



Universidade Federal do Amazonas  
Instituto de Ciências Exatas  
Departamento de Ciência da Computação  
Programa de Pós-Graduação em Informática

**Arquitetura para a integração entre Identificação por  
Rádio Freqüência e Rede de Sensores Sem Fio para  
rastreamento de animais**

Daniel Patrick Pereira

Manaus – Amazonas  
Abril de 2009

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Daniel Patrick Pereira

**Arquitetura para a integração entre Identificação por  
Rádio Freqüência e Rede de Sensores Sem Fio para  
rastreamento de animais**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Informática do Departamento de Ciência da Computação da Universidade Federal do Amazonas, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Informática. Área de concentração: Engenharia da Computação.

Orientador: Prof. Dr. Raimundo da Silva Barreto  
Co-orientador: Prof. Dr. Carlos Maurício S. Figueiredo

Daniel Patrick Pereira

**Arquitetura para a integração entre Identificação por  
Rádio Freqüência e Rede de Sensores Sem Fio para  
rastreamento de animais**

Banca Examinadora

Prof. Dr. Raimundo da Silva Barreto – Presidente e Orientador  
Departamento de Ciência da Computação – DCC/UFAM

Prof. Dr. Carlos Maurício S. Figueiredo – Co-orientador  
Fundação Centro de Análise, Pesquisa e Inovação Tecnológica - FUCAPI

Prof. Dr. Horácio Antonio Braga Fernandes de Oliveira  
Departamento de Ciência da Computação – DCC/UFAM

Prof. Dr. Edward David Moreno Ordonez  
Universidade do Estado do Amazonas – UEA

Manaus – Amazonas  
Abril de 2009

*Dedico este trabalho às principais pessoas da minha vida: minha mãe por ser uma pessoa dedicada e que sempre soube superar os desafios impostos pela vida, ao meu pai por ter me guiado nos momentos difíceis e a minha esposa, Michelle Tatiane de Oliveira Pereira, pela tolerância que encarou as minhas ausências e pelo incentivo a percorrer o caminho.*

# Agradecimentos

Agradeço primeiramente a DEUS pelo dom da vida que me concebeu, por ter iluminado o meu caminho durante todos esses anos e por colocar nele pessoas amigas e preciosas.

A minha FAMÍLIA, especialmente a minha esposa e companheira por ter estado do meu lado durante toda a trajetória desse trabalho. Às minhas irmãs, sobrinhas e parentes que, mesmo estando distantes, manifestavam apoio e carinho a cada desafio superado.

Aos meus avós paternos (José e Esmenia) e maternos (Everaldo e Marlene (in memoriam)).

Aos meus AMIGOS de Mestrado que compartilharam comigo esses momentos de aprendizado, especialmente ao Roger e Marcus.

Ao meu orientador Raimundo Barreto e co-orientador Maurício Figueiredo pelos conselhos, dedicação e incentivos prestados durante toda a execução do meu trabalho de mestrado.

Ao programa de pós-graduação em informática da UFAM pela oportunidade de realizar o mestrado, a todos os professores que fizeram parte desse caminho e pelos recursos fornecidos durante o curso.

Gostaria também de agradecer as alunas, Tayana Bacry e a Cristina Menezes, que me auxiliaram durante os experimentos práticos.

Enfim, a todos aqueles que de uma maneira ou de outra contribuíram para que este percurso pudesse ser concluído.

# Resumo

Nunca houve tanta discussão sobre a preservação do meio ambiente como nos dias atuais. O mundo tem percebido que se não houver uma conscientização por parte de todos, em breve estaremos sofrendo as conseqüências. A expansão rural, urbana e industrial tem desmatado florestas para a construção de condomínios, indústrias, áreas agrícolas e etc. Essa atitude tem cooperado para a extinção de animais, mudanças climáticas entre outros fatores. O conhecimento da fauna é imprescindível para conservação de recursos naturais, pois os animais participam ativamente da construção e manutenção dos ecossistemas. O monitoramento de animais não é algo novo. Atualmente existem diferentes tecnologias capazes de serem empregadas para o monitoramento de animais, como o uso de GPS (*Global Position System*), GPRS (*General Packet Radio Services*), imagem, telemetria entre outras. Cada qual, podendo ser empregada em ambientes específicos e com suas próprias restrições.

Portanto, esta dissertação de mestrado tem como objetivo propor um sistema de rastreamento e monitoramento de animais de baixo custo e manutenibilidade, que permita o usuário realizar a coleta dos dados sem estar presente no local monitorado e sem perda de informação quando ausente. As Redes de Sensores Sem Fio (RSSF) e a Identificação por Rádio Freqüência (RFID) são componentes importantes para a computação pervasiva e tem despertado desde então a comunidade científica. Através das RSSFs têm sido desenvolvido diferentes linhas de pesquisas e empregado em diferentes ambientes, como: segurança, vigilância e monitoramento de ambientes e etc. Ao mesmo tempo, aplicações industriais e comerciais têm demandado avanços na identificação de objetos, o qual resultou no surgimento da tecnologia RFID. Claramente a tecnologia RFID que inicialmente aplicada em ambientes internos, pode ser combinada em ambientes externos com as soluções das RSSFs para prover um avanço do sistema de monitoramento. Dessa maneira, propomos a integração entre as Rede de Sensores Sem Fio (RSSFs) e a Identificação por Rádio Freqüência (RFID) para monitorar e rastrear animais em seu habitat.

Palavras-chave: RFID, RSSF, Leitor RFID, Telemetria, rastreamento

# Abstract

Never before has there been so much discussion about preservation of the environment. Throughout the world, people have come to realize that if there is not a greater degree of awareness and responsibility, we will all soon be suffering the consequences. Industrial, urban and rural expansions have resulted in the deforestation of large areas to make way for housing, industries, and agricultural activities, which has contributed to the extinction of animal species, and climatic changes, among other things. Knowledge of the fauna is indispensable for the preservation of natural resources, as animals play an important role in the construction and maintenance of ecosystems. Monitoring of animals is nothing new. Currently there are various technologies, which can be used for the monitoring of animals, such as GPS (Global Position System), GPRS (General Packet Radio Services), images, telemetry, and others. Each one can be applied in specific environment and with their own limitations.

Therefore, the objective of this master's thesis is to propose a easy maintenance animal tracking and monitoring system, which will permit the user to gather data without being present in the place being monitored and without the loss of data. Wireless Sensor Network (WSN) and Radio Frequency Identification (RFID) are important components in a pervasive computing and have aroused interest in the scientific community. Scientific efforts have been applied to the development of WSN and their applications, such as monitoring, surveillance and security. At the same time, industrial and commercial applications have demanded advances in object identification, which resulted in the emergence of RFID technology. Clearly RFID technology, which was initially applied to indoor environments, can be combined with common outdoor WSN solutions to provide enhanced monitoring systems. Thus we propose the integration of RFID and Wireless Sensor Network for tracking and monitoring animals in their habitats.

**Keywords:** RFID, WSN, RFID Reader, Telemetry, tracking

# Índice

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
1.1	Contexto . . . . .	1
1.2	Descrição do Problema . . . . .	4
1.3	Objetivos . . . . .	5
1.4	Motivação . . . . .	5
1.5	Organização da Dissertação . . . . .	6
<b>2</b>	<b>Conceitos Básicos</b>	<b>7</b>
2.1	Sistemas embarcados . . . . .	7
2.2	Sistemas de Tempo Real . . . . .	9
2.3	Rede de Sensores Sem Fio . . . . .	9
2.4	TinyOS . . . . .	11
2.5	Identificação por Rádio Frequência . . . . .	12
2.5.1	O que é RFID? . . . . .	12
2.5.2	Leitores de RFID . . . . .	13
2.5.3	Etiquetas ou tags . . . . .	15
2.5.4	RFID Middleware . . . . .	18
<b>3</b>	<b>Trabalhos Correlatos</b>	<b>20</b>
3.1	Rastreamento e monitoramento de animais . . . . .	20
3.2	Integração das tecnologias . . . . .	22
3.3	Algoritmo de rastreamento . . . . .	23
<b>4</b>	<b>Arquitetura do Sistema</b>	<b>25</b>
4.1	Visão Geral das Arquiteturas . . . . .	25
4.2	Etiquetas de longo alcance . . . . .	26
4.2.1	Funcionamento do Nó Sensor . . . . .	28
4.2.2	Impactos no nó sensor . . . . .	30
4.2.3	Camada de comunicação . . . . .	32
4.3	Etiquetas de curto alcance . . . . .	33
4.3.1	Funcionamento do Nó Sensor . . . . .	34

---

4.3.2	Impactos no nó sensor . . . . .	36
4.3.3	Camada de comunicação . . . . .	38
<b>5</b>	<b>Implementação do Sistema</b>	<b>39</b>
5.1	Hardware . . . . .	39
5.2	Software . . . . .	44
5.2.1	Requisitos do sistema . . . . .	44
5.2.2	Nó Sensor Especial . . . . .	45
5.2.3	Software Adaptador . . . . .	48
5.2.4	<i>Interface</i> gráfico do usuário . . . . .	49
<b>6</b>	<b>Avaliação do Sistema</b>	<b>52</b>
6.1	Simulação . . . . .	52
6.1.1	Simulação - Arquitetura de Longo Alcance . . . . .	53
6.1.2	Simulação - Arquitetura de Curto Alcance . . . . .	54
6.2	Experimentos . . . . .	55
6.2.1	Leitor de RFID . . . . .	56
6.2.2	Casos de testes . . . . .	57
<b>7</b>	<b>Considerações finais e trabalhos futuros</b>	<b>62</b>
	<b>Referências Bibliográficas</b>	<b>65</b>
<b>A</b>	<b>Protocolo de comunicação TCP - GAO 2.4GHz</b>	<b>69</b>
A.1	Estrutura de comunicação . . . . .	69
A.2	Mode de operação . . . . .	69
A.3	Recepção dos dados . . . . .	70
A.4	Estrutura de retorno . . . . .	71
A.5	Configuração do ganho do leitor . . . . .	71
A.6	Configuração da hora do leitor . . . . .	72
<b>B</b>	<b>Publicações</b>	<b>74</b>
B.1	Publicações de autoria . . . . .	74
B.2	Contribuições em outras pesquisas . . . . .	74
<b>C</b>	<b>Fotos dos experimentos</b>	<b>75</b>
C.1	Pátio - Minicampus da UFAM . . . . .	75
C.2	Pátio - Faculdade de Tecnologia (FT) . . . . .	75
C.3	Condomínio . . . . .	76

# Índice de Figuras

2.1	Arquitetura nó sensor. . . . .	9
2.2	Arquitetura sistema de RFID . . . . .	14
2.3	Leitores de RFID . . . . .	15
2.4	Etiquetas passivas de RFID [4, 9]. . . . .	16
2.5	Etiquetas ativas de RFID . . . . .	16
2.6	RFID <i>Middleware</i> . . . . .	19
4.1	Etiquetas de Longo Alcance. . . . .	26
4.2	Comportamento da arquitetura de longo alcance. . . . .	27
4.3	Modo de operação do nó sensor com leitor de RFID. . . . .	29
4.4	Consumo do nó sensor com leitor de RFID ativo. . . . .	32
4.5	Etiquetas de Curto Alcance. . . . .	34
4.6	Modo de operação do nó sensor com leitor de RFID móvel. . . . .	35
4.7	Comportamento da arquitetura de curto alcance. . . . .	36
4.8	Consumo do nó sensor com leitor de RFID passivo. . . . .	37
5.1	Modelo ideal de nó sensor RFID. . . . .	40
5.2	Modelo prático de nó sensor RFID. . . . .	40
5.3	Modelo implementado de nó sensor RFID. . . . .	41
5.4	Esquemático comunicação serial. . . . .	41
5.5	Diagrama de Bloco - chave digital. . . . .	42
5.6	Diagrama de Bloco - divisor de tensão. . . . .	43
5.7	Nó Sensor Especial Implementado . . . . .	43
5.8	Comando leitor RFID - Ler Etiquetas. . . . .	46
5.9	Trecho de código: Ligar/desligar leitor de RFID. . . . .	46
5.10	Trecho de código: Enviar pacote de inatividade. . . . .	47
5.11	<i>Software</i> Adaptador - Conexão. . . . .	48
5.12	<i>Software</i> Adaptador - Recuperar <i>buffer</i> do Leitor de RFID. . . . .	49
5.13	<i>Interface</i> gráfica do usuário. . . . .	50
5.14	<i>Interface</i> gráfica do usuário - Tabela. . . . .	51
5.15	<i>Interface</i> gráfica do usuário - Executar aplicação. . . . .	51

---

6.1	Arquivo de configuração - TOSSIM. . . . .	53
6.2	Rodando aplicação por meio do TOSSIM - Arq. de Longo alcance. . . . .	54
6.3	Rodando aplicação por meio do TOSSIM - Arq. de Curto Alcance. . . . .	55
6.4	Leituras por intervalo de tempo. . . . .	57
6.5	Leituras por intervalo de tempo. . . . .	58
6.6	Detecção de interseção. . . . .	61
6.7	Trajectoria. . . . .	61
C.1	<i>Notebook</i> coletando dados e o corredor com as etiquetas de RFID . . . . .	75
C.2	As etiquetas de RFID e o leitor de RFID fixo na pilastra . . . . .	76
C.3	Posicionamento do leitor de RFID . . . . .	76
C.4	As etiquetas de RFID e o corredor onde as etiquetas são posicionadas . . . . .	76
C.5	<i>Software</i> para coleta dos dados e o leitor de RFID sob a saída do ar-condicionado . . . . .	77
C.6	Banqueta com a etiqueta de RFID fixada e a altura do leitor de RFID . . . . .	77

# Índice de Tabelas

2.1	Exemplos de sistemas embarcados [40]	8
2.2	Especificação dos nós sensores comerciais [39]	11
2.3	Evolução do RFID [9]	13
2.4	Faixa de frequência	17
2.5	Distância de leitura pela frequência	18
6.1	Cenário - detecção por um nó sensor especial	59
6.2	Cenário - detecção por dois nós sensores especiais simultaneamente	59
6.3	Cenário - detecção por três nós sensores especiais simultaneamente	60

# Capítulo 1

## Introdução

Desde o seu surgimento na década de 90, as Redes de Sensores Sem Fio (RSSFs) têm sido empregadas em vários projetos, por exemplo, sensoriamento de grandes áreas, segurança, monitoramento de temperatura e outras aplicações em ambientes externos (*outdoor*). Materializando as idéias de Mark Weiser [21], de que computadores habitariam nos mais triviais objetos (etiquetas de roupas, canetas, etc) de forma invisível, surgem as etiquetas de Identificação por Rádio Frequência (RFID) compostas normalmente por um chip de silício com antena, que se comunicam com uma base transmissora através de rádio frequência e geralmente em aplicações de ambientes internos (*indoor*).

