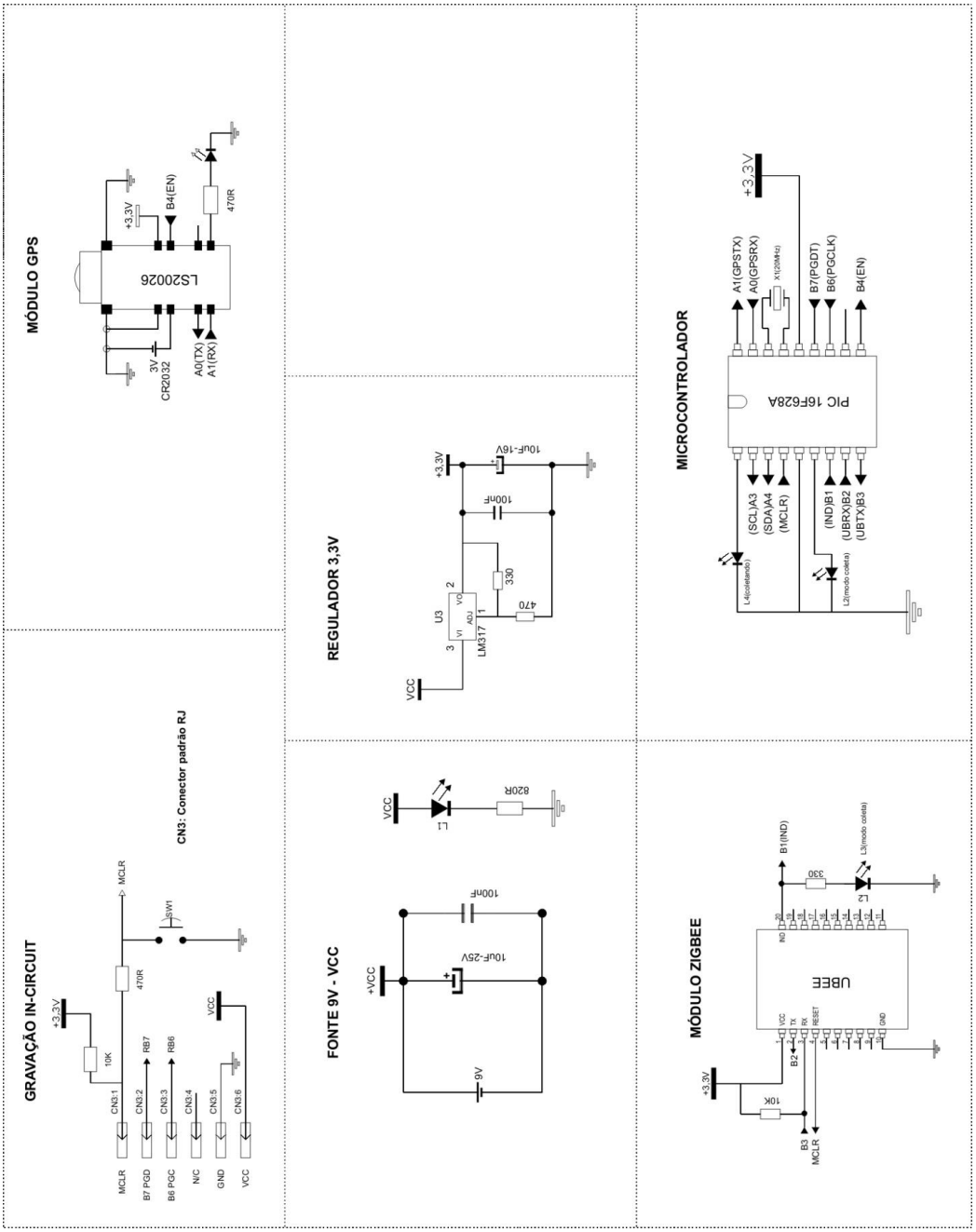


Figura 8 – Esquema elétrico do nó sensor móvel com GPS e sensor termohigrômetro. Fonte: Própria autoria.

Para o esquema elétrico, também foi construído um diagrama de blocos do nó sensor móvel (Figura 9), em que se pode verificar o esquema de funcionamento do equipamento, bem como o PIC (Programmable Interface Controller), executando todo o funcionamento da placa que receberá as leituras do módulo GPS e do sensor

termohidrometro, e, finalmente, a placa Ubee, responsável por transmitir os dados para a estação base.

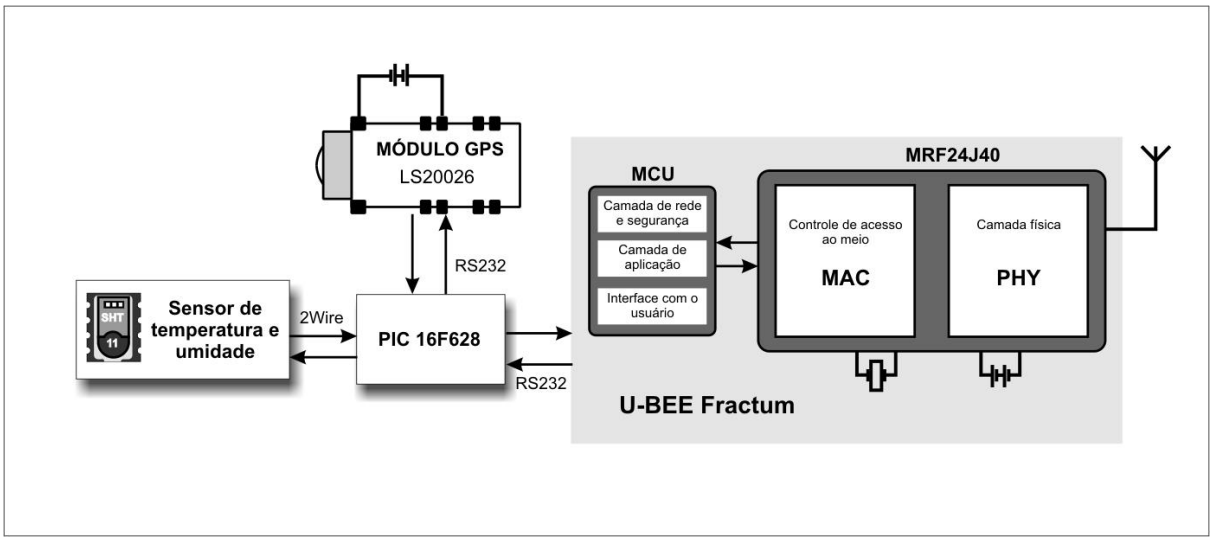


Figura 9 – Diagrama de blocos do nó sensor móvel. Fonte: Própria autoria.

O firmware para os microcontroladores dos dispositivos foi desenvolvido utilizando o ambiente MPLAB da Microchip® (MICROCHIP, 2016) e o compilador PICC - PCW da CCS® (CCS, 2016). As etapas que envolvem o desenvolvimento de uma aplicação nesse ambiente são as mostradas na Figura 10.

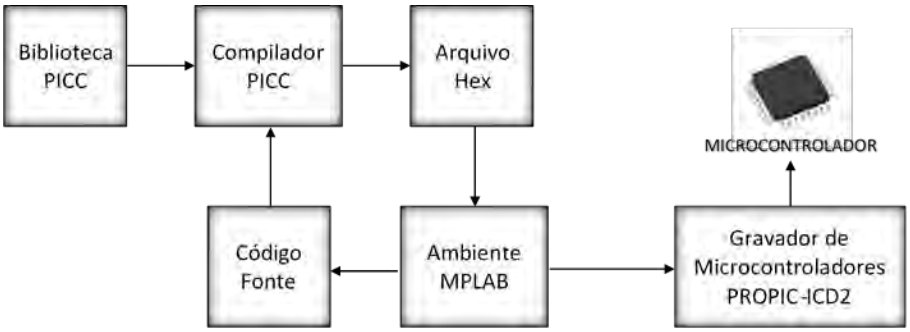


Figura 10 – Ambiente de desenvolvimento do firmware. Fonte: Própria autoria.

Foi escolhido o módulo GPS LocoSys LS20026 (LOCOSYS, 2016) pelo seu tamanho e preço reduzidos, sua precisão é de até 10 metros de erro. Na Figura 11,

é possível verificar o seu tamanho sendo medido por um paquímetro digital de escala em milímetros.

Figura 11 – Módulo GPS. Fonte: LOCOSYS, 2016.

Como unidade de controle, foi utilizado um microcontrolador PIC16F628 de 8 bits, baseado em flash, tendo 25 instruções com velocidade de operação de 200ns, baixo consumo, 16 pinos de interface, entre outras vantagens (MICROCHIP, 2016).

Figura 12 – Microcontrolador PIC16F628. Fonte: MICROSHIP, 2017.

A Figura 13 mostra o fluxograma do firmware desenvolvido para o microcontrolador.

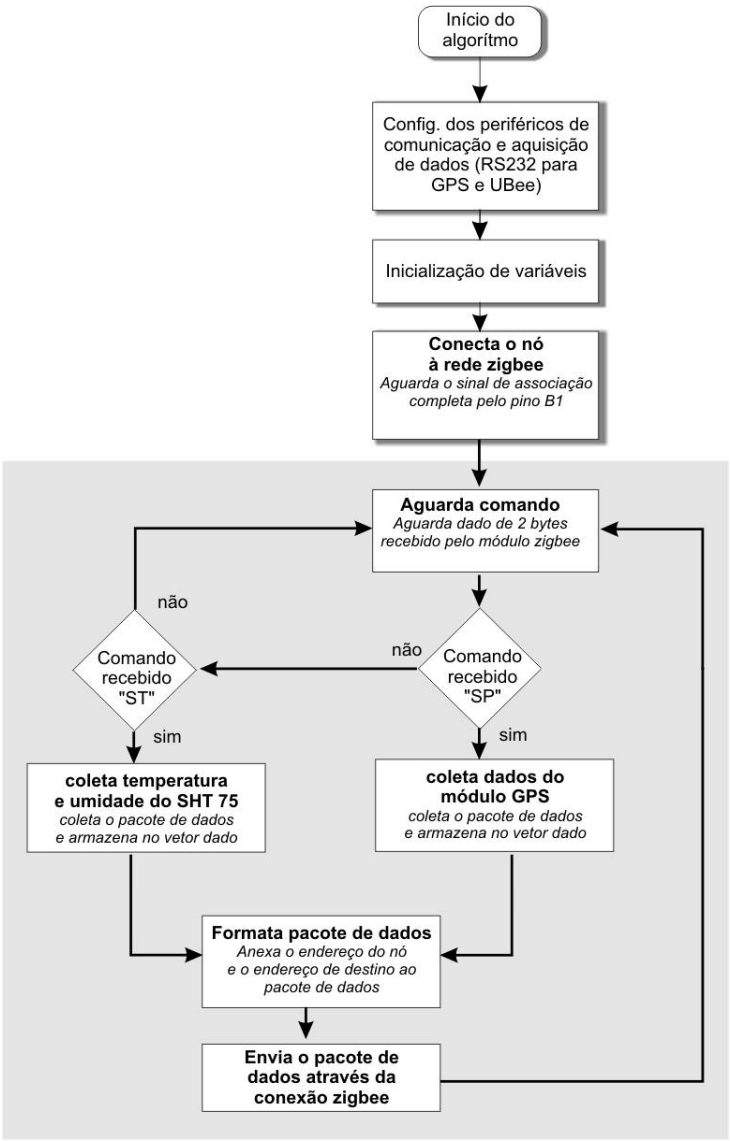


Figura 13 – Diagrama de fluxo do software embarcado. Fonte: ARCE, 2008.