As duas tecnologias são componentes importantes da computação pervasiva, onde é possível vislumbrar a idéia de que dispositivos eletrônicos, desde roupas, carros e até mesmo o corpo humano possam ser introduzidos chips para conectar a dispositivos em uma rede infinita de outros dispositivos.

As RSSF e o RFID possuem uma variedade de aplicações: tanto para ambientes internos quanto externos. Entretanto, algumas aplicações podem ser melhoradas através da integração entre ambas tecnologias. Baseado nesse contexto, essa dissertação de mestrado propõe a integração entre as duas tecnologias de Rede de Sensores Sem Fio e Identificação por Rádio Frequência, propondo duas arquiteturas para monitoramento e rastreamento de animais em seu *habitat* de acordo com o comportamento do animal.

### 1.1 Contexto

Nunca houve tanta discussão sobre a preservação do meio ambiente como nos dias atuais. O mundo tem percebido que se não houver uma conscientização por parte de todos, em breve estaremos sofrendo as conseqüências. A expansão rural, urbana e industrial tem desmatado florestas para a construção de condomínios, indústrias, áreas agrícolas e etc. Essa atitude tem cooperado para a extinção de animais, mudanças climáticas entre outros fatores.

O conhecimento da fauna é imprescindível para conservação de recursos naturais, pois os animais participam ativamente da construção e manutenção dos ecossistemas. Quanto maior nosso conhecimento sobre a ecologia dos animais de vida livre, maior será nossa capacidade de utilizar recursos naturais com o menor impacto sobre o ecossistema, e conseqüentemente maior a sustentabilidade da exploração dos recursos [13].

Para a preservação em uma determinada região faz se necessário entender a distribuição dos animais, isto é, onde se alimentam, onde dormem, como se dispersam, quanto tempo permanecem em determinado local, dentre outros, são importantes na busca pelo conhecimento, e fundamentais para o manejo de espécies ameaçadas de extinção ou para garantir o uso sustentável das mesmas [13].

O monitoramento de animais não é algo novo. Atualmente existem outras tecnologias capazes de serem empregadas para o monitoramento de animais, como o uso de GPS (*Global Position System*), GPRS (*General Packet Radio Services*), imagem, telemetria entre outras. Cada qual, podendo ser empregada em ambientes específicos e com suas próprias restrições. A seguir são apresentadas abordagens empregadas por pesquisadores para monitoramento e rastreamento de animais em seu *habitat*.

A telemetria convencional, ainda utilizada nos dias atuais para monitorar animais, é um sistema de localização e monitoramento através de transmissores e receptores de sinais VHF/UHF ou satélites, utilizados para monitorar a vida de animais em seu habitat. No início da década de 70 foram realizados os primeiros testes utilizando transmissores na faixa de UHF, colocados em Alces. O conjunto formado pelo transmissor, baterias e colar, pesavam cerca de 11 Kg, o que limitava o seu uso a apenas animais muito grandes [13].

A telemetria possui algumas limitações, pois o observador precisa estar presente no ambiente rastreando os animais em tempo real, carregando uma antena VHF/UHF na tentativa de obter a localização de algum animal rastreado (com receptor). Nessa abordagem, o observador coleta dados do ambiente monitorado apenas durante a sua visita ao local, deixando de coletar informações preciosas da vida animal quando estiver ausente.

Um grande avanço da telemetria, foi o uso de satélites, que permite realizar o monitoramento em uma área de cobertura maior sem interferência humana, possibilitando a coleta de dados periódicos. O sistema Argos [14], permite coletar dados como temperatura do ar ou da água, precipitação pluviométrica, nível de maré, pH da água, umidade do ar, luminosidade, por exemplo, podem ser coletados por plataformas automáticas fixas ou móveis e transmitidos pelos satélites, juntamente com a localização no momento da transmissão. No monitoramento de animais podem ser transmitidos dados de localização, da frequência cardíaca, temperatura corporal, atividade e mortalidade entre outros.

Porém, variáveis como a cobertura vegetal, ocorrência de chuva, proximidade de paredes ou relevo muito acidentado afetam negativamente o desempenho do sistema Argos, reduzindo o número de localizações obtidas em relação ao número máximo possível, e diminuindo a precisão da localização. Além do monitoramento se dar apenas quando

ocorre a passagem do satélite na área monitorada, os colares para transmissão via satélites normalmente são pesados e de custo elevado [14].

Outra abordagem é o uso de imagens. Tweed e Calway [8] descreve um método para rastreamento de animais na vida selvagem por meio de imagem e vídeo. A análise das imagens e vídeos são realizadas pelo *Framework Bayesian* [5], que utiliza uma espécie de modelagem prévia sobre a movimentação do animal a ser monitorado, como padrões de movimentação da cabeça e asas. Com base nessas informações, é aplicado um algoritmo de condensação para rastrear múltiplos animais da mesma espécie. Porém, essa abordagem não permite distinguir exatamente os animais da mesma espécie, tendo em vista que os animais são similares e com o mesmo padrão de movimentação.

Essa dissertação visa realizar o rastreamento de animais em seu habitat natural sem a interferência humana para coleta dos dados. O ambiente monitorado irá dispor de pontos fixos de leitura para aquisição dos dados no momento em que os animais etiquetados passarem pelos pontos de leitura. O biólogo tem conhecimento por onde normalmente os animais passeiam em busca de alimentos, portanto esses locais são prováveis regiões a serem preenchidas por pontos fixos para coleta dos dados.

Alguns trabalhos abordam o uso de GPS [23], porém, mesmo com a diminuição dos custos dos dispositivos, dependendo da aplicação o valor continua sendo elevado. Podemos citar também outros pontos negativos, como o custo da comunicação e a necessidade da disponibilidade do satélite para transmissão dos dados. O presente trabalho fica restrito a uma área específica para a distribuição dos pontos fixos. A restrição de uma área para monitoramento dar-se-á mediante a estudos preliminares apontando a região que os animais monitorados usualmente ocupam. A captura do animal para fixar o dispositivo é uma tarefa complexa, portanto, o baixo consumo de energia é vital para o sucesso do sistema, evitando a recaptura de animais em um curto período de tempo.

A abordagem adotada pelo trabalho é a integração entre Rede de Sensores Sem Fio (RSSF) e Identificação por Rádio Freqüência (RFID). As duas tecnologias tem conquistado seu espaço, porém acreditamos que a união poderá trazer benefícios ainda maiores. Entretanto, vale ressaltar que uma análise criteriosa precisa ser realizada para apurar os impactos. Essa integração constitui a formação de uma rede heterogênea para a monitoração de animais em seu *habitat*.

Identificação por Rádio Freqüência (RFID) é uma tecnologia flexível, similar ao código de barras que utiliza rádio freqüência para a identificação de objetos. Difere do código de barras devido as suas vantagens de poder armazenar diversas informações e ser identificado mesmo fora do alcance de visão. A Seção 2.5 apresenta a tecnologia com maiores detalhes.

As redes de sensores sem fio (RSSF) por sua vez são compostas por uma grande quantidade de sensores com capacidade de processamento, comunicação sem fio, sensoriamento de temperatura, pressão e etc, e cooperam entre si para realizar uma determinada tarefa. O ambiente de monitoramento pode ser um sistema biológico, florestas, biomedicina e

etc. A Seção 2.3 aborda a tecnologia com maiores detalhes e aplicações.

## 1.2 Descrição do Problema

O monitoramento de animais através da telemetria por rádio frequência está em uso nos dias atuais provavelmente devido ao custo do equipamento. Porém, há ainda o inconveniente de a coleta dos dados serem realizadas apenas com a presença do observador e o curto tempo de vida dos equipamentos presos aos animais. Existem basicamente quatro aspectos que precisam ser levados em consideração no monitoramento e rastreamento de animais em seu *habitat*:

- a) a realização da captura do animal. A preparação da armadilha e aguardar que o animal seja capturado é um trabalho árduo, portanto, a recaptura de animais para substituição de dispositivos é custosa;
- b) a coleta dos dados. O observador precisa caminhar pelo ambiente monitorado com um receptor e uma antena realizando mudanças de frequências, afim de detectar a frequência do dispositivo fixado no animal;
- c) a vida útil do dispositivo fixado no animal. O observador não consegue saber quando a bateria do dispositivo está acabando; e
- d) o banco de dados das informações coletadas. As informações coletadas muitas vezes precisam ser inseridas manualmente em um sistema após a busca pelos animais na área monitorada.

A evolução dos sensores têm os tornados cada vez mais baratos, menores e com um maior tempo de vida da bateria. Em contra partida, os dispositivos ainda possuem um custo elevado para o monitoramento de animais. Nem sempre os objetos monitorados agregam valores para o uso de dispositivos com custos elevados, como: GPS entre outras abordagens.

O sistema ZebraNet [23] opera por meio de um colar contendo um GPS, memória flash, transceptor sem fio e uma pequena CPU. A estação servidora é móvel estando disponível apenas quando o observador transitar pelo local. Portanto, exige uma memória maior para armazenamento dos dados para posterior transferência. O log das atividades é realizado por 3 (três) minutos a cada hora. Essa granularidade dá uma longividade ao sistema, porém, caso o objeto a ser monitorado se movimente rapidamente, haverá perda de informação importante.

Em [50] apresenta um sistema *stand-alone* de rastreamento de animais através do processamento digital de imagem. O sistema utiliza o algoritmo de Morris water maze em um FPGA com capacidade de processar imagem em tempo real de  $700 \times 480$  pixels.

Porém, o mesmo precisa ser melhorado, pois, há algumas limitações na identificação dos animais dependendo do fundo da imagem.

Devido aos desafios mencionados acima no monitoramento de animais em seu *habitat*, essa dissertação concentrará seus estudos na seguinte questão: *Como reduzir os custos de manutenibilidade do sistema no rastreamento e monitoramento de animais sem prejudicar a coleta de dados e o animal em seu habitat?*

### 1.3 Objetivos

Levando em consideração os problemas expostos na seção anterior, o objetivo principal dessa dissertação é *propor um sistema de rastreamento e monitoramento de animais de baixa manutenibilidade, que permita o usuário realizar a coleta dos dados sem estar presente no local monitorado e sem perda de informação.*

Para alcançar esse objetivo, o sistema é composto pela integração de duas tecnologias, Rede de Sensores Sem Fio (RSSF) e Identificação por Rádio Frequência (RFID). A RSSF por possuir um raio de alcance elevado, se comparada ao raio de alcance das etiquetas de RFID que podem chegar a cerca de 100 metros, tem o papel de realizar a comunicação entre os pontos fixos de leitura na área a ser monitorada, enquanto que o RFID permite o uso de etiquetas com longo tempo de vida.

Os objetivos específicos para esta dissertação podem ser descritos como segue:

- i) pesquisar as possibilidades de integração entre as duas arquiteturas;
- ii) propor duas arquiteturas para monitoramento e rastreamento de animais baseado em seu comportamento;
- iii) pesquisar sobre a topologia de rede e transmissão de dados entre os pontos fixos da rede;
- iv) desenvolver uma interface para visualizar as informações coletadas pelo sistema; e
- v) apresentar um estudo de caso para rastreamento de animais.

As arquiteturas apresentadas não estão restritas somente ao monitoramento de animais, podendo ser aplicadas em diferentes ambientes e objetos, que podem ou não dispor de energia elétrica e baixa manutenibilidade.