Para implementar a rede Zigbee, foram utilizados os módulos UBee da Fractum, devido ao seu baixo custo, baixo consumo de energia e troca de informações de forma segura. O equipamento trabalha na banda de frequência de 2,4 GHz (FRACTUM, 2016a) (Figura 14).

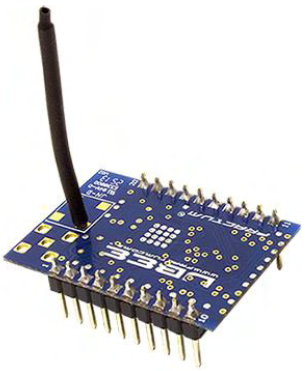


Figura 14 – Módulo wireless Ubee Fractum. Fonte: FRACTUM, 2017.

3.1.2. Estação base

A Figura 15 mostra o diagrama de blocos do nó coordenador. Foi utilizado o módulo Zigbee UBee da Fractum (Figura 15) e o adaptador USBee (Figura 16) (FRACTUM, 2016b), para conectar o módulo a um computador. Com essa configuração foi possível efetuar a configuração dos nós da rede e a atualização do firmware dos módulos UBee.

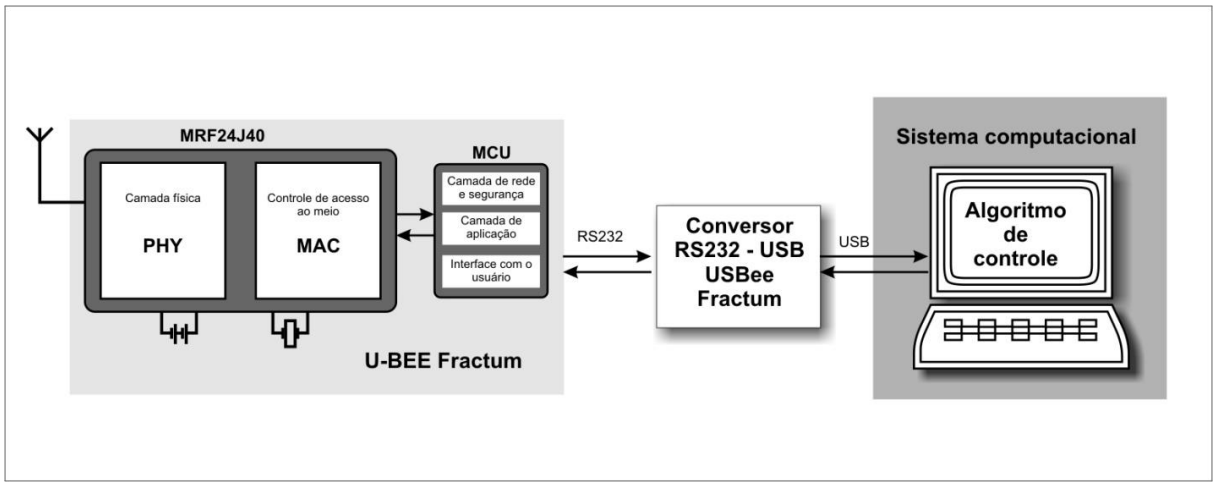


Figura 15 – Diagrama de blocos do nó coordenador. Fonte: ARCE, 2008.

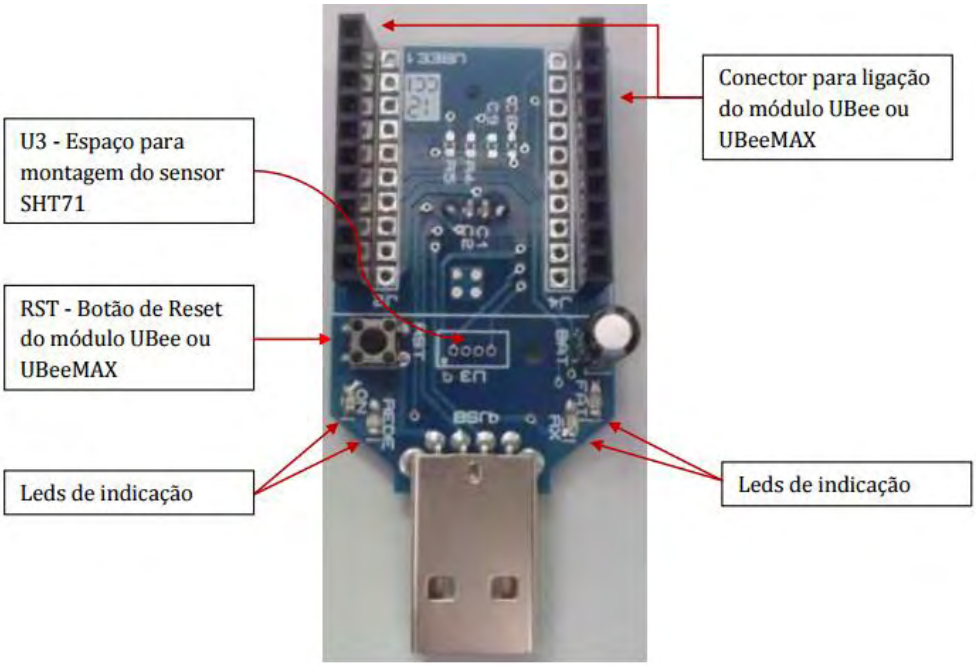


Figura 16 – Imagem do USBee da Fractum. Fonte: FRACTUM, 2016b.

3.1.3. Ensaio de consumo de energia

O consumo de energia característico dos nós móveis pode ser considerado em três partes: o consumo do módulo GPS, o consumo do processamento digital e o consumo do módulo Zigbee.

O módulo de GPS LS20026 tem um consumo aproximado de 31 a 49 mA, quando está em operação (pino enable em nível alto) (LOCOSYS, 2016). A dissipação de energia nesse módulo é relativamente constante, enquanto está em operação, qualquer melhoria destinada a incrementar a eficiência na utilização da energia depende, portanto, da diminuição do tempo em atividade desse módulo.

Circuitos de processamento digital foram usados para promover o processamento dos dados coletados e implementar o protocolo de comunicação. A energia consumida pelos circuitos digitais se dá em forma de dissipação dinâmica e estática no microcontrolador utilizado e seus componentes em anexo (resistores, leds e capacitores). O fluxo de corrente para terra (leakage current) causa a dissipação estática e foi descrita por Min *et al*. (2002).

O equipamento desenvolvido reduz as perdas de energia com o gerenciamento da alimentação nos componentes, que não precisam fazer trabalhos contínuos.

O consumo de energia do módulo Zigbee se dá em forma de dissipação estática nos componentes analógicos, digitais e na energia eletromagnética irradiada. O módulo consome, aproximadamente, 30 mA no modo de recepção e até 300mA no modo de transmissão (FRACTUM, 2016a).

3.2. Desenvolvimento de software de geolocalização para a plataforma Android

O tempo de uso médio de um telefone celular é de três anos em países em desenvolvimento e de dois anos nos países desenvolvidos, em função dos avanços tecnológicos e da ampla demanda por novos modelos e estilos. Diante da constante evolução das tecnologias de telefonia móvel, e frente ao grande apelo comercial da área, existe hoje uma grande comoção por parte dos consumidores por novos lançamentos de celulares.

No entanto, a troca desenfreada de aparelhos celulares pode causar prejuízos tanto à saúde quanto ao meio ambiente, quando o descarte é realizado de forma inapropriada, uma vez que vários elementos químicos nocivos, tais como, o mercúrio, o cádmio e o chumbo, dentre outros, estão presentes nos celulares e seus componentes.

Nesse contexto, o reaproveitamento desses equipamentos, considerados obsoletos pelo consumidor comum, pode ajudar a minimizar o impacto que o descarte prematuro dessa tecnologia pode causar.

Grande parte dos telefones móveis destinados a descarte possui componentes de geolocalização embarcados, assim foi possível sua reutilização no escopo deste projeto, com o desenvolvimento de um software para a plataforma Android, presente na maioria deles.

O software foi desenvolvido, utilizando o ambiente App Inventor (MIT, 2017), que se caracteriza pelo estilo de programação por meio de blocos visuais.

3.3. Desenvolvimento do software de coleta e monitoramento

Para o desenvolvimento deste software, foi utilizado o ambiente Visual Studio 2015, da Microsoft, e a linguagem Visual Basic .Net.

O software de coleta foi modelado como um sistema multi-agentes composto por três agentes: o agente “comunicador”, o agente “interpretador” e o agente “documentador”. Além desses agentes, o software possui módulos acessórios que fornecem serviços de alto nível para os agentes.

O software foi estruturado em quatro camadas: camada de comunicação, camada de visualização, camada de análise de dados e camada de persistência.

A camada de comunicação possibilita a comunicação entre o software de coleta e os softwares embarcados, através da estação base acoplada à porta USB do computador. A camada de visualização implementa o controle GMap.Net de código aberto (GREATMAPS, 2016), para visualização dos dados coletados.

A análise da coerência dos dados recebidos (enviados pelos nós móveis GPS através do protocolo zigbee ou pelos dispositivos celulares através da internet) é realizada pela camada de análise de dados. A camada de persistência é responsável pelo armazenamento dos dados recebidos.

A Figura 17 mostra o diagrama de blocos do software coletor.

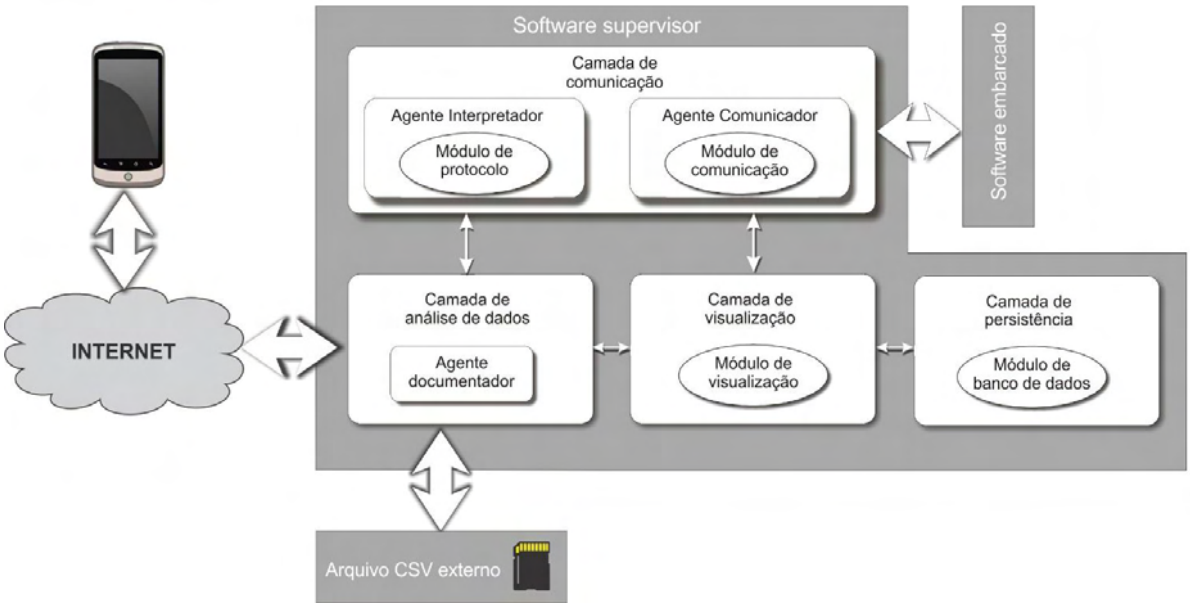


Figura 17 – Diagrama de blocos do software coletor. Fonte: Própria autoria.

O controle GMap.NET. é uma biblioteca que possibilita desenvolver programas de roteamento e geolocalização, utilizando os servidores de mapas: Google, Yahoo!, Bing, OpenStreetMap, ArcGIS, Pergo, SigPac, Yendux, Mapy.cz, Maps.lt, iKarte.lv, NearMap, OviMap, CloudMade, WikiMapia, MapQuest.

O controle GMap é composto por três tipos de objeto:

- O objeto ***Map Control***, responsável pela exibição do mapa;
- O objeto ***Overlay***, que contém referências e rotas sobrepostas ao mapa. Podem existir vários objetos overlay para o mesmo mapa.
- O objeto ***Markers***, que contém pontos que representam posições (latitude e longitude) específicas. No caso deste projeto, esse objeto foi utilizado para marcar as várias posições de um boi sendo monitorado.

A Figura 18 ilustra esses objetos e sua aplicação.

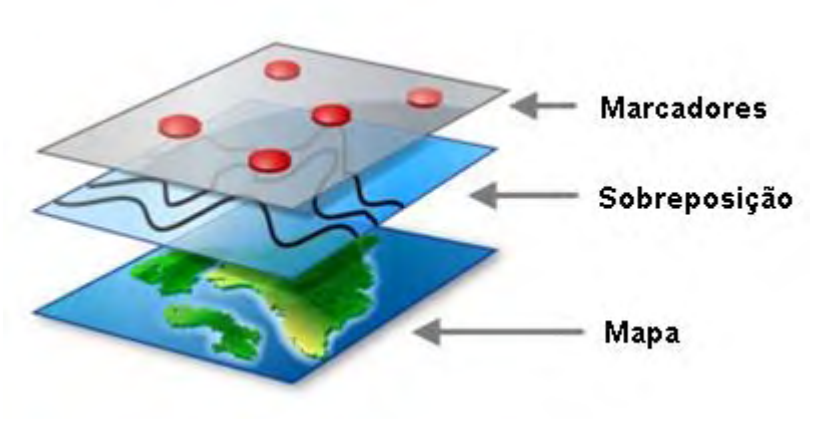


Figura 18 – Diagrama Projeto GMaps. Fonte: www.codeplex.com

Para o agente interpretador, foi desenvolvido um protocolo que padroniza os comandos enviados e respostas recebidas pelo software coletor. Trata-se de um pacote reduzido do protocolo NMEA (National Marine Electronics Association). A Tabela 1 mostra o protocolo de dados implementado.

Tabela de pacotes recebidos: **0009:GPGGA, 180110.387,2158,S,04726.4222,W,1,04**						
Dev. ID	PROTOCOLO	Hora UTC	Latitude	Longitude	Qlty	N° Sat.
0009	GPGGA	180110.387 18:01:10	2158.5658 S 21°58’56.58”S	04726.4222 W 47°26’42.22”W	1	04

Tabela 1 – Estrutura do pacote de dados. Fonte: Própria autoria.

Para gerenciar a rede zigbee, foi desenvolvida uma biblioteca de classe, utilizando o ambiente Visual Studio 2015. A Figura 19 mostra o diagrama Classe desenvolvida.

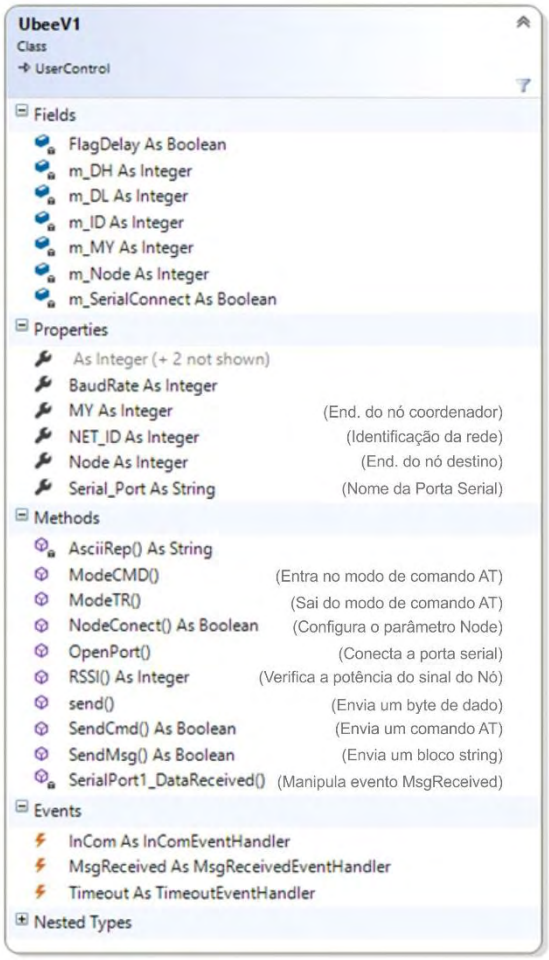


Figura 19 – Classe Ubee desenvolvida para gerenciar o nó coordenador. Fonte: Própria autoria.

3.4. Experimento a campo

O sistema foi testado por meio de dois experimentos principais e de vários intermediários, para testes e checagem dos equipamentos e dos módulos implementados.

O primeiro foi realizado em um piquete experimental de confinamento, localizado na Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA) nas coordenadas 21°57′18.8″S 47°27′06.5″W, nos meses de janeiro, março, maio e julho

de 2015, e nos meses de março, maio, agosto e outubro de 2016, em ambos os períodos (manhã e tarde).

A Figura 20 mostra a área utilizada para esse experimento. Foram utilizadas três novilhas da raça holandesa. Os equipamentos foram acondicionados, utilizando um cabresto, e os animais foram soltos no piquete experimental de dimensões 50 x 100 metros.

Figura 20 – Área utilizada para experimento. Fonte: Própria autoria

A Figura 21 mostra os animais, bem como o sistema de comunicação utilizado (estação base e nó sensor móvel).

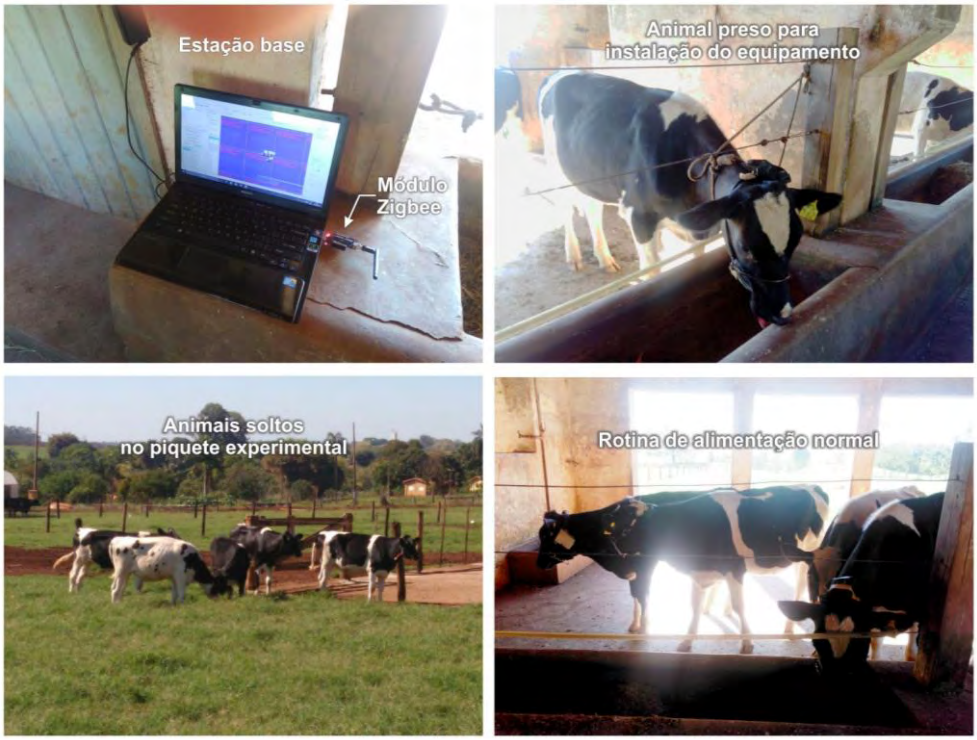


Figura 21 – Imagens durante o experimento. Fonte: Própria autoria

A Figura 21 mostra imagens dos animais durante o experimento, pode-se verificar o computador com o módulo estação base conectador para o recebimento das informações, também é possivel verificar as rotinas dos animais para o teste.

Para o segundo experimento, foi utilizado um piquete de criação extensiva localizado também na Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA) nas coordenadas 21°57'53.7"S 47°28'45.0"W, em uma área de aproximadamente 26,5Ha. A Figura 22 mostra a área utilizada para o ensaio, onde foram utilizados 15 animais bovinos da raça Nelore, sendo que o dispositivo foi acoplado a apenas 3 animais.