### 1.4 Motivação

Atualmente, há disponível modernas tecnologias para rastreamento e monitoração de objetos no mercado. Essas tecnologias permitem o rastreamento e monitoramento através

de satélites, GPS, GPRS entre outras tecnologias [14, 48, 27]. Porém, o objeto monitorado nem sempre agrega o valor do custo do sistema para monitoramento.

Além disso, algumas tecnologias apresentam restrições, como: área de cobertura, dimensão e peso do equipamento inadequado ao objeto, taxa de erro na ordem de centenas de metros, monitoramento parcial entre outros fatores.

A motivação dessa dissertação está relacionada com as dificuldades encontradas para realizar o rastreamento e monitoramento de animais em seu *habitat*, pois apesar dos constantes avanços da tecnologia, o custo de manutenibilidade no sistema de rastreamento e monitoração de animais é elevado e ainda são utilizadas técnicas um tanto quanto primitivas.

## 1.5 Organização da Dissertação

O restante desta dissertação está organizado da seguinte maneira: Capítulo 2 fornece os principais conceitos e teorias necessários para o entendimento deste trabalho, o qual descreve uma breve introdução sobre sistemas embarcados e de tempo real, rede de sensores sem fio (RSSF) e o sistema operacional Tinyos e por fim aborda a tecnologia de identificação por rádio frequência (RFID). O Capítulo 3 descreve os trabalhos relacionados envolvidos na área de rastreamento e monitoramento de objetos, sendo divididos em rastreamento de animais, integração das tecnologias e algoritmos para rastreamento de objetos. O Capítulo 4 apresenta as duas arquiteturas propostas para rastreamento e monitoramento de animais, assim como os impactos ao criar uma rede heterogênea. O Capítulo 5 apresenta a integração entre as duas tecnologias, RSSF e RFID, sendo assim dividido em duas seções, *hardware* e *software*. O Capítulo 6 apresenta os resultados experimentais das duas arquiteturas propostas por meio de simulações, além disso, são apresentados os resultados dos experimentos práticos realizados com o leitor de RFID para uma das arquiteturas propostas. Por fim, o Capítulo 7 resume os resultados e fornece sugestões para pesquisas futuras.

# Capítulo 2

## Conceitos Básicos

Este capítulo introduz os principais conceitos necessários para o entendimento do trabalho proposto. Dessa forma, o capítulo está dividido em cinco seções: conceitos relacionados a sistemas embarcados, sistemas embarcados de tempo real, breve introdução sobre as Redes de Sensores Sem Fio, conceitos sobre o sistema operacional Tinyos e a tecnologia de Identificação por Rádio Freqüência.

### 2.1 Sistemas embarcados

O campo de sistemas embarcados é amplo e diversificado, e isto dificulta o entendimento exato de definições e conceitos. Esta seção apresenta a distinção entre sistema de computadores pessoais e sistemas embarcados.

Sistema embarcado é uma espécie de sistema de computador projetado para executar uma ou mais tarefas dedicadas. Eles possuem maiores limitações de *hardware* e *software* do que um computador pessoal (PC). Isto é verdade para um significativo subconjunto de sistemas embarcados. Em termos de limitações de *hardware*, pode haver significantes limitações de desempenho de processamento, consumo de energia, memória entre outras. Já na parte de *software*, a quantidade de aplicativos é reduzida, o sistema operacional possui limitações de portas de comunicação entre outras. Entretanto, esta definição está apenas parcialmente correta nos dias atuais, pois plataformas e *software* tipicamente encontrados em PC no passado e presente tem sido portado para os mais complexos sistemas embarcados [32].

Ao contrário de um computador pessoal (PC), que possui um monitor e um teclado para comunicação com o usuário e permite executar diversas funções, os sistemas embarcados passam despercebidos no nosso cotidiano. Os dispositivos eletrônicos sobre a ótica da engenharia são classificados como sistemas embarcados. A Tabela 2.1 apresenta exemplos de sistemas embarcados e seu mercado.

A arquitetura de um sistema embarcado é uma abstração do dispositivo embarcado.

Tabela 2.1: Exemplos de sistemas embarcados [40]

Mercado	Dispositivo embarcado
Automotivo	Sistema de ignição.
	Controle motor.
	Sistema de freio.
Eletrônica de Consumo	Televisão digital e analógica.
	<i>Set-Top Boxes</i> (DVDs, VCRs, etc.)
	<i>Personal Data Assistants</i> (PDAs).
	Equipamentos para cozinha (Refrigerador, Microondas, etc.).
	Telefones/Celulares/ <i>Pagers</i> .
	Brinquedos/Jogos.
	Cameras.
	Sistema Global de Localização (GPS).
Controle Industrial	Sistema de Controle e Robos (Fabricação).
Medicina	Marca-passo.
	Máquina de diálise.
	Dispositivos protéticos.
Rede de comunicação	Roteadores.
	<i>Hubs</i> .
	Servidores.
Automação em escritórios	Máquina de fax.
	Fotocopiadora.
	Impressora.
	Monitor.
	<i>Scanner</i> .

A definição da arquitetura correta é de extrema importância para o sistema, pois é na arquitetura que encontramos as soluções para os desafios a serem superados pelo sistema. Os desafios mais comuns incluem [40]:

- definir e capturar o projeto de um sistema;
- limitações de custo;
- determinar a integridade do sistema, como confiança e segurança;
- trabalhar dentro dos limites disponíveis (exemplo, poder de processamento, memória, tempo de vida da bateria, etc.);
- possibilidade de ser comercializado;
- compreender os requisitos.

## 2.2 Sistemas de Tempo Real

Sistema de tempo real é um sistema que deve satisfazer restrições temporais ou sérias conseqüência de riscos, incluindo falhas. O tempo entre um conjunto de entradas e o tempo de resposta, não está relacionada necessariamente com a velocidade, isto depende do propósito do sistema [32].

Os sistemas de tempo real são divididos em dois tipos: sistemas críticos e brandos. O sistema de tempo real brando é um sistema cuja operação é degradada se os resultados não são produzidos de acordo com as restrições temporais especificadas [29], mas caso ocorra uma falha não haverá danos irreparáveis.

O sistema de tempo real crítico é um sistema cuja perda de um simples *deadline* pode ocasionar uma completa e catastrófica falha no sistema [29], podendo haver mortes. Sistemas de tempo real crítico são usualmente encontrados na camada física de *hardware*, em sistemas embarcados. Como por exemplo, no controle de algumas funções críticas em aeronaves, monitoramento de sistemas em usinas nuclear e etc.

## 2.3 Rede de Sensores Sem Fio

Uma RSSF consiste possivelmente de uma grande quantidade de nós sensores capazes de coletar informações do ambiente, como temperatura, pressão, luz e etc. As informações coletadas pelos nós sensores são transmitidas por meio de um canal sem fio [3]. Além de monitoramento, algumas RSSFs concede ao administrador a possibilidade de reagir a eventos e fenômenos. O ambiente específico pode ser um sistema biológico, ou alguma área restrita.

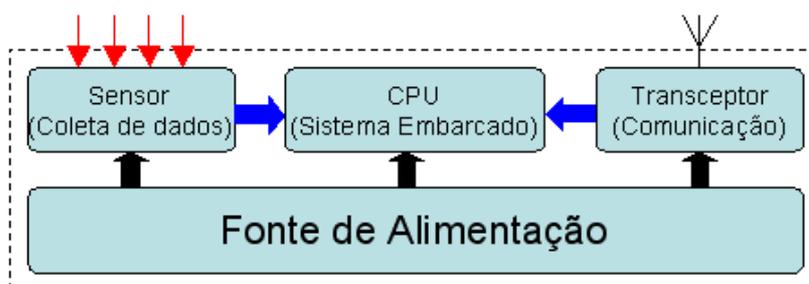


Figura 2.1: Arquitetura nó sensor.

Há quatro passos básicos a serem executados ao se projetar uma RSSF: (i) distribuição dos sensores; (ii) interconexão da rede; (iii) um ponto central da rede para agrupar os dados; e (iv) conjunto de recursos para processamento no ponto central para controle da correlação dos dados, status de requisição e mineração dos dados [16].

No passado, as aplicações das RSSFs eram pouco triviais, como detecção de radiação, sistemas nucleares, aplicações biomédicas, entre outras. Recentemente, as aplicações têm se diversificado em várias áreas, como militar, aplicações residenciais, aplicações médicas, aplicações para monitoramento de ambientes e aplicações comerciais [16]. Essa diversificação trouxe novos desafios e obstáculos, tornando as RSSFs verdadeiramente ubíquas. Os desafios e limitações de uma RSSF incluem, mas não limitado, as seguintes restrições [15]:

- **Restrição de memória:** Nó sensor usualmente possui uma quantidade pequena de memória. Sendo assim, o protocolo de rede não deve exigir o armazenamento de grande quantidade de informação no nó sensor;
- **Bateria limitada:** Nó sensor tipicamente possui uma bateria com quantidade limitada de energia. Além disso, a transmissão dos dados tipicamente custa caro em termos de energia comparado ao custo de processamento de um nó sensor. Portanto, protocolos projetados para RSSF devem utilizar apenas poucos dados para controle de mensagens;
- **Tolerância a falha:** Nó sensor tende a falha. Isto é devido a uma série de fatores. Baixa carga da bateria pode causar falha do nó sensor. Similarmente, quando o nó sensor é distribuído em ambientes hostis, como no caso de aplicações militares ou industriais, o nó sensor pode ser danificado. Desse modo, protocolos projetados devem possuir mecanismos de tolerância a falha para uma melhor utilização do nó sensor;
- **Auto-organização:** Nós sensores são freqüentemente lançados de aviões em ambientes hostis. Freqüentemente, não é possível para seres humanos chegar próximo desses nós sensores. Além de não ser possível reparar cada nó sensor. Dessa forma, a auto-organização do nó sensor para formar uma rede conectada é um requisito essencial;
- **Escaláveis:** O número de nós sensores em uma RSSF pode ser na ordem de centenas ou milhares. Dessa forma, protocolos projetados devem ser altamente escaláveis.

A estrutura básica de um nó sensor é formada pela bateria, sensor e/ou atuador, CPU e transceptor (Figura 2.1). Para a operação do nó sensor é importante ter um sistema operacional especialmente projetado para RSSFs. Esse sistema operacional tipicamente abstrai a camada de *hardware* para o desenvolvedor se preocupar com a lógica da aplicação. O tamanho do sistema operacional está ligado diretamente com a capacidade da CPU do nó sensor. Existem diversos nós sensores comerciais disponíveis, alguns deles com sistema operacional suportado. O MICAz, MICA2DOT e MICA2 são exemplos comerciais de nós sensores que suportam o sistema operacional *open-source TinyOS*. A Tabela 2.2 apresenta a especificação dos nós sensores.

Tabela 2.2: Especificação dos nós sensores comerciais [39]

Modelo	MICA2DOT	MICA2	MICAz
Bateria	3V moeda	AA $x$ 2	AA $x$ 2
Tamanho (mm)	25 $x$ 6	58 $x$ 32 $x$ 7	58 $x$ 32 $x$ 7
Peso (g)	3	18	18
Distância(m)	150	150300	75100
Taxa de dados	38.4 KBaud	38.4 KBaud	250 Kbps
Memória flash (programa)	128KB	128KB	128KB
Memória flash serial	512KB	512KB	512KB
EEPROM	4KB	4KB	4KB
RF (MHz)	315/433/868/916	315/433/868/916	2400

## 2.4 TinyOS

TinyOS é um sistema operacional baseado em componente desenvolvido com foco nas aplicações de RSSF. Foi primeiramente desenvolvido pela Universidade da Califórnia, *Berkeley* em cooperação com *Intel Research* e escrito em nesC. O TinyOS provê uma grande quantidade de componentes que podem ser reutilizados por várias aplicações. O núcleo do TinyOS é de cerca de 400 bytes no total, permitindo ser portado para diversos microcontroladores. Atualmente, o sistema operacional roda nas plataformas MICA2, MICA2DOT e MICAz [45].

Os componentes são ligados (amarrados) na aplicação final por meio de uma notação específica da linguagem nesC. Para tratamento de concorrência o TinyOS emprega o conceito de tarefa (*Task*). Um componente posta uma tarefa para o escalonador do TinyOS. As tarefas não são preemptivas, isto significa que uma única tarefa é executada por vez e o TinyOS não interrompe uma tarefa para rodar outra. São usadas em processos nos quais o tempo não é rígido. Outro conceito, é o evento, eles podem ser interrompidos no meio da execução e podem ser usados para controlar operações de tempo crítico e interrupções de *hardware*. Os componentes são divididos em dois tipos: módulo e configuração. Os módulos provêm e implementam uma ou mais *interfaces* e contêm a lógica da aplicação. As configurações conectam os componentes da aplicação e as *interfaces*.

A *network embedded system C* (nesC) é uma linguagem de programação projetada especialmente para a plataforma TinyOS. É uma extensão da linguagem C projetada para incluir os conceitos estruturais e modelos de execução do TinyOS. Também foi desenvolvida pela Universidade da Califórnia, *Berkeley* em cooperação com *Intel Research*. A desvantagem do nesC é não permitir alocação dinâmica de memória e ponteiro para função. Como vantagem podemos citar nas últimas versões o aperfeiçoamento da compilação de código seguro para detectar possíveis concorrência de dados.

Aplicativos escritos em nesC são compostos por componentes, que podem ser construídos e combinados para formar uma aplicação, aumentando a modularidade e reusa-

bilidade de código. O comportamento de um componente é especificado através de um conjunto de *interfaces*, onde as *interfaces* são bidirecionais, isto é, informam o que um componente usa e o que ele provê.

TOSSIM é um simulador de eventos discretos para o TinyOS que permite compilar a aplicação para o *framework* TOSSIM o qual executa no computador [24]. Com isso, o usuário pode debugar, testar e analisar o algoritmo. O simulador oferece uma ferramenta que permite simular o ambiente em que os nós serão distribuídos, configurando ganho e ruído durante as transmissões. Outro ponto importante é a simulação de centenas de nós no ambiente.

A implementação e os passos seguidos para o desenvolvimento do trabalho proposto exemplifica em detalhes o uso do TinyOS, nesC e TOSSIM. Na Seção 5 são apresentados os passos para projetar uma topologia de rede no TOSSIM, assim como executar a aplicação e recuperar os testes com a *interface* desenvolvida.

## 2.5 Identificação por Rádio Freqüência

Nessa seção é apresentado o conceito de Identificação por Rádio Freqüência (RFID), a evolução da tecnologia, aplicações, seu funcionamento, como a arquitetura é composta e os tipos de etiquetas de RFID.

### 2.5.1 O que é RFID?

RFID é o acrônimo de *Radio Frequency Identification*, isto é, Identificação por Rádio Freqüência. Essa tecnologia tem mudado a maneira de rastrear objetos, pois pode ser empregada na identificação eletrônica, rastreamento e armazenamento de informações sobre produtos, pessoas e etc. Difere do código de barras por permitir armazenar informação além do código do produto e identificar o objeto mesmo fora do alcance de visão. Provavelmente você já tenha se deparado com as etiquetas de RFID nos supermercados e lojas, normalmente são fixados em roupas, sapatos, CDs/DVDs entre outros produtos que normalmente ao serem adquiridos pelo consumidor, são removidos pelas operadoras de caixas.

Wal-Mart tem gasto milhões de dólares desde 1990 pesquisando a eficácia dos sistemas de RFID para substituir os tradicionais códigos de barras [30]. Apesar de nos últimos anos termos ouvido muitas notícias sobre o emprego da tecnologia, o conceito não é novo. Na Segunda Guerra Mundial foi utilizado para identificação de aeronaves inimigas pelos Japoneses, Americanos, Alemães e Ingleses. Na Tabela 2.3 é possível acompanhar alguns eventos durante a evolução da tecnologia.

Atualmente, o RFID pode rastrear não apenas ativos de empresas, mas também a movimentação de produtos, *containers*, veículos, entre outros objetos. Devido a sua

Tabela 2.3: Evolução do RFID [9]

Período	Evento
1940 - 1950	Utilizado em radar. Segunda Guerra Mundial. RFID inventado aproximadamente em 1948.
1950 - 1960	Explorações iniciais da tecnologia. Experimentos em laboratórios.
1960 - 1970	Desenvolvimento da teoria de RFID. Início em campos de prova.
1970 - 1980	Exploração do desenvolvimento do RFID. Testes de acelerar o RFID. Início de implementação do RFID.
1980 - 1990 1990 - 2000	Aplicações comerciais de RFID. Surgimento dos padrões. RFID se torna mais distribuído.
2000 - 2010	Inovação no surgimento de aplicações. Combinação do RFID com serviços móveis. Surgimento de implantes de RFID em animais e humanos. RFID faz parte do nosso dia-a-dia.

flexibilidade, sempre surgem novas aplicações e tecnologias distintas que juntas podem formar um sistema ainda maior, como o rastreamento de animais. As aplicações para RFID estão presentes nas seguintes categorias [9].

- inventário e gerenciamento da cadeia de suprimentos;
- distribuição e transporte;
- produção e indústria;
- controle de acesso e segurança.

A arquitetura básica de um sistema de RFID é composta por leitores, etiquetas e um controlador (servidor). Porém, não há uma arquitetura padrão que deva ser obedecida para o sistema, tendo em vista a variedade de aplicações. Igualmente, não podemos afirmar que há um número limitado de arquiteturas. A Figura 2.2 vislumbra um sistema de RFID que poderemos estar vendo em um futuro próximo, onde estaremos conectados aonde quer que estejamos.

### 2.5.2 Leitores de RFID

Os leitores são compostos por uma ou mais antenas, modulador de rádio frequência, uma CPU para controle e uma porta de comunicação. Tipicamente, os leitores são conectados

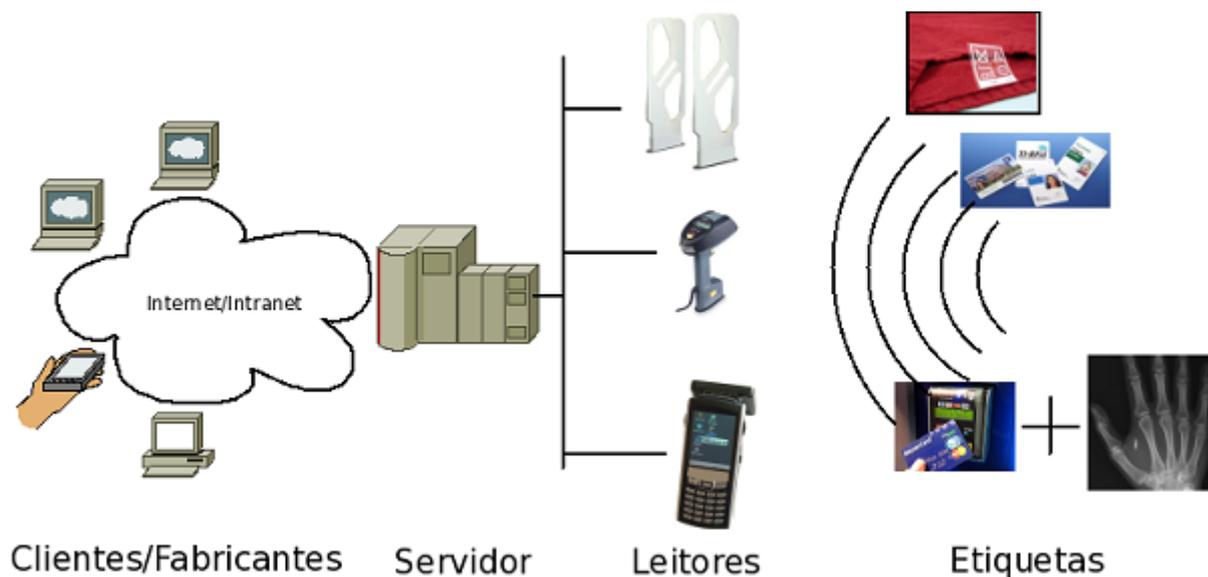


Figura 2.2: Arquitetura sistema de RFID

nas redes elétricas do estabelecimento onde o sistema está implementado ou são leitores portáteis que usam bateria. Além do leitor de RFID gerar sinais para detectar a presença de etiquetas, o mesmo também pode escutar o ambiente para recuperar informações das etiquetas.

O leitor funciona como uma ponte entre a etiqueta e o controlador. Normalmente as etiquetas são lidas por meio da Rádio Frequência (RF) e os dados coletados são transmitidos por meio das portas RS232, RS485, *Ethernet*, *Wireless* (802.11b) entre outras. As funções básicas de um leitor de RFID são [9]:

- ler o conteúdo dos dados de uma etiqueta;
- escrever dados em uma etiqueta (no caso de etiquetas inteligentes);
- retransmitir dados de e para o controlador;
- energizar a etiqueta (no caso de etiquetas passivas).

Porém, além de executar as funções básicas, os leitores complexos são capazes de executar as seguintes funções [9]:

- implementar medidas de anti-colisão para assegurar a comunicação de leitura e escrita com várias etiquetas;
- autenticação da etiqueta para prevenir o sistema contra fraudes ou acesso não autorizado;
- cifragem dos dados para proteger a integridade dos sistema.

A Figura 2.3 apresenta alguns tipos de leitores móveis e fixos, o tipo de leitor varia de acordo com a aplicação a ser realizada. Além do formato do leitor, outro ponto que precisa ser levado em consideração é a faixa de frequência que o leitor irá operar, isto está relacionado diretamente com o raio de alcance que se deseja atingir. A próxima seção estaremos abordando em detalhes sobre a faixa de frequência.



Figura 2.3: Leitores de RFID

### 2.5.3 Etiquetas ou tags

A etiqueta de RFID, também conhecida como *tags*, consiste basicamente de um *microchip* e uma antena de rádio. O microchip é uma miniatura de um computador que armazena a informação da etiqueta. O microchip também possui uma lógica para dizer o que fazer ao se aproximar de um leitor de RFID. Por meio da antena o microchip recebe energia e se comunica, permitindo a etiqueta trocar informações com o leitor de RFID.

As etiquetas são divididas em duas amplas categorias, passivas e ativas. As etiquetas passivas não possuem fonte de alimentação, a comunicação ocorre apenas na presença do leitor de RFID, e ao se aproximar do leitor de RFID é criado um campo magnético. Quando a etiqueta passiva entra no campo magnético, a etiqueta extrai energia suficiente do campo para se energizar e transmitir a informação em *broadcast*. Isto implica que a etiqueta transmita apenas quando o leitor de RFID estiver presente, seu raio de alcance, custo de fabricação e tamanho é inferior aos das etiquetas de RFID ativas [4].

O processo pelo qual um transponder (etiqueta de RFID) responde um sinal (leitor de RFID) modulado e transmite um sinal de resposta na mesma frequência da portadora é chamado de *Backscatter* [9]. Isto é exatamente o que ocorre com as etiquetas passivas de RFID, os leitores precisam ter potência suficiente para emitir um sinal modulado até a etiqueta. A Figura 2.4 ilustra os diferentes tipos e formatos das etiquetas de RFID, identificando os componentes que a compõe.

As etiquetas ativas de RFID possuem sua própria fonte de energia para comunicação. A fonte de energia é usada para alimentar o microchip e realizar a transmissão para o

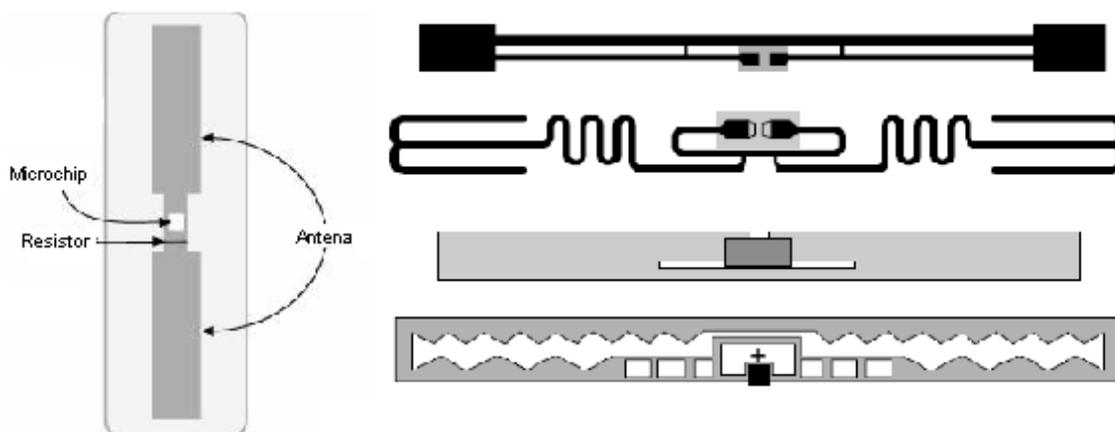


Figura 2.4: Etiquetas passivas de RFID [4, 9].

leitor. Dessa forma, as etiquetas podem se comunicar com leitores menos potentes e podem transmitir a uma distância maior, chegando a 1 (um) quilômetro. Além disto, podem ter uma memória para armazenamento de dados maior, cerca de 128KB, permitindo o armazenamento de dados como destino e origem da mercadoria. A bateria pode durar cerca de 7 (sete) anos [9]. A Figura 2.5 apresenta alguns modelos de etiquetas de RFID.



Figura 2.5: Etiquetas ativas de RFID

Dentro da categoria das etiquetas de RFID ativas, consideramos dois tipos distintos, são as etiquetas *transponder* e *beacon*. As *transponders* transmitem em *broadcast* suas informações ao receber um estímulo do leitor de RFID, enquanto que as *beacons* transmitem suas informações em tempos pré-determinados pelo sistema. Esses tipos de etiquetas normalmente são empregados em sistemas de localização de tempo real. Onde no ambiente monitorado são distribuídos diversos leitores de RFID que permitem a capturas dos dados normalmente por mais de um leitor, com isso é possível realizar a localização por meio da potência do sinal entre os leitores.