Os animais não passaram por nenhuma adaptação prévia com os equipamentos embarcados.

Figura 22 – Infraestrutura utilizada para o teste do sistema. Fonte: Própria autoria

Os equipamentos (celulares e nós Zigbee com sensor GPS) foram embarcados nos animais, utilizando cabrestos projetados para esse fim, providos de uma bolsa impermeável para conter o equipamento de geolocalização.

A Figura 23 mostra um dos animais com o equipamento embarcado.

Figura 23 – Fixação dos equipamentos aos animais através de cabresto. Fonte: Própria autoria

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Resultados

4.1.1. Nó sensor móvel com GPS

A Figura 24 ilustra o protótipo de sensor móvel desenvolvido, utilizando todo o processo e projeto descrito no tópico *Material e Métodos*. Tal protótipo foi fixado nos animais, para a coleta de suas posições em tempo real, e transmitiu as informações via protocolo ZigBee para o nó coordenador (estação base). Funcionou de acordo com o esperado, já que todas as informações foram enviadas para a estação base de acordo com a precisão do GPS escolhido.

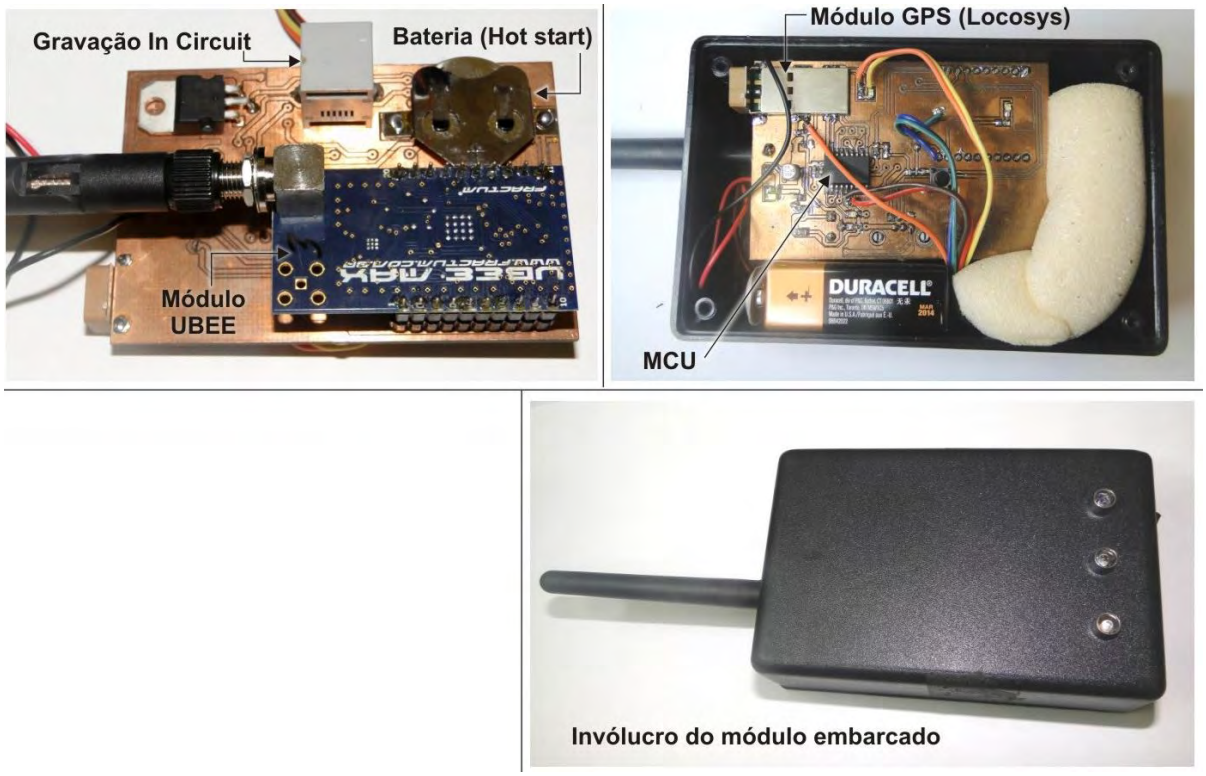


Figura 24 – Protótipo de nó sensor móvel. Fonte: Própria autoria

A Figura 25 mostra, de forma exemplificada, o funcionamento do software do nó sensor, o código fonte encontra-se no Anexo A.

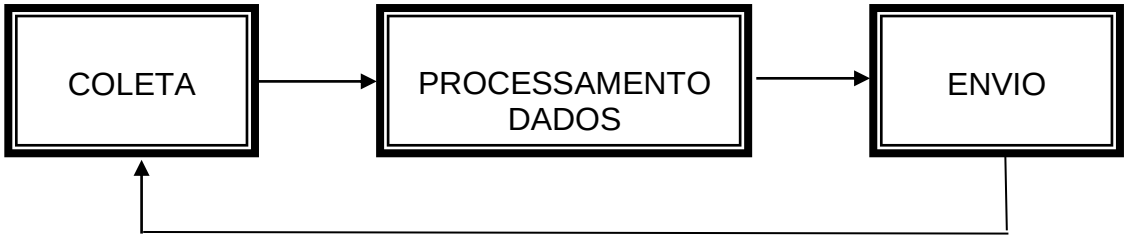


Figura 25 – Diagrama funcionamento software. Fonte: Própria autoria.

4.1.2. Nó coordenador (estação base)

A Figura 26 mostra o nó coordenador implementado, conectado a um computador, onde é processado o software de coleta e monitoramento, assim, cada informação recebida dos nós sensores é armazenada na base de dados do software em tempo real, podendo executar uma análise desses dados de forma imediata ou em momento posterior. O nó coordenador teve sua comunicação com o nó sensor dos animais, exemplificado na Figura 2.

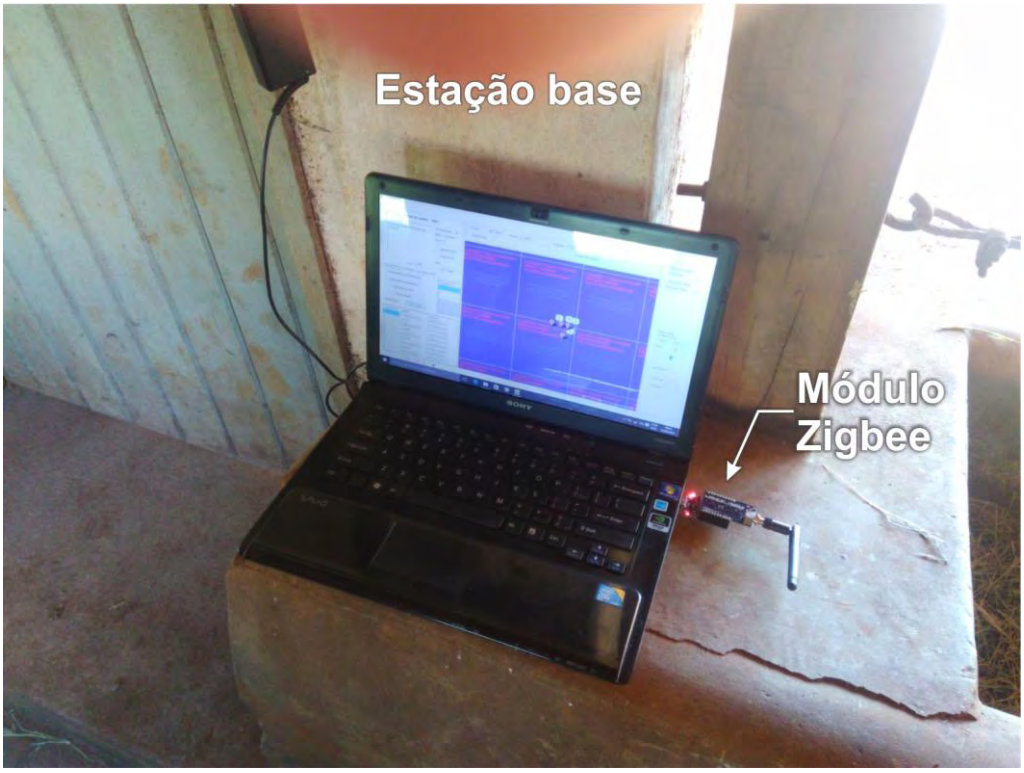


Figura 26 – Estação base. Fonte: Própria autoria

4.1.3. Bateria

Como a bateria é um componente importante nesse tipo de sistema, o seu consumo foi uma das grandes preocupações. Foram realizados testes com baterias de 9V alcalinas, não recarregáveis.

A Figura 27 mostra as curvas de descarga típicas das baterias de 9 V utilizadas.

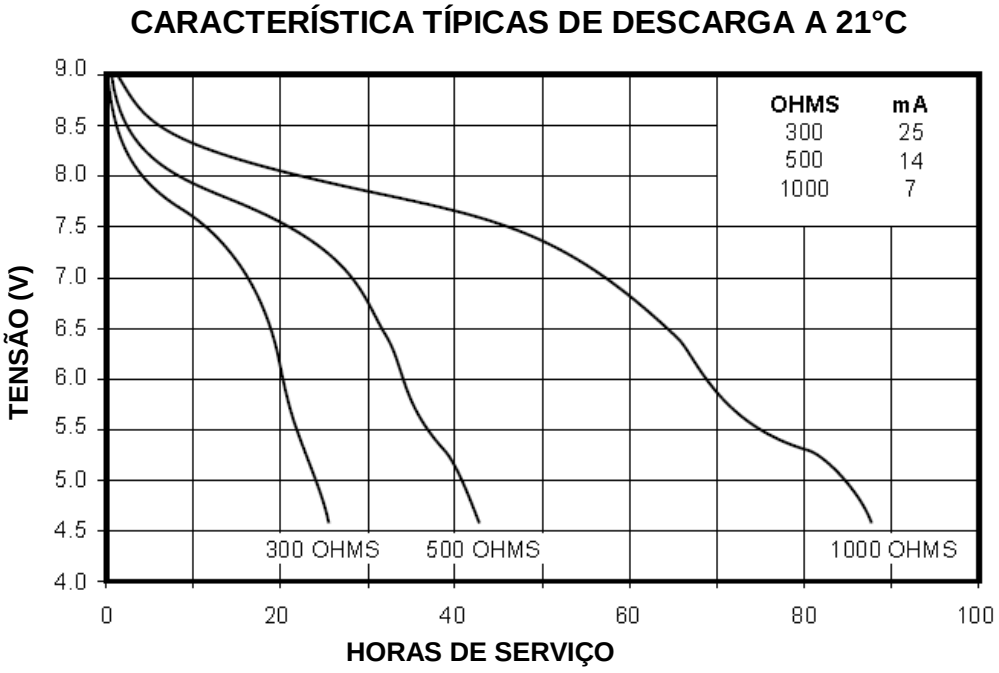


Figura 27 – Diagrama Curva de descarga da bateria alcalina de 9V utilizada Fonte: www.duracell.be/oem/pdf/MN1604_US_CT.pdf.