Diversas operações podem ser executadas com as etiquetas de RFID, mas apenas duas

operações são universais: fixar a etiqueta no objeto e ler os dados da etiqueta. Algumas etiquetas também oferecem funcionalidades ou características descritas abaixo [4]:

**Desabilitar/Matar** Algumas etiquetas permitem que o leitor envie comando para finalizar o funcionamento permanentemente;

**Escrever uma única vez** Muitas etiquetas são fabricadas com seus dados permanentemente configurados na fabricação, mas uma etiqueta *write-once* pode ser configurada com um valor particular pelo usuário final;

**Escrever muitas vezes** Algumas etiquetas permitem escrita e reescritas de novos dados várias vezes;

**Anticolisão** Quando as etiquetas estão próximas uma das outras, o leitor pode ter dificuldades para recuperar os dados. Etiquetas *anti-collision* possuem a capacidade de esperar por sua vez para se comunicar com o leitor;

**Segurança e criptografia** Algumas etiquetas são capazes de realizar comunicação cifrada, e/ou se comunicar com leitores que forneçam uma senha secreta;

**Padrão de conformidade** Etiquetas podem cumprir com um ou mais padrões, permitindo se comunicar com leitores que operam no mesmo padrão.

A frequência de operação é uma onda eletromagnética, que as etiquetas usam para se comunicar ou obter energia. O espectro de frequência no qual as etiquetas operam é usualmente dividido em baixa frequência (LF), alta frequência (HF), ultra-alta frequência (UHF) e micro ondas. A Tabela 2.4 apresenta a faixa de frequência de operação [4]:

Tabela 2.4: Faixa de frequência

Categoria	Área de frequência	Frequência
LF	30.300 kHz	menor que 135kHz
HF	330 MHz	6,78 MHz, 13,56 MHz, 27,125 MHz, 40,680 MHz
UHF	300 MHz - 3 GHz	433,920 MHz, 869 MHz, 915 MHz
Micro-Ondas	maior que 3 GHz	2,45 GHz, 5,8 GHz, 24,125 GHz

Diferentes frequências possuem diferentes propriedades. Os sinais de baixa frequência são adequados para atravessar a água, enquanto que as frequências mais altas podem transmitir mais informações. Sinais de alta frequência também são tipicamente mais fáceis de capturar dados em distâncias. A Tabela 2.5 apresenta a distância alcançada pelas diferentes frequências [4].

Tabela 2.5: Distância de leitura pela frequência

Categoria	Leitura máxima para etiquetas passivas
LF	50 centímetros
HF	03 metros
UHF	09 metros
Micro-Ondas	maior que 10 metros

### 2.5.4 RFID Middleware

*Middleware* é a camada de *software* entre o *software* aplicativo e o *software* controle (sistema operacional, gerenciador de banco de dados) permitindo abstrair alguns detalhes da aplicação. Por meio de *interfaces* próprias, o *middleware* permite o *software* aplicativo funcionar em outros ambientes que o *middleware* esteja funcionando. Até momento apresentamos como os componentes físicos do RFID funciona, agora é apresentado como os dados são coletados e digeridos para uma aplicação.

O RFID *Middleware* tem como objetivo rotear os dados entre a rede de leitores de RFID e a aplicação, assim como encapsular a *interface* de comunicação com os leitores de RFID, processar os eventos dos leitores de RFID e provê *interfaces* para gerenciamento dos leitores (controle, configuração e consulta). As principais funções de um RFID *Middleware* expostas são [9]:

**Coleta dos dados** responsável por extrair, agregar e filtrar dados dos múltiplos leitores do sistema;

**Roteamento dos dados** facilitar a integração da rede RFID com os sistemas *enterprise* dentro da organização, isto é, redirecionar os dados entre os sistemas;

**Gerenciamento de processo** gerenciar os dados por meio de eventos no sistema, por exemplo acusar o embarque de mercadorias não autorizadas;

**Gerenciamento de dispositivos** monitorar e coordenar os leitores de RFID distribuídos na rede.

Atualmente existem diversos produtos de *middleware* no mercado ou até mesmo em desenvolvimento. A maioria dispõe de basicamente 3 (três) principais componentes: adaptador de leitor, gerenciador de eventos e *interface* de aplicação. Muitos desses *middlewares* são baseados no padrão EPCGlobal, que é uma padronização dos código das etiquetas de RFID.

A camada do adaptador do leitor de RFID realiza a comunicação entre o leitor de RFID e a camanda de gerenciamento de eventos. Como existe no mercado vários fabricantes de leitores, o ideal é nessa camada criar *interfaces* pré-definidas que permita o desenvolvedor

adicionar novos leitores de diferentes fabricantes, abstraindo os detalhes de implementação da camada superior.

Levando em consideração a aplicação do sistema em ambientes onde temos uma grande quantidade de leitores distribuídos e a detecção de milhares de etiquetas, temos que filtrar os ruídos que possam ser causados por diversos motivos levando à camada da aplicação apenas informações relevantes. A camada de gerenciamento de eventos fica como responsável por realizar essa tarefa comunicando se com os diversos leitores.

A camada da *interface* de aplicação tende a abstrair todas as funcionalidades a nível de *hardware* para o desenvolvedor da aplicação. Essa camada provê os serviços disponíveis para coleta dos dados, assim como a apresentação das informações para os usuários. A Figura 2.6 ilustra os componentes básicos de um RFID *middleware*.

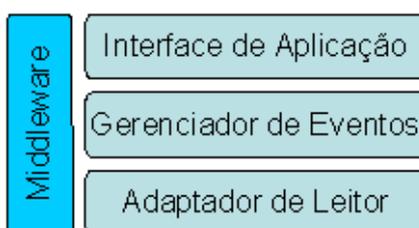


Figura 2.6: RFID *Middleware*.

No presente trabalho não estamos adotando nenhum tipo de RFID *middleware* por ser tratar de um experimento para integrar duas tecnologias, RFID e RSSF. Atualmente, existe uma lacuna de um middleware com esse propósito. Sendo assim, podemos citar esse tópico como trabalhos futuros.

# Capítulo 3

## Trabalhos Correlatos

Muitas vezes um sistema de RFID é confundido como uma RSSF. Não é correto fazer essa afirmação, apesar das etiquetas de RFID poderem monitorar um ambiente (pressão, temperatura, presença), entretanto elas carecem da principal característica de uma RSSF, que é a capacidade de se comunicar com outras etiquetas de maneira cooperativa a formar uma rede ad-hoc.

Apesar da idéia de realizar a integração entre RFID e RSSF ser recente, equipes têm publicado estudos sobre propostas de arquiteturas, aplicações na área da saúde e rastreamento de objetos em locais fechados. Acreditamos ser um dos primeiros, senão o primeiro, a estar empregando etiquetas ativas e passivas de RFID para monitoramento de animais em locais abertos.

Sendo assim, esse capítulo cita alguns trabalhos relacionados com a dissertação proposta e encontra-se dividido em três seções: rastreamento de animais, integração das tecnologias e algoritmos para rastreamento de objetos.

### 3.1 Rastreamento e monitoramento de animais

O rastreamento de animais não é novo. No trabalho de conservação de recursos naturais e manutenção do ecossistema é imprescindível conhecer sobre a ecologia dos animais em seu *habitat*. Para um melhor aproveitamento da área sem prejudicar os animais, fica claro que é preciso saber onde se abrigam, alimentam, dispersam, conhecer seus hábitos entre outras. A literatura possui distintas soluções para o monitoramento e rastreamento de animais em seu *habitat*.

Wouters et. al. [28] apresenta dois dispositivos implantáveis para monitoramento e identificação de animais. O dispositivo com tamanho inferior a 40 milímetros e um diâmetro de 5 milímetros é ativado por uma antena ao enviar um sinal contínuo de 132KHz. Tão logo seja ativado, realiza o sensoriamento e a transmissão. A bateria de 3V 15mAh possui um tempo de vida estimado entre 6 meses a 1 ano. O dispositivo se

assemelha a uma etiqueta de RFID, porém possui bateria, tornando o tempo de vida do dispositivo inferior as etiquetas passivas e ativas de RFID.

O sistema Argos desenvolvido para rastrear animais é muito útil para o monitoramento de animais em seu *habitat* em grandes áreas. Por meio dessa ferramenta é possível monitorar o ritmo cardíaco, padrões de atividades diários, velocidade e intensidade da luz. Por ser tratar de um sistema via satélite, variáveis como, cobertura vegetal, o tempo de exposição do animal na superfície da água, ocorrência de chuva, proximidades de paredes ou relevo muito acentuado afetam negativamente o desempenho do sistema [14]. Outra desvantagem é a periodicidade que os dados possam ser coletados, pois a transmissão via satélite é custosa e depende da disponibilidade do mesmo.

Outros estudos para monitoramento de animais usam a tecnologia celular. A infraestrutura da rede celular atualmente disponível permite o monitoramento de animais ao longo de uma grande área. Esta abordagem traz a vantagem de a cobertura da rede celular estar em constante expansão e contínuo avanço da velocidade na transmissão dos dados. As desvantagens estão ligadas ao tamanho reduzido do dispositivo que inviabiliza o emprego em animais menores, desafios do consumo de energia e o uso de diferentes tecnologias da rede celular utilizadas em diferentes regiões e países [48].

Sikka et. al. [27] descreve uma rede de sensores heterogêneos em uma fazenda na Austrália, para estudar o comportamento dos animais. Tendo em vista as restrições das redes de sensores, o experimento contou com o Fleck [26], um nó sensor com melhorias no raio de alcance com capacidade de usufruir energia solar, robustez mecânica e elétrica. Alguns nós sensores contam com atuadores para estimular os animais por meio de som e vibração. Os dados trafegados pela rede ficam disponíveis através de páginas na internet, permitindo ao usuário consultar o percurso realizado pelos animais.

Bartosz Wietrzyk e Milena Radenkovic [6] propuseram um modelo formal para monitoramento de gado tendo como objetivo aumentar a rentabilidade na produção, auxiliando o produtor a controlar melhor o seu gado. Dessa forma, é proposto um modelo formal para monitoramento do gado durante a caminhada e a intensidade de ingestão de alimentos. Para realizar a medida de caminhada é utilizado um pedômetro, e para a intensidade de ingestão de alimentos utiliza-se um acelerômetro. Baseado nessas medidas pode-se ter os seguintes dados de saída: detecção de doenças, datas do último e do próximo cio. Essas informações são encaminhadas para o servidor de duas em duas horas. Os usuários podem requisitar dados em tempo real e usuários especiais (veterinários) podem requisitar informações adicionais. O protocolo escolhido para gerenciar a energia foi o ESDSR (*Energy saving dynamic source routing*). O ESDSR obtém a eficiência em energia da seguinte maneira: o transmissor armazena a potência de transmissão no pacote enviado, o receptor então pode dizer ao transmissor a menor potência para transmissão, portanto o transmissor pode ajustar a potência de transmissão e economizar energia [20]. Esta abordagem é bem empregada no ambiente proposto, porém o dispositivo fixado no animal

é grande devido aos acessórios adicionados para as funções específicas. Neste cenário a periodicidade de coleta de dados pode chegar a 4 horas, em um ambiente onde os animais se movimentam constantemente pode ser desvantajoso.

## 3.2 Integração das tecnologias

Pode-se considerar que estudos sobre a integração entre RSSF e RFID iniciaram-se por meio de simulações. Melody Moh et.al. [19] desenvolveram um experimento para auxiliar idosos durante o tratamento médico informando os medicamentos a serem ingeridos. No experimento não utilizaram nenhum leitor de RFID, com isso não se considerou o consumo de energia exigido pelo leitor de RFID avaliando o tempo de vida do nó sensor. Nessa dissertação será levado em consideração o impacto do leitor de RFID no nó sensor, avaliando o tempo de vida do nó sensor ao realizar a integração com o leitor de RFID, além de vários outros aspectos práticos.

Lei Zhang e Zhi Wang [18] realizaram uma profunda análise das tecnologias RFID e RSSF, apresentando três novas arquiteturas combinando as duas tecnologias. A primeira arquitetura mescla em um mesmo ambiente, etiquetas de RFID e nós sensores da RSSF. Dessa forma, no mesmo ambiente temos servidores para aquisição dos dados das etiquetas de RFID por meio dos leitores distribuídos e nós sensores servidores para coleta dos dados da RSSF. A necessidade de termos um servidor de RFID para coleta dos dados inviabiliza o monitoramento em áreas abertas que necessitam da rede elétrica.

A segunda arquitetura proposta consiste na criação de um nó inteligente, chamado de *Smart node*, capaz de se comunicar com as etiquetas de RFID sendo responsável por coletar os dados das etiquetas de RFID e os enviá-los até a estação base de forma cooperativa utilizando outros nós sensores. Essa arquitetura se assemelha a arquitetura proposto nessa dissertação, porém é empregada em ambientes controláveis utilizando etiquetas passivas e em curta distância.

A última arquitetura proposta seria a substituição das etiquetas de RFID ativas e semi-ativas por nós sensores MICAz [42]. Porém, essa dissertação considera possível a utilização de etiqueta ativas na integração entre as tecnologias RSSF e RFID, pois, realizar a substituição de todas as etiquetas de RFID pode ser custoso para o sensoriamento de uma grande área, tendo em vista que as etiquetas ativas de RFID podem também realizar o sensoriamento.

McKelvin et. al. [22] apresentam uma arquitetura de sistema que emprega um método automatizado para gravação, recuperação e rastreamento para melhorar a eficiência e precisão no gerenciamento de inventário em um escritório. No experimento foi utilizado o leitor ALR9780 [43] para realizar a integração entre o nó sensor e o RFID, conseguindo uma área de alcance do sinal de aproximadamente  $1m^2$ . Essa abordagem foi empregada em ambientes fechados, onde é possível ter maior controle dos equipamentos, podendo utilizar

rede elétrica e cabeamento. As duas arquiteturas propostas na presente dissertação são empregadas em ambientes abertos.

Chen et. al. [31] apresentam um *framework* para auxiliar no gerenciamento de uma área turística. O sistema provê serviços de localização do guia, manutenção do caminho de cada guia, apresenta o caminho do guia para turistas perdidos e ajuda guias a encontrar seus turistas. A arquitetura é composta por nós sensores espalhados pela área turística, cada turista possui uma etiqueta de RFID passiva para sua identificação nos pontos de auxílio e o guia possui um aparelho que emite um sinal periódico para o sistema identificar sua localização. O turista pode migrar de guia de acordo com o seu interesse. A implementação do protótipo utilizou nós sensores MICAz [42], leitor de RFID MPR1230 [10] e banco de dados SQLServer. Porém, o sistema não apresenta uma real integração entre o nó sensor com o leitor de RFID, pois são distribuídos pela área turística, locais apropriados para consultas de localização do guia por meio de um terminal. Esse terminal fica conectado ao banco de dados e a RSSF, quando o turista entra com o seu código identificador (etiqueta de RFID), o guia responsável é localizado no banco de dados e logo após a descoberta do nó sensor correspondente ao guia, é apresentado a localização.

### 3.3 Algoritmo de rastreamento

Um ponto crítico em RSSF é a transmissão dos dados coletados, pois nesse momento o consumo de energia é maior se comparado ao processamento de informação no nó sensor. Com o objetivo de economizar energia, o nó sensor utiliza os nós adjacentes para transmitir a informação para a estação servidora. A seguir são apresentados trabalhos que visam minimizar o consumo de energia durante a transmissão e formação das redes.

Wei Jiang et. al. [47] realizam o rastreamento de objetos ou pessoas em uma rede de sensores de RFID. O algoritmo, chamado de Rastreamento de Rota Virtual (VRT), implementa uma estrutura para armazenar o identificador da etiqueta de RFID, tempo de leitura e o identificador do leitor no momento em que o objeto caminha pela rede. O VTR seleciona uma série de leitores adjacentes na rede RFID para formar uma rota virtual realizando o rastreamento e a combinação do identificador do leitor, identificador da etiqueta de RFID e o tempo de leitura.

S. Umesh Babul et. al. [36] desenvolveram um *framework* para modelagem e simulação de rede de sensores para rastreamento de objetos móveis usando sensores acústicos. O programa utiliza laterização e filtro de Kalman para avaliar a distância entre os diferentes nós. Os dados recuperados da RSSF são enviados a estação servidora em multsaltos e em seguida transmitidos para o PC realizar o processamento. Essa abordagem exige que uma grande quantidade de nós sejam espalhados pela área monitorada e não realizada a identificação do objeto, mas a presença.

A.R. Al-Ali et. at. [2] descrevem um sistema para rastreamento de crianças em par-

---

ques, shopping, etc. O sistema é composto por etiquetas ativas de RFID. Foram abordados três métodos para localização das crianças, RSSI (*Receive Signal Strength Indication*), o tempo de atraso do sinal e o método de sobreposição. Essa abordagem é empregada em ambientes controláveis, isto é, locais com energia elétrica e com possibilidade de cabeamento.

# Capítulo 4

## Arquitetura do Sistema

Este capítulo introduz as duas arquiteturas propostas por essa dissertação para rastreamento e monitoramento de animais e objetos. Cada arquitetura possui uma particularidade que é destacada de acordo com a sua aplicação. Dessa forma, esse capítulo está dividido em três seções da seguinte maneira: visão geral, arquitetura de longo alcance e arquitetura de curto alcance. A primeira seção fornece uma breve introdução sobre a integração entre as duas tecnologias, RSSF e RFID. A segunda e a terceira seção definem a arquitetura de longo alcance e curto alcance respectivamente, apresentando os detalhes de funcionamento e os impactos na rede de sensores e no nó sensor ao realizar a integração.

### 4.1 Visão Geral das Arquiteturas

A integração entre Rede de Sensores Sem Fio (RSSF) e Identificação por Rádio Frequência (RFID) visa unir as principais características entre as duas tecnologias formando uma rede heterogênea. Usufruindo as vantagens de ambas tecnologias é possível criar uma rede com baixa manutenibilidade e uma maior autonomia nos ambientes propostos por este trabalho. Acreditamos ser os primeiros a estar realizando a integração entre as tecnologias aplicadas em ambientes abertos para monitoramento e rastreamento de animais.

Os nós sensores em uma RSSF possuem algumas características que os destacam da tecnologia RFID. A auto-organização, rápida distribuição no ambiente e tolerância a falha são características que torna a RSSF versátil para inúmeros tipos de aplicações, como: comunicação, controle, segurança, vigilância entre outras. Outra característica importante é a comunicação em multsaltos, que permite coletar dados com a ajuda dos nós adjacentes.

Apesar das etiquetas de RFID não usufruírem dessas características, outras características as destacam. Por não realizar as diferentes tarefas realizadas pelos nós sensores, as etiquetas ativas de RFID podem possuir um tempo de vida maior do que os nós sensores. As etiquetas passivas de RFID, conforme abordado na Seção 2.5, possuem um

tempo de vida indeterminado, pois não fazem uso de bateria para transmissão dos dados.

No entanto, quando se deseja realizar o monitoramento de qualquer objeto, um ponto de extrema importância que precisa ser levado em consideração é a relação entre o objeto monitorado e o dispositivo a ser conectado no objeto. Desde um *container* a um pacote de biscoito é preciso haver uma relação de peso e tamanho. Com os animais não é diferente, o dispositivo a ser fixado em animais não devem exceder 5% do seu tamanho. Outro aspecto que é levado em consideração no monitoramento de objetos é o custo, o valor agregado do objeto não deve exceder o custo do equipamento de monitoramento.

## 4.2 Etiquetas de longo alcance

A arquitetura aqui proposta realiza a integração entre as tecnologias RSSF e RFID utilizando etiquetas ativas para monitoramento e rastreamento de animais/objetos. O emprego dessa arquitetura está ligado diretamente com o comportamento do animal/objeto a ser monitorado e rastreado. Dessa maneira, os animais/objetos que melhor se enquadram para o uso dessa arquitetura são aqueles que dispersam entre si, onde não há a formação de grupos, tornando inviável a identificação de um membro líder ou mestre.

Como abordado na Seção 2.5, as etiquetas de RFID ativas possuem fonte de alimentação própria e transceptores que permitem a etiqueta enviar as informações a uma distância maior que as etiquetas passivas, podendo chegar a 100 metros de distância do leitor de RFID [35]. Com base nessas características, podemos distribuir os nós sensores e etiquetas de RFID ativas no ambiente para formar uma arquitetura heterogênea. Baseado nesse comportamento, a arquitetura proposta visa usufruir da habilidade da etiqueta ativa de RFID que possui um raio de alcance maior.

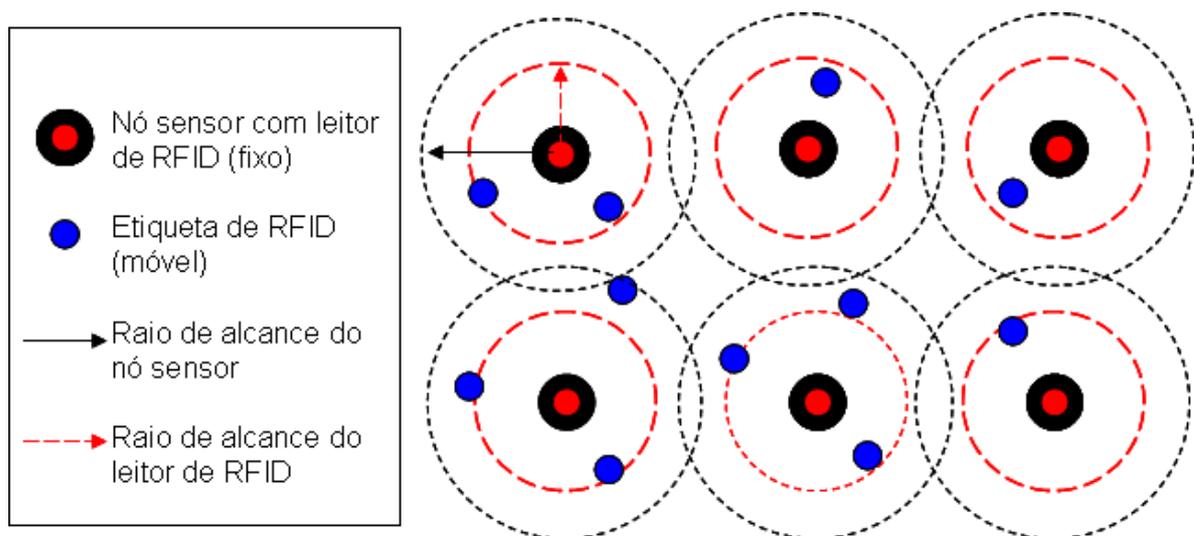


Figura 4.1: Etiquetas de Longo Alcance.

Sendo assim, nesse ambiente temos uma baixa densidade, onde os objetos monitorados permanecem distantes um dos outros tornando inviável o uso de etiquetas de RFID passivas, que possuem um baixo raio de alcance. Porém, as etiquetas ativas de RFID além de permitir o sensoriamento (temperatura, pressão, entre outras) do ambiente possui um raio de alcance maior.

Portanto, essa arquitetura é composta por etiquetas de RFID e nós sensores com a habilidade de ler o conteúdo das etiquetas RFID. Cada nó sensor na rede estará fixo em uma posição pré-determinada. Nessa arquitetura, apenas as etiquetas RFID são móveis. A Figura 4.1 ilustra como os componentes estão distribuídos no ambiente monitorado.

A distribuição dos nós sensores com o leitor de RFID permite que ao coletar dados das etiquetas de RFID, esses dados possam ser transmitidos para a estação servidora (nó *sink*) por meio da estrutura de rede formada pelos nós sensores. Essa transmissão é realizada através de multsaltos, permitindo os nós sensores ao enviar os dados para os nós adjacentes até os dados chegarem na estação servidora (nó *sink*) economizando energia. A Figura 4.2 ilustra o comportamento da arquitetura ao ler etiquetas de RFID.

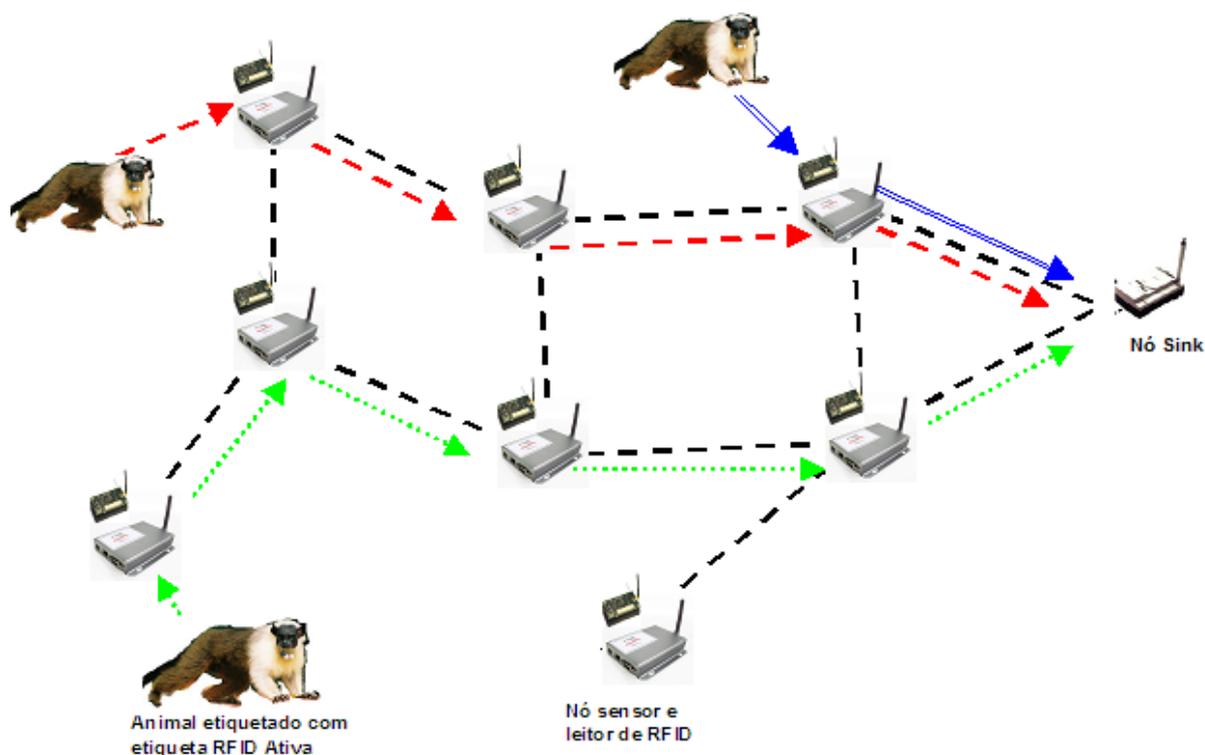


Figura 4.2: Comportamento da arquitetura de longo alcance.