No caso da bateria de 9 V, pode-se estimar uma autonomia inferior a 25 h, para consumos superiores a 25 mA.

4.1.4. Testes de autonomia e desempenho

Foram efetuados testes em laboratório com os protótipos fabricados e a análise de desempenho ficou restrita aos nós móveis.

Para medir o consumo de energia dos nós, a corrente da bateria foi medida através da queda de tensão em um resistor de 1,0 Ω, em série com o circuito utilizando um osciloscópio digital.

Foram transmitidos 4 frames de 85 bytes de dados cada um, que demandou, aproximadamente, 1,7 ms de duração por frame. O tempo de acomodação do transmissor foi de 100 µs. A duração do intervalo de medida foi de 300s (Figura 28).

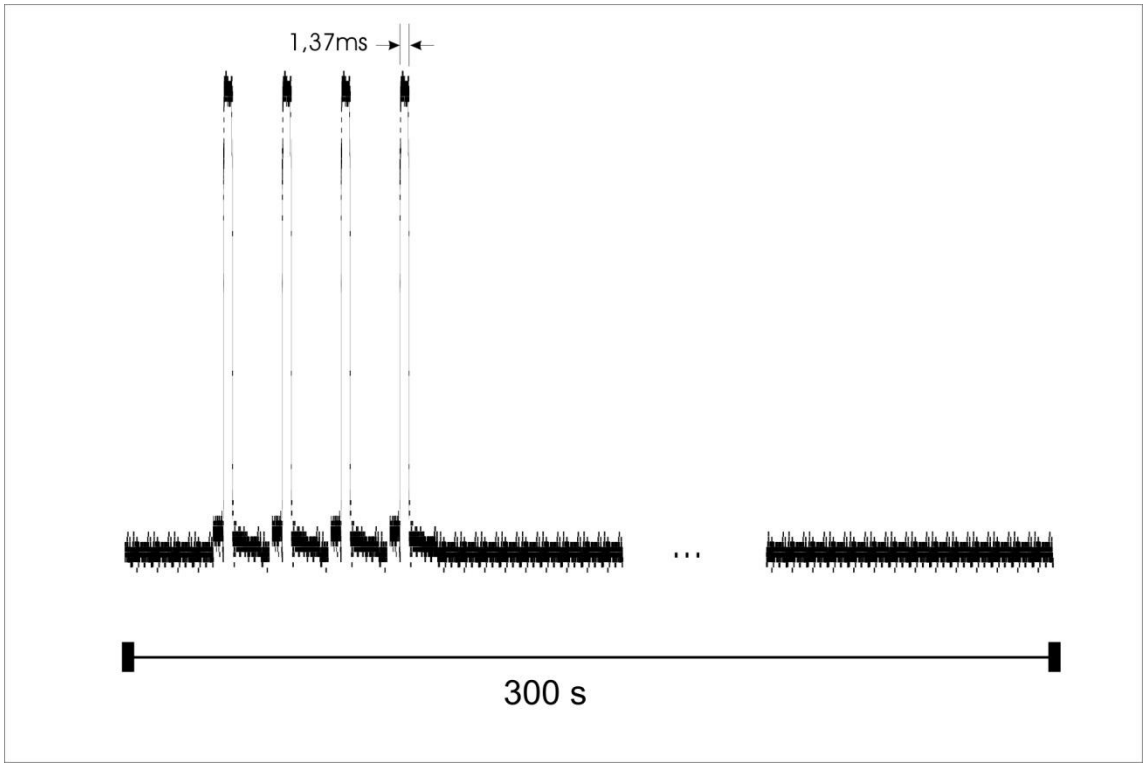


Figura 28 – Sinal coletado para o cálculo de autonomia. Fonte: Própria autoria.

4.2. Ensaio de consumo elétrico para determinação de autonomia

A Figura 29 mostra a corrente, medida a partir da queda de tensão no resistor de 1,0 Ω, relativa ao consumo do circuito durante a transmissão de um frame (pacote). A corrente média no intervalo de 300 s foi calculada por meio da Equação 1.

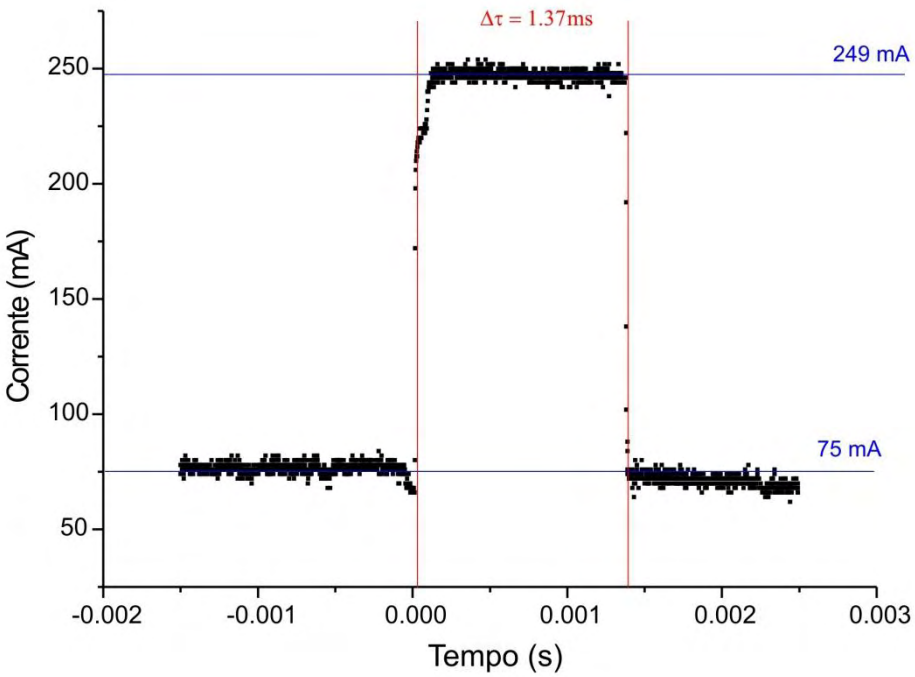


Figura 29 – Relativa ao consumo dos nós móveis durante a transmissão de um pacote. Fonte: Própria autoria

$$I_m = \frac{\sum I_i \cdot t_i}{t} = \frac{75\times10^{-3}A\times299{,}9986s + 249\times10^{-3}A\times1{,}37\times10^{-3}s}{300s} = 75{,}0mA \qquad (1)$$

Com a corrente calculada de 75,0 mA, pode-se estimar que o tempo de uso da bateria será inferior a 24 h conforme gráfico de descarga típica da Figura 27, em funcionamento continuo e coleta de dados em intervalos de 5 min.

4.3. Software de geolocalização para plataforma Android

O software em linguagem de programação visual do ambiente App Inventor (possível verificar o programa no Anexo B) foi desenvolvido para coletar dados de posicionamento global. O software é capaz de enviar o pacote de dados através de conexão 3G ou SMS (*Short Message Service*) para a estação base. Ao mesmo tempo, os dados são registrados em um arquivo local na memória auxiliar do cartão de memória do aparelho celular.

A Figura 30 mostra os frames do aplicativo desenvolvido: no lado esquerdo, é possível iniciar a coleta dos dados ou cadastramento do animal desejado e, no lado direito da mesma Figura, são plotadas as informações de localização do animal.

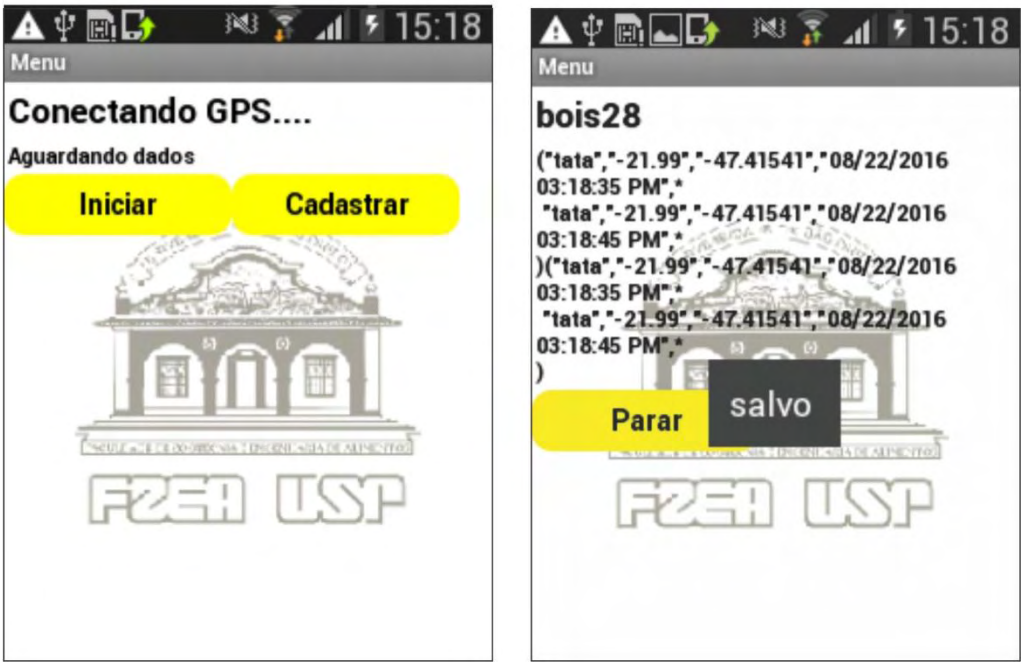


Figura 30 – Frames do software de coleta para plataforma Android. Fonte: Própria autoria

4.4. Software de coleta e monitoramento

A Figura 31 mostra a tela do software de monitoramento desenvolvido, esse software está instalado no computador, que está conectado com o nó coordenador, para a leitura em tempo real ou até para a leitura de dados gravados nos cartões de memória dos celulares.

Na Figura 31, é possível ver, na parte superior esquerda da tela, o gerenciador da rede, no qual são feitas a configuração e comunicação do software com o nó coordenador, no centro à esquerda, tem-se a lista de nós sensores disponíveis na rede, já, na parte inferior à esquerda, é possível verificar os dados coletados, ou seja, as posições dos animais em seu deslocamento, no centro do programa, foi inserida a imagem da área (Google Maps).