A vantagem dessa arquitetura está no uso de etiquetas ativas de RFID ao invés do nó sensor, pois as etiquetas de RFID ativas possuem um tempo de vida maior que os nós sensores. Além disso, as etiquetas de RFID ativas, assim como os nós sensores, podem possuir sensores (temperatura, pressão, etc.) permitindo realizar o sensoriamento além da localização do animal/objeto. Porém, as etiquetas de RFID ativas são mais pesadas

e maiores se comparado as etiquetas passivas. Dessa forma, o uso dessa arquitetura está restrito ao tamanho e peso suportado pelo animal/objeto a ser monitorado/rastreado.

A integração entre as tecnologias permitiu a criação de novos componentes na RSSF que possuem as seguintes funcionalidades:

**Nó sensor com o leitor de RFID (fixo)** Esse é o principal componente da integração entre as tecnologias, pois além das funcionalidades que normalmente um nó sensor realiza, como retransmissão de pacotes e auto-organização, o mesmo obteve a tarefa de realizar a leitura de etiquetas de RFID ativas. Porém, adicionar novas funcionalidades a um nó sensor não é uma tarefa simples, tendo em vista que o consumo de energia é de extrema importância para a vida útil de um nó sensor. Durante a integração do leitor de RFID e o nó sensor foram realizadas análises para verificar os impactos causados que serão apresentados no Capítulo 4.2.2.

Conforme apresentado na Figura 4.1, o nó sensor com o leitor de RFID (fixo) possui dois raios de alcance. Um deles é o raio de alcance para a leitura da etiqueta (pontilhado vermelho) e o outro (pontilhado preto), responsável por realizar a comunicação entre os nós sensores;

**Etiqueta de RFID ativa(móvel)** Em uma RSSF normalmente são fixados nós sensores nos objetos que desejam ser monitorados e rastreados. Nessa arquitetura estaremos fixando etiquetas de RFID ativas nos objetos. Caso a etiqueta de RFID ativa possuir sensor, no momento da coleta dos dados de sua localização, é enviado a informação do sensor que a etiqueta possui. Outra informação importante que algumas etiquetas de RFID ativas podem enviar é o *status* da bateria, dessa forma é possível programar a captura do animal/objeto para substituir a etiqueta.

Outra vantagem referente a integração está no fato de que as RSSFs permitem aumentar o raio de cobertura automaticamente. Dessa forma, é possível distribuir novos nós sensores na área monitorada para ter uma maior abrangência. Quando um nó sensor é removido ou falha, a rede se auto-configura traçando uma nova rota para entrega das informações.

### 4.2.1 Funcionamento do Nó Sensor

Uma RSSF consiste de um grupo de nós sensores dispersos que tem a responsabilidade de realizar a cobertura de uma determinada área geográfica com o objetivo de coletar dados. O nó sensor possui basicamente a capacidade de comunicação sem fio, processamento, sensoriamento e gerenciamento da topologia da rede. Além disso, o nó sensor dessa arquitetura possui a capacidade de ler etiquetas de RFID. Essa nova atividade precisa estar alinhada com as demais, de forma que não cause impactos negativos no gerenciamento e consumo de energia.

Portanto, fica evidente que o fato de o nó sensor ter um novo dispositivo acoplado, não pode haver um grande consumo de energia. Neste caso, o nó sensor precisa realizar um gerenciamento desse novo dispositivo. Para ilustrar melhor os principais estados de um nó sensor durante a sua operação com o novo dispositivo acoplado é exposto na Figura 4.3, um autômato finito com os estados do nó sensor com o leitor de RFID. De acordo com [12], uma rede de sensores sem fio deve abraçar a filosofia de realizar o trabalho o mais rápido possível e ir dormir. Cada estado do nó sensor corresponde a um modo de operação que é apresentado como segue:

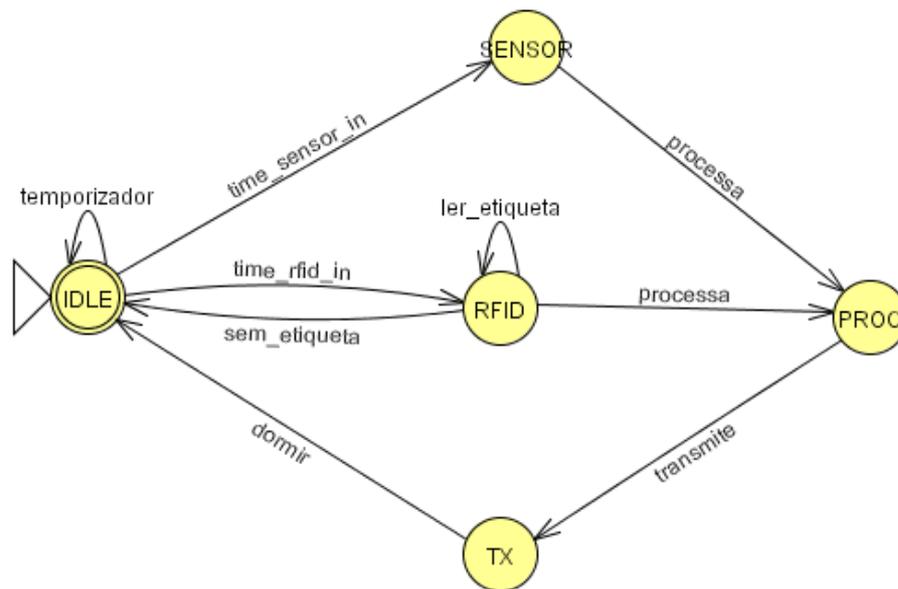


Figura 4.3: Modo de operação do nó sensor com leitor de RFID.

**IDLE** Nesse estado o nó sensor está com o rádio desligado, sensor desligado e leitor de RFID desligado. O consumo nesse estado é o menor possível dentre os outros, pois o nó sensor encontra-se em estado de hibernação. No entanto, ele sai desse estado quando o temporizador alcançar um valor pré-determinado para mudança a de estado, indo para *SENSOR* ou *RFID* por meio da transição “time\_sensor\_in” ou “time\_rfid\_in” respectivamente;

**RFID** O nó sensor alcança este estado no momento em que o temporizador chega a um valor pré-determinado e executa a transição “time\_rfid\_in”. Nesse momento o leitor de RFID é ligado e realizado leituras no ambiente, caso encontre alguma etiqueta, executa a transição “processa”, do contrário retorna para o estado *IDLE* por meio da transição “sem\_etiqueta”;

**SENSOR** O nó sensor alcança este estado no momento em que o temporizador chega a um valor pré-determinado e executa a transição “time\_sensor\_in”. Nesse momento

o nó sensor realiza o sensoriamento e executa a transição “*processa*”;

**PROC** Esse estado é alcançado por meio da transição “*processa*” no momento em que o nó sensor lê uma etiqueta de RFID ou quando é realizado o sensoriamento. O processamento consiste em preparar as informações à serem transmitidas, realizando o tratamento, validação e/ou compressão dos dados antes da transmissão;

**TX** Este estado corresponde a finalização de uma leitura e/ou sensoriamento com sucesso. Ou seja, os dados foram coletados, validados, comprimidos e tratados para a transmissão. Esses dados são transmitidos para os nós sensores adjacentes até chegarem ao nó *sink*.

O estado inicial é o *IDLE*, ao sair desse modo o nó sensor pode realizar uma leitura de RFID, processar dados, transmitir e sensoriar. Ao finalizar qualquer uma dessas tarefas deve retornar ao estado final *IDLE*. O nó sensor possui um temporizador que é acordado em períodos pré-determinado para realizar uma das tarefas (leitura da etiqueta ou sensoriamento). Enquanto o nó sensor está em *IDLE* o consumo é o mínimo, para obter um maior tempo de vida da bateria o leitor de RFID é desligado totalmente por meio de uma chave digital.

### 4.2.2 Impactos no nó sensor

Nessa arquitetura utilizamos o MICAz [38] como nó sensor e gerenciador do leitor de RFID de longo alcance. O leitor de RFID de longo alcance é o GAO RFID 2.45GHz Reader [35]. Possui uma antena omnidirecional com capacidade de identificar etiquetas até 100 metros em todas as direções. A distância de identificação pode ser ajustada entre 5 a 100 metros de acordo com a real necessidade de operação permitindo uma melhor precisão na identificação.

O leitor GAO suporta uma taxa máxima de transferência de até 1Mbps e possui uma memória para armazenamento das últimas 800 mensagens. Para a sua operação é exigido uma tensão de 9 volts e uma potência variada de acordo com o raio de alcance podendo chegar a 450mw. O tempo de vida do nó sensor está ligado diretamente com o tipo de bateria a ser utilizado. Tomando como base as baterias AA de 2200mAh, supondo que o leitor trabalhe constantemente, e realizando a leitura no perímetro máximo de 100m, teríamos o tempo de vida de apenas:

$$\frac{2200mAh * 9V}{50mA * 9V} = 44h \quad (4.1)$$

Dessa forma, é de extrema importância utilizar métodos para economizar energia. O tempo de vida de uma rede de sensores sem fio está relacionada diretamente com o tipo de aplicação, em nosso caso, o tempo ideal estimado de vida útil da bateria de um nó

sensor deve ser pelo menos um ano, o que torna uma tarefa difícil devido as atividades que um nó sensor realiza conforme exposto na Seção 4.2.1.

Para estimar o consumo do leitor de RFID GAO fizemos algumas suposições para realizar os cálculos de estimação. Primeiro, assumimos que o leitor GAO ao realizar a leitura haverá uma etiqueta de RFID e os dados coletados estarão armazenados em seu buffer interno. A etiqueta de RFID permite armazenar 9 bytes, sendo 6 bytes as informações que o usuário pode escrever e ler. Isto é de extrema importância devido à transmissão de dados consumir muita energia. Portanto, o tempo de leitura de uma única etiqueta é dado por:

$$\frac{(9 * 8)bits}{1Mbit/s} = 72\mu s \quad (4.2)$$

O consumo de corrente do leitor GAO em funcionamento é de 50mA, assumindo que o leitor realizará leituras a cada minuto, podemos obter uma corrente média durante um minuto de:

$$\frac{(0,072ms * 50mA)}{60s * 1000ms} = 0,00006mA \quad (4.3)$$

O consumo de operação e hibernação do nó sensor MICAz é dado em [42]. No momento em que o nó sensor encontra-se em hibernação temos um consumo total de 0,017mA, levando em consideração que o processador, rádio, memória e placa de sensor estão em modo de hibernação. O consumo médio de operação do rádio é 0,092mA. Tomando como base esses valores podemos chegar ao tempo de vida da bateria de:

$$\frac{(2200mAh)}{0,00006mA + 0,017mA + 0,092mA} = 20359h = 2,3anos \quad (4.4)$$

Nos cálculos realizados desconsideramos o tempo em que o leitor GAO leva para ficar pronto após ser ligado pelo nó sensor. O cálculo de consumo ao ler uma etiqueta, e o consumo do nó sensor, nos permite apresentar um gráfico comparativo entre a quantidade de etiquetas lidas e o tempo de vida total da bateria. Esse gráfico pode ser observado na Figura 4.4.

As etiquetas ativas de RFID que são fixadas nos objetos móveis, possuem fonte de energia e transmissor com raio de alcance de 100m. O consumo de operação é dado em [35]. A etiqueta GAOStrip 2.45 possui um desempenho com baixo consumo de energia permitindo alcançar um tempo de vida de até 4 anos sem necessidade de sacrificar a distância de leitura. Como essas etiquetas estarão presas nos animais, o tempo de vida é de suma importância, pois a recaptura do animal para substituição da etiqueta é muito custosa. Outro ponto importante nessas etiquetas é que a cada transmissão de dados é enviado o *status* da bateria, permitindo programar a data para substituição.