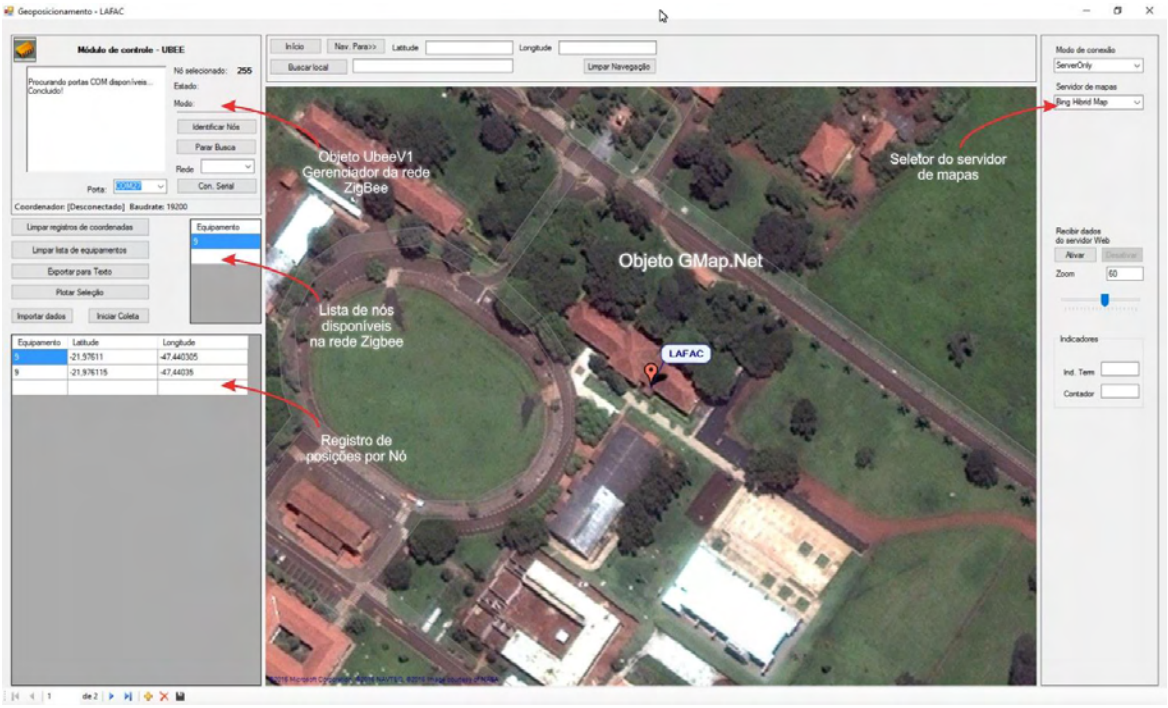


Figura 31 – Tela do software de coleta e monitoramento. Fonte: Própria autoria

4.5. Resultados dos experimentos a campo

As Figuras 32 e 33 mostram os dados coletados dos animais 4 e 9 respectivamente durante o primeiro experimento. Na tela do programa, é possível selecionar os nós sensores desejados e verificar, na imagem do satélite, todo o deslocamento do animal selecionado, assim como uma tabela com suas coordenadas. Com isso, é possível avaliar os dados e analisar o deslocamento do animal, verificando se ele está ruminando, em repouso ou se movimentando. Essas informações são muito importantes para o bom gerenciamento e controle do bem-estar animal.

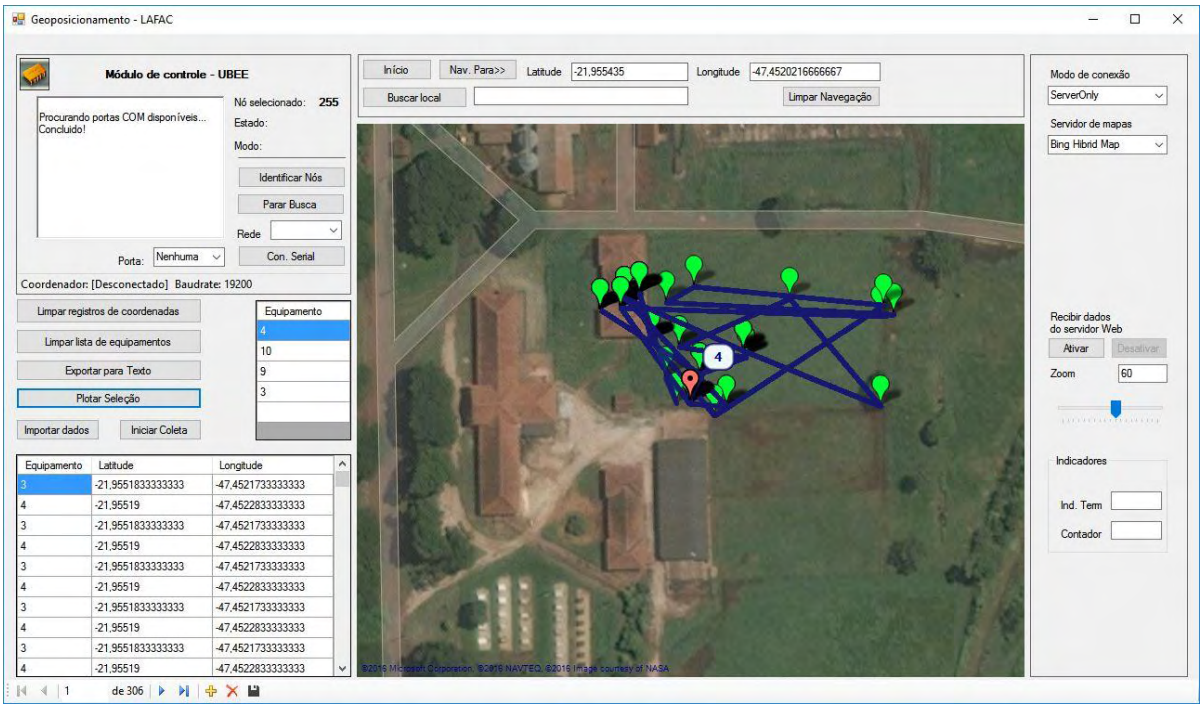


Figura 32 – Monitoramento do deslocamento do animal 4 durante o primeiro experimento.

Fonte: Própria autoria

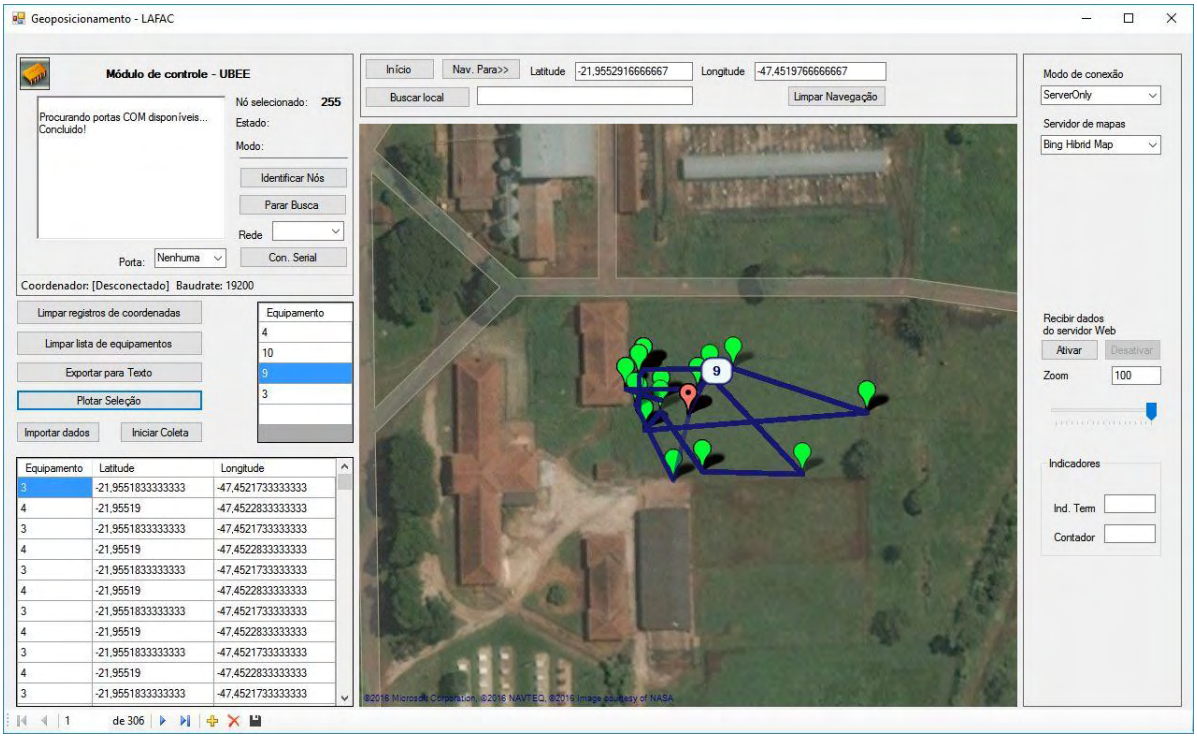


Figura 33 – Monitoramento do deslocamento do animal 9 durante o primeiro experimento.

Fonte: Própria autoria

A Figura 34 mostra os dados coletados do animal 3, durante o segundo experimento, em que foi utilizado o celular. Na tela do programa, pode-se verificar os

mesmos dados captados do experimento um, das Figuras 32 e 33, a única diferença é que os dados abaixo foram levantados após o retorno do animal, com seus dados gravados em cartão de memória, ou seja, não constitui uma análise em tempo real, mas é possível ter todas as informações desejadas do deslocamento do animal em monitoramento.

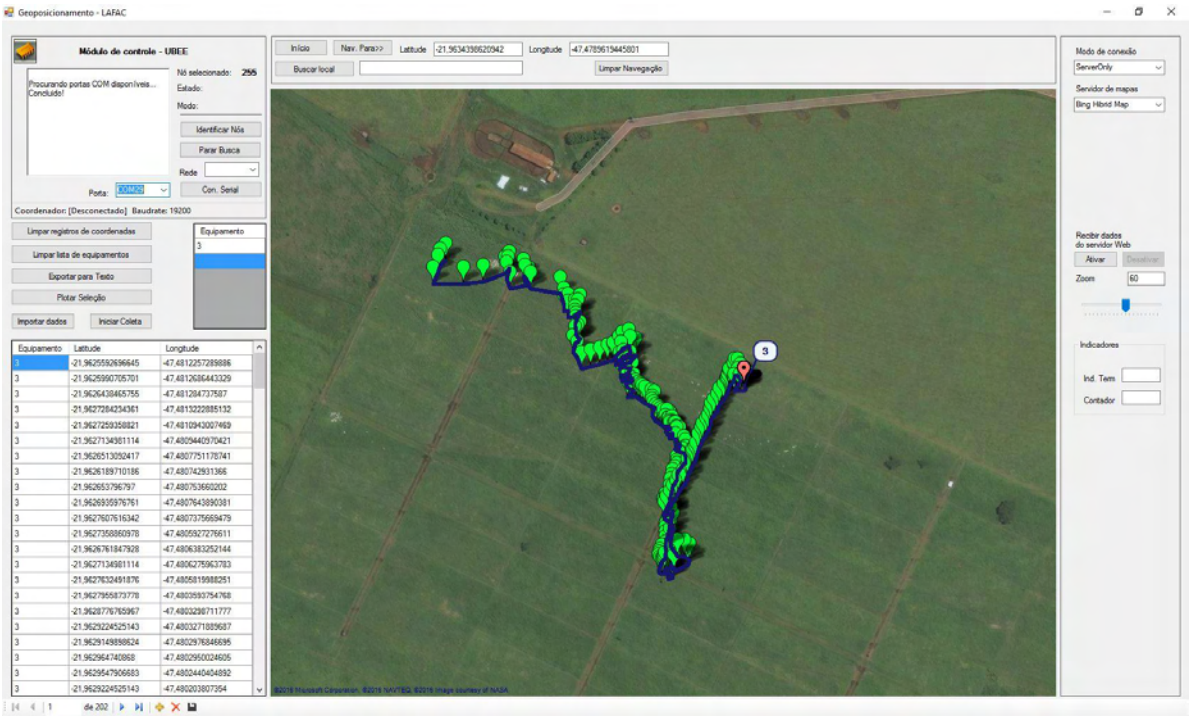


Figura 34 – Deslocamento do animal 3 equipado com o aparelho celular no segundo experimento. Fonte: Própria autoria

Assim, o gestor tem acesso a todo o deslocamento do animal ou rebanho, sendo possível acompanhar e analisar o seu comportamento, em relação a tempo de ruminação, de pastejo, de descanso entre outras informações que possam permitir a ele (gestor) interferir sofre o manejo, ou em relação a atividade que se esteja realizando.

Desta forma, o gestor passa a contar com mais uma ferramenta de gestão que lhe permitirá em tempo real o melhor controle sobre as suas atividades produtivas.

5. CONCLUSÕES

Utilizando a metodologia proposta, foi possível desenvolver a infraestrutura de hardware e software definida, foram criados os nós sensores móveis, o nó coordenado (estação base) e o aplicativo App Android para o uso em celulares e também em tablets.

Para atender plenamente ao objetivo de monitorar animais em campo, os dispositivos móveis devem ser otimizados a fim de reduzir o consumo de energia, para isso, estão sendo feitos estudos que possibilitarão diminuir o tempo de operação dos módulos que demandam maior consumo (Zigbee e GPS), empregando fontes de energia mais eficientes, como a substituição da bateria de 9 V por baterias de lítio, porém devem ser analisadas as viabilidades econômicas para tal procedimento, devido ao alto preço da bateria. Isso deve ser feito comparando e estudando a diferença de valores para os protótipos e para a produção em grande escala, uma vez que todo o desenvolvimento em laboratório tem o objetivo de suprir uma necessidade do mercado e, assim, transformar-se em uma produção de larga escala.

O sistema desenvolvido permitiu o monitoramento dos animais tanto no piquete de confinamento quanto na área de produção extensiva, com a diferença apenas de serem analisados em tempo real ou após o retorno deles. Os dados coletados podem ser utilizados para realizar estudos etológicos, uma vez que podem ser associados a dados climatológicos coletados por meio de estações meteorológicas locais, além de trazer grande poder de decisão sobre as atividades de gerenciamento realizadas pelo produtor ou gestor.

REFERÊNCIAS

ARCE, A. I. C. **Redes de sensores sem fio na coleta de dados fisiológicos de bovinos para aplicações na zootecnia de precisão**. 2008. 86 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2008.

ARCE, A. I. C.; TECH, A. R. B.; SILVA, A. C. S.; COSTA, E. J. X.. 2006. *Wireless sensor network for bovine herd monitoring.* ***Archivos de Zootecnia***, vol. 58, no. 222, p. 253-263, 2009.

ASADA, G.; BHATTI, I.; LIN, T.H; NATKUNANTHANAN, S.; NEWBERG, F., ROFOUGARAN, R.; SIPOS, A.; VALOFF, S.; POTTIE, G.J.; KAISER, W.J. ***Wireless Integrated Network Sensors (WINS)***. Proc. of SPIE, 3673, p. 11-18. (2000).

BANDEIRA FILHO, J. J. **Sistema de interconexão de equipamentos eletro/eletrônicos para Zootecnia de Precisão**. 2003. 48 f. Dissertação (mestrado) - Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

CANSADO, J. C. A. **Instrumentalização de Redes de Sensores Sem Fio**. 2011. 181 f. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais, São Paulo, 2011.

CARVALHO, P.C.F. et al. Do bocado ao pastoreio de precisão: Compreendendo a interface planta-animal para explorar a multi-funcionalidade das pastagens. 46ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, Maringá, 2009.

CARVALHO, A. R. *et al*. **Relatório Projeto FEUP Utilização do Espectro Eletromagnético " Vamos conhecer o sistema GPS ".** Portugal, Porto: FEUP, 2014. Relatório técnico da FEUP, 34.

CCS. Compiler Reference Manual July 2011. Disponível em: <http://www.ccsinfo.com/downloads/ccs_c_manual.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2016.

CORRÊA, U. *et al*. Redes Locais Sem Fio: Conceito e Aplicações. In: UPF. (Org.). 4a Escola Regional de Redes de Computadores. : , 2006, v. 1, p. 1-41.

COSTA, M. J. R. P. DA; SILVA, E. V. DA C. E. *Basic aspects of the social behaviour of cattle*. **Revista Brasileira Reprodução Animal**, Belo Horizonte, v. 31, n. 2, p. 172–176, abr./jun. 2007.

FERREIRA, G. A.; ZIECH, R. E.; GUIRRO, E. C. B. DO P. Bem-estar de bovinos leiteiros : revisão de literatura. **Veterinária em Foco**, Canoas, v. 10, n. 2, p. 195–209, jan./jun. 2013.

FRACTUM a. Módulo RF U-BEE Protocolo IEEE 802.15.4 REV 01. Disponível em: <http://www.fractumrf.com/manuais/UBEE_datasheet.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2016.

FRACTUM b. USBee – Plataforma USB para o módulo UBee. Disponível em: < http://www.fractumrf.com/ubee_documentos/USBee.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2016.

FRACTUM. Modulo Wireless Ubee. Disponível em: <http://www.fractumrf.com/moduloubee.html>. Acesso em: 05 fev. 2017.

GONSALVES NETO, J. *et al*. Comportamento social dos ruminantes. **Revista Eletrônica Nutrime**, v. 6, n. 4, p. 1039–1055, jul./ago. 2009. Disponivel em: < http://www.nutritime.com.br>. Acesso em: 26 de agosto de 2016.

GUTIERREZ, R. M. V.; FILHA, D. C. M.; NEVES, M. E. T. M. S..Complexo Eletrônico: Identificação digital por radiofreqüência. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 22, p. 29-70, set. 2005.

GREATMAPS. Documentation.GMap.Net.WidowsForms. Disponível em: < https://greatmaps.codeplex.com/wikipage?title=GMap.NET.WindowsForms&referringTitle=Documentation>. Acesso em: 23 ago. 2016.

HUHTALA, A. *et al*. *Evaluation of Instrumentation for Cow Positioning and Tracking Indoors.* ***Biosystems Engineering***, v. 96, n. 3, p. 399–405, 2007.

JESUS, L. DE. **Identificação do Comportamento Bovino por meio do Monitoramento Animal**. 2014. 106 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Computação, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2014

KROLOW, R. H. *et al*. Comportamento ingestivo de vacas leiteiras em pastagem de azevém alimentadas com diferentes fontes proteicas. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinaria e Zootecnia**, v. 66, n. 3, p. 845–852, 2014.

KUMAR, A.; GUPTA, S. *Study on ZIGBEE Technology.* ***International Journal of Engineering Sciences & Research Technology*.** v. 2, n. 10, p. 2733-2738, 2013.

LOCOSYS TECHNOLOGY (Taiwan). ***Datasheet of stand-alone GPS smart antenna module, LS20026*.** Disponível em: <http://www.tato.ind.br//files/LS20026_datasheet_v1.1.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2016.

LPKF Laser & Electronics AG (a). ***In-House Rapid PCB Prototyping Easy-to-Use, Accurate, Affordable: LPKF ProtoMat E34*.** Disponível em: < http://www.lpkf.com/_mediafiles/3866-brochure-lpkf-protomat-e34-44-en.pdf >. Acesso em: 25 ago. 2016.

LPKF Laser & Electronics AG (b). ***LPKF Circuit Pro -Software Suite for All Circuit Board Plotters of the E-, S- and D-Series*.** Disponível em: < http://www.lpkf.com/products/rapid-pcb-prototyping/software/circuitpro-pm.htm >. Acesso em: 25 ago. 2016.

MALAFAYA, H.; TOMÁS, L.; SOUSA, J. P. Sensoriação sem fios ZigBee e IEEE 802.15.4 In: Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Terceiras Jornadas de Engenharia de Eletrônica e Telecomunicações e de Computadores. Lisboa, Portugal, 2005.

MARQUES, J. D. A. *et al*. Comportamento de bovinos mestiços em confinamento com e sem acesso a sombra durante o periodo de verão. **Campo Digital**, Campo Mourão, v. 1, n. 1, p. 54–59, 2006.

MAYER, K.; ELLIS, K.; TAYLOR, K. *Cattle health monitoring using wireless sensor networks.* ***In: Second IASTED International Conference on Communication and Computer Networks*****.** Cambridge, Massachusetts, EUA, nov. 2004.

MICROCHIP. PIC16F62X Data Sheet. Disponível em: < http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/40300C.pdf >. Acesso em: 25 ago. 2016.

MICROCHIP . Produtos. Disponível em: < http://www.microchip.com/wwwproducts/en/PIC16F628 >. Acesso em: 05 fev. 2017.

MIN, R. *et al. Energy-centric enabling technologies for wireless sensor networks. IEEE Wireless Communications*. 9(4) p. 28-37, 2002.

MIT. Software App Inventor. Disponivel em : < http://appinventor.mit.edu/explore/about-us.html >. Acesso em: 05 fev. 2017.

NAAS, I. DE A. Agricultura de Precisão: Zootecnia de Precisão. **Agricultura de Precisão**. Viçosa, p. 43–63, 2000.

NAAS, I. DE. A. *Applications of Mechatronics to Animal Production.* ***Agricultural Engineering International***, v. IV, 2002.

PANDORFI, H.; ALMEIDA, G. L. P.; GUISELINI, C. Zootecnia de precisão princípios básicos e atualidades. **Rev. Bras. Saúde Prod. Anim.,** Salvador, v.13, n.2, p. 558–568, 2012.

PAZ, S. M.; FERREIRA, W.; CUGNASCA, C. E. Sistema de Posicionamento Global (GPS) e o Turismo. **Turismo em Análise.** São Paulo, v. 9, n. 2, 1998.

PEREIRA, P. R. R. X. *et al*. *Advantages and challenges for Brazilian export of frozen beef*. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 1, p. 200–209, 2011.

SANKPAL, S. *et al. Power Theft Detection through Zigbee.* ***International Journal of Engineering Science and Computing***. India, v. 6, n. 4, p. 3407–3409, 2016.

SCHMIDT, G. T. *INS / GPS Technology Trends.* ***North Atlantic Organization Science and Technology Organization***, Lexington, MA, EUA, v. 116, n. 2010, p. 1–16, 2010.

SENSIRION. **Datasheet SHT1x (SHT10, SHT11, SHT15) Humidity and Temperature Sensor**. Disponível em: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/91100/ETC/SHT11.html>. Acesso em: 25 ago. 2016.

SNOWDON, C. T. O significado da pesquisa em Comportamento Animal. **Estudos de Psicologia**. Wisconsin, EUA, v. 4, n. 2, p. 365–373, 1999.

SOMANI, N. A.; PATEL, Y. *Zigbee : a Low Power Wireless Technology for Industrial.* ***International Journal of Control Theory and Computer Modelling***, v. 2, n. 3, p. 27–33, 2012.

SOUSA, M.; LOPES, W. Desafios em Redes de Sensores sem Fio. **Revista de tecnologia da informação e comunicação**, Campina Grande, n. 1, p. 41–47, 2011.

TECH, A. R. B. **e-Science Zootécnico: Uma nova metodologia para difusão de dados e informações resultantes de experimentos na produção animal.** 137 f. Tese (Livre Docência) - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2013.

TECH, A. R. B. *et al.* Monitoramento de bovino utilizando rede de sensores sem fio. In: XXI CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOTECNIA - Inovações Tecnológicas e Mercado Consumidor, 2011, Maceió. **Anais...** Maceió, 2011.

TULLO, E.; FONTANA, I.; GUARINO, M. *Precision livestock farming: an overview of image and sound labelling, Department of Health, Animal Science and Food Safety, Università degli Sudi di Milano*, Milão, Itália, 2013.

VARCHOLA, M.; DRUTAROVSKÝ, M. *Zigbee Based Home Automation Wireless Sensor Network.* ***Acta Electrotechnica et Informatica***, v. 7, n. 4, p. 1–8, 2007.

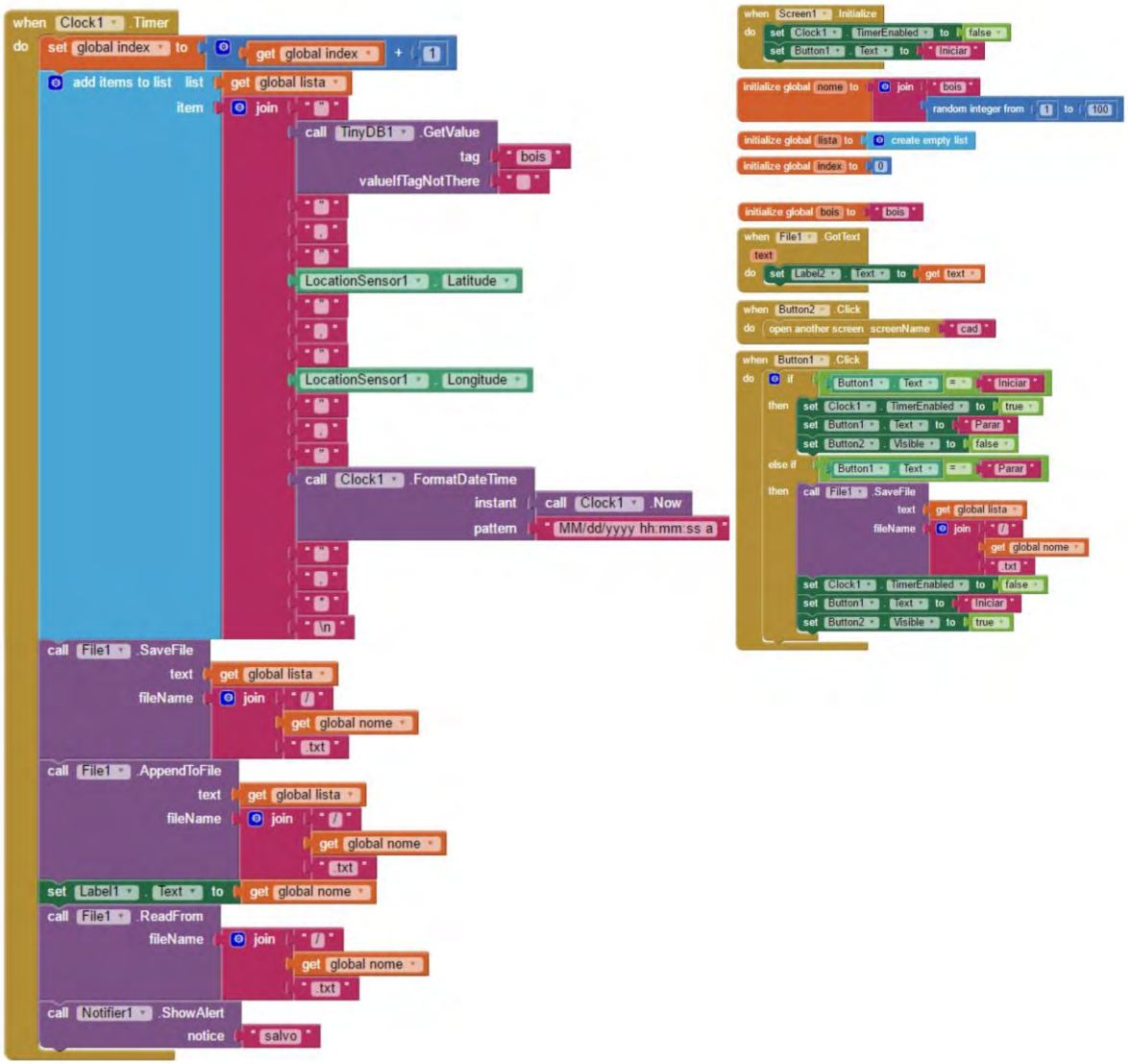
WANG, N.; ZHANG, N.; WANG, M. *Wireless sensors in agriculture and food industry - Recent development and future perspective.* ***Computers and Electronics in Agriculture***, v. 50, n. 1, p. 1–14, 2006.

ANEXO A

Software desenvolvido para o nó sensor móvel.

```
#include <16F628A.h>

#FUSES NOWDT            //Desabilita Watch Dog Timer
#FUSES INTRC_IO         //Clock interno RC Osc, sem CLKOUT
#FUSES PUT              //habilita Power Up Timer
#FUSES NOPROTECT        //Código desprotegido
#FUSES NOBROWNOUT       //Desabilita o Brownout
#FUSES MCLR             //Habilita o pino de reset
#FUSES NOLVP            //Desabilita a programação em baixa tensão
#FUSES NOCPD            //Desabilita a proteção de EE
#FUSES RESERVED

#use delay(clock=4000000) // Configura a frequência de clock
#use rs232(baud=9600,parity=N,xmit=PIN_A0,rcv=PIN_A1,bits=8,stream=GPS) // Porta serial para o GPS
#use rs232(baud=19200,parity=N,xmit=PIN_B1,rcv=PIN_B2,bits=8,stream=UBEE) // Porta serial para o
UBee

//*****************************************
//      VARIÁVEIS GLOBAIS
//*****************************************

char dado[80];
char My[5]={'0','0','0','6'};
boolean timeout_error;
long timeout;
/*****************************************/
/*      PROTÓTIPOS
/*****************************************/

void verifica_comando();
void envia_posicao();
char timed_getc();
char GPS_timed_getc();
void Le_GPS_Frame();
/*****************************************/
void main()
{

  setup_timer_0(RTCC_INTERNAL|RTCC_DIV_1);
  setup_timer_1(T1_DISABLED);
  setup_timer_2(T2_DISABLED,0,1);
  setup_comparator(NC_NC_NC_NC);
  setup_vref(FALSE);
  output_high(pin_B0);
  delay_ms(500);
  output_low(pin_B0);
  delay_ms(500);
  envia_posicao();
  delay_ms(1000);
  while (!input(pin_B3));
  delay_ms(500);

  output_high(pin_B0);
  delay_ms(500);
  output_low(pin_B0);
  delay_ms(500);
  delay_ms(1000);
  while (1)
  {
    verifica_comando();
  }


}
```

```
//////////////////
void Le_GPS_Frame()
{
    char Tag;
    int i=0;
    Tag=0;
    Tag=GPS_timed_getc();
    if(Tag=='$')
    {
   for (i=0;i<80;i++)
   {
            dado[i]=GPS_timed_getc();
                                    }
    }
}
/*******************************************/
void verifica_comando()
{
    char Tag;
    Tag=0;
    Tag=timed_getc();
    if(Tag=='S')
    {
        dado[0]=timed_getc();
        if (dado[0]=='P')
        {
            envia_posicao();//////////// Envia posição com redundância
            envia_posicao();
            envia_posicao();
            envia_posicao();
              break;
        }
    }
}
/*******************************************/
void envia_posicao()
{
    output_high(pin_B0);
    delay_ms(50);
    output_low(pin_B0);
    delay_ms(500);
    output_high(pin_b4);
    Le_GPS_Frame();
    fprintf(UBEE,"%s:%s",My,dado);
}
/*******************************************/
char timed_getc() {
   timeout_error=FALSE;
   timeout=0;
   while(!kbhit(UBEE)&&(++timeout<50000)) // 1/2
         delay_us(10);
   if(kbhit(UBEE))
         return(fgetc(UBEE));
   else {
         timeout_error=TRUE;
         return('0');
   }
}
/*******************************************/
char GPS_timed_getc() {
   timeout_error=FALSE;
   timeout=0;
   while(!kbhit(GPS)&&(++timeout<50000)) // 1/2
         delay_us(10);
   if(kbhit(GPS))
         return(fgetc(GPS));
   else {
         timeout_error=TRUE;
         return('0');
   }
}
```

ANEXO B

Software desenvolvido no App Inventor para celular.