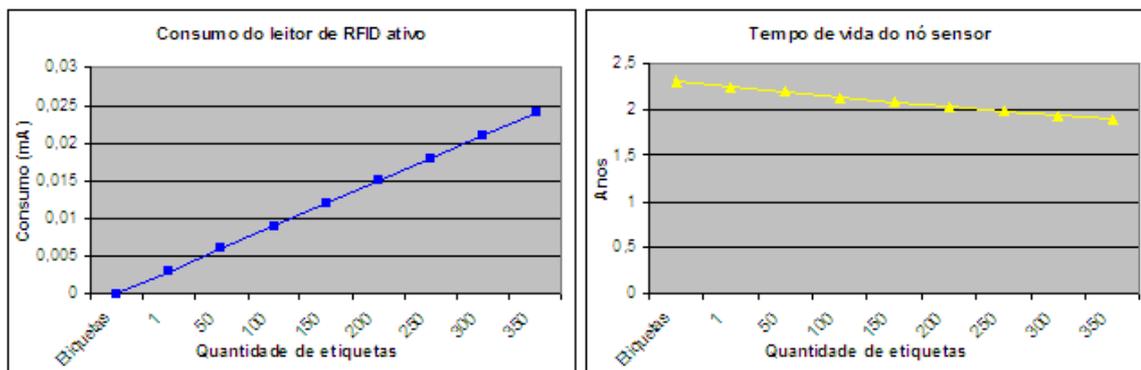


Figura 4.4: Consumo do nó sensor com leitor de RFID ativo.

### 4.2.3 Camada de comunicação

As RSSFs usualmente empregam métricas de desempenho diferente das redes de dados convencionais, uma vez que estas enfatizam o baixo consumo de energia. A energia é consumida a cada acesso ao canal, sendo para transmissão ou recepção, e o método pelo qual o nó sensor acessa o canal pode ocasionar um grande efeito no consumo da energia, e conseqüentemente pode afetar toda a rede.

A comunicação entre os nós sensores é realizada por meio de um único canal, apenas um nó sensor pode transmitir uma mensagem por vez. Portanto, o compartilhamento de acesso ao canal requer estabelecimento de um protocolo MAC (Medium Access Control) entre os nós sensores. O objetivo do protocolo MAC é regulamentar o acesso ao meio sem fio compartilhado, que atendam aos requisitos de desempenho da aplicação. No protocolo MAC há aspectos que afetam o desempenho das aplicações que precisam ser levados em consideração, como a ênfase no consumo de energia, baixa ocupação do canal, auto-organização, auto-manutenção, escalabilidade e assumir que os nós sensores são quase-estacionário entre outras.

Nossa arquitetura não requer nenhuma modificação ou adaptação que seja realizada na camada de comunicação para o envio das informações das etiquetas de RFID. Essas informações são encapsuladas nas mensagens como se fossem dados de sensoriamento. Portanto, soluções convencionais de comunicação atendem a nova arquitetura. No entanto, essa arquitetura é formada por nós sensores com leitor de RFID que permanecem estáticos por todo o tempo. Sendo assim, podemos concluir que o grau de auto-organização, auto-manutenção e escalabilidade é o mínimo possível, salvo quando um nó sensor falhar ou desejar-se aumentar a área de cobertura.

### 4.3 Etiquetas de curto alcance

Diferente da arquitetura apresentada na Seção 4.2, a arquitetura de curto alcance usa as etiquetas de RFID passivas na integração entre as tecnologias RSSF e RFID. Entretanto, como na arquitetura de longo alcance, o seu uso está ligado diretamente com o comportamento do animal/objeto a ser monitorado e rastreado.

Sendo assim, a arquitetura de curto alcance é melhor empregada na situação em que é possível identificar um objeto móvel principal e objetos móveis secundários que permanecem ao seu redor. Tomando como base esse princípio, podemos fazer melhor uso na distribuição dos nós sensores e etiquetas de RFID. Ao identificar um objeto móvel principal, esse objeto é um forte candidato a possuir um nó sensor com capacidade de ler etiquetas de RFID. Por sua vez, os objetos secundários recebem etiquetas passivas de RFID. Portanto, o nó sensor com o leitor de RFID móvel fica responsável por coletar os dados das etiquetas passivas de RFID e enviar aos nós sensores fixos distribuídos na área de cobertura.

A etiqueta passiva de RFID é empregada nessa arquitetura devido ao leitor permanecer próximo, pois essas etiquetas possuem um curto raio de alcance. Desta forma, em um ambiente com maior densidade e a distribuição de nós sensores com o leitor de RFID móvel entre os objetos móveis secundários, podemos garantir a coleta dos dados das etiquetas passivas.

A composição dessa arquitetura é composta por (i) nós sensores móveis com a habilidade de ler o conteúdo das etiquetas passivas RFID móvel, (ii) nós sensores fixos e (iii) etiquetas de RFID móveis. A principal diferença entre essa arquitetura e a anterior é que os nós sensores fixos não possuem a habilidade de ler o conteúdo das etiquetas de RFID, enquanto que os nós sensores móveis realizam essa tarefa. O nó sensor com leitor de RFID móvel precisa possuir uma capacidade de armazenamento extra em relação aos nós sensores fixos, pois nem sempre ao realizar a coleta dos dados, será possível transmiti-los. A Figura 4.5 ilustra os componentes da arquitetura dispersos no ambiente.

Esse tipo de arquitetura torna-se ideal nos casos em que animais costumam caminhar em grupo, dessa forma pode-se eleger um membro principal (e.g., fêmea do grupo) que estará com o nó sensor para coleta dos dados. Outro exemplo, poderia ser o transporte de objetos onde um grupo de objetos precisam permanecer sempre juntos.

Essa arquitetura possui a vantagem de realizar o monitoramento com um número menor de nós sensores, substituindo-os por etiquetas passivas de RFID com custos extremamente menores. Porém, seu desempenho não é inferior, pois entre as etiquetas passivas de RFID há um nó sensor com o leitor de RFID que coleta os dados dessas etiquetas e o transmite para os outros nós sensores na rede. A desvantagem está no nó sensor com leitor de RFID móvel, caso o mesmo falhe as etiquetas passivas podem não ser mais encontradas até que um outro nó sensor com o leitor de RFID móvel se aproxime.

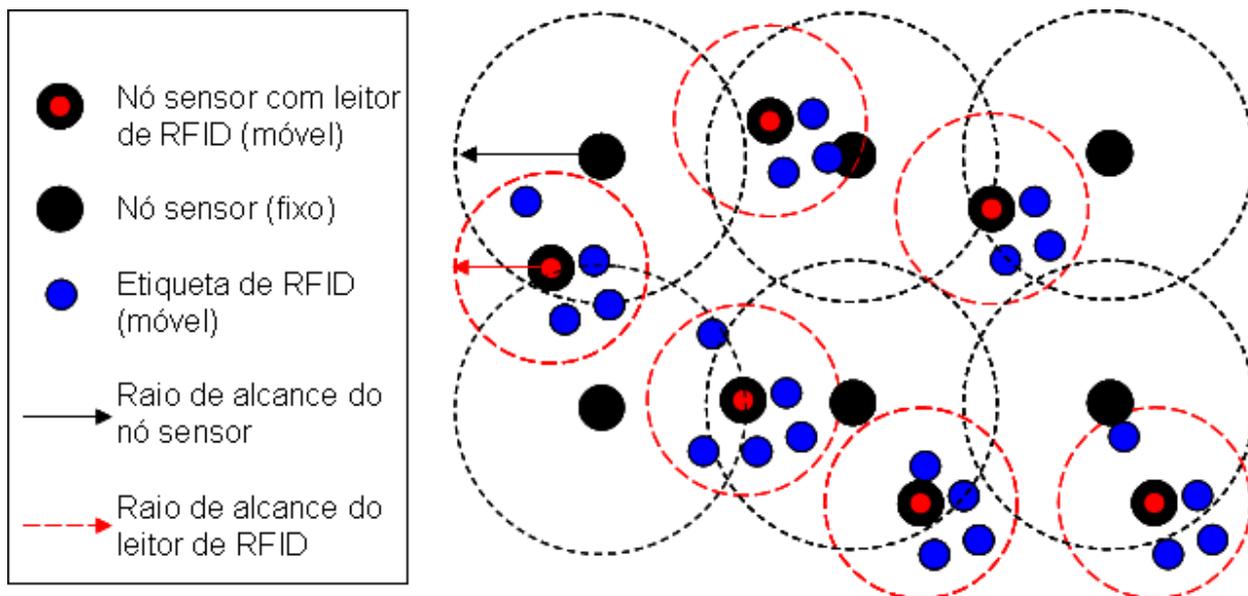


Figura 4.5: Etiquetas de Curto Alcance.

Cada componente da arquitetura possui as seguintes funcionalidades:

**Nó sensor com leitor de RFID móvel** Esse nó sensor é o principal componente da arquitetura, pois além de executar as tarefas normais de um nó sensor, tem como objetivo ler as etiquetas de RFID passivas ao seu redor e enviar as informações para os nós sensores fixos. Conforme exposto, esse nó sensor deve ser fixado no objeto móvel principal de um grupo. Pode ser observado na Figura 4.5 que o nó sensor possui dois raios de alcance. Um deles é o raio de alcance para a leitura da etiqueta (pontilhado vermelho) e o outro (pontilhado preto), responsável por realizar a comunicação entre os nós sensores;

**Nó sensor (fixo)** O nó sensor fixo é distribuído na área que se deseja monitor e rastrear os animais/objetos. Os nós sensores de RFID móvel enviam os dados coletados das etiquetas passivas para os nós sensores fixos, e os mesmos tratam de enviar os dados coletados para a estação servidora (nó *sink*) por meio de multisaltos;

**Etiqueta de RFID (móvel)** Essas etiquetas são as etiquetas passivas de RFID. Devem ser fixadas nos animais/objetos secundários, ou seja, animais/objetos que permanecem próximos dos nós sensores com o leitor de RFID.

### 4.3.1 Funcionamento do Nó Sensor

Nessa arquitetura temos dois tipos de nós sensores: nó sensor fixo e nó sensor com leitor de RFID móvel. O nó sensor com leitor de RFID já foi apresentado na Seção 4.2.1. Porém, nessa arquitetura ele é móvel e precisa operar com algumas particularidades.

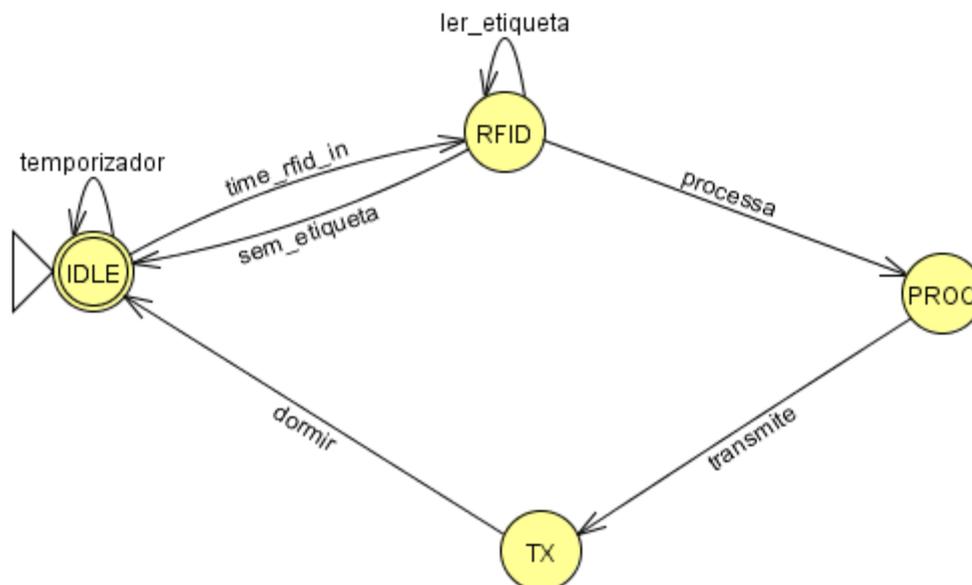


Figura 4.6: Modo de operação do nó sensor com leitor de RFID móvel.

O principal objetivo do nó sensor com leitor de RFID móvel é coletar os dados das etiquetas passivas, transmiti-los para os nós sensores fixos ou até mesmo armazenar os dados para transmissão posterior. Outro aspecto que precisa ser salientado é quanto ao seu tamanho e peso, pois precisa ter pequenas dimensões e leve o suficiente para fixá-los em pequenos animais/objetos. Uma funcionalidade que pode ser removida desse nó sensor é uso de sensores, deixando-o mais leve e com um consumo de bateria menor. O diagrama da Figura 4.6 ilustra os estados do nó sensor durante sua operação, assim como a função de transição. Os detalhes do processamento do autômato foi apresentado no trabalho de Pereira et. al. em [25].

A descrição completa das funcionalidades de cada estado foi exposta na Seção 4.2.1, segue algumas particularidades encontradas para essa arquitetura:

**IDLE** O nó sensor permanece nesse estado enquanto o temporizador não chegar a um valor pré-determinado para ir ao estado *RFID* por meio da transição “*time\_rfid\_in*”. Essa é a única operação realizada nesse estado;

**RFID** Nesse estado o leitor de RFID é ligado e realizado a leitura no ambiente, havendo etiquetas executa a transição “*processa*”. Nessa arquitetura a probabilidade de o leitor encontrar uma quantidade de etiquetas é grande, pois devido ao comportamento dos objetos móveis secundários, eles estarão sempre ao redor do nó sensor principal;

**PROC** Nessa arquitetura esse estado pode conter informações que não foram transmitidas. Portanto, além de realizar as operações de tratamento, validação e/ou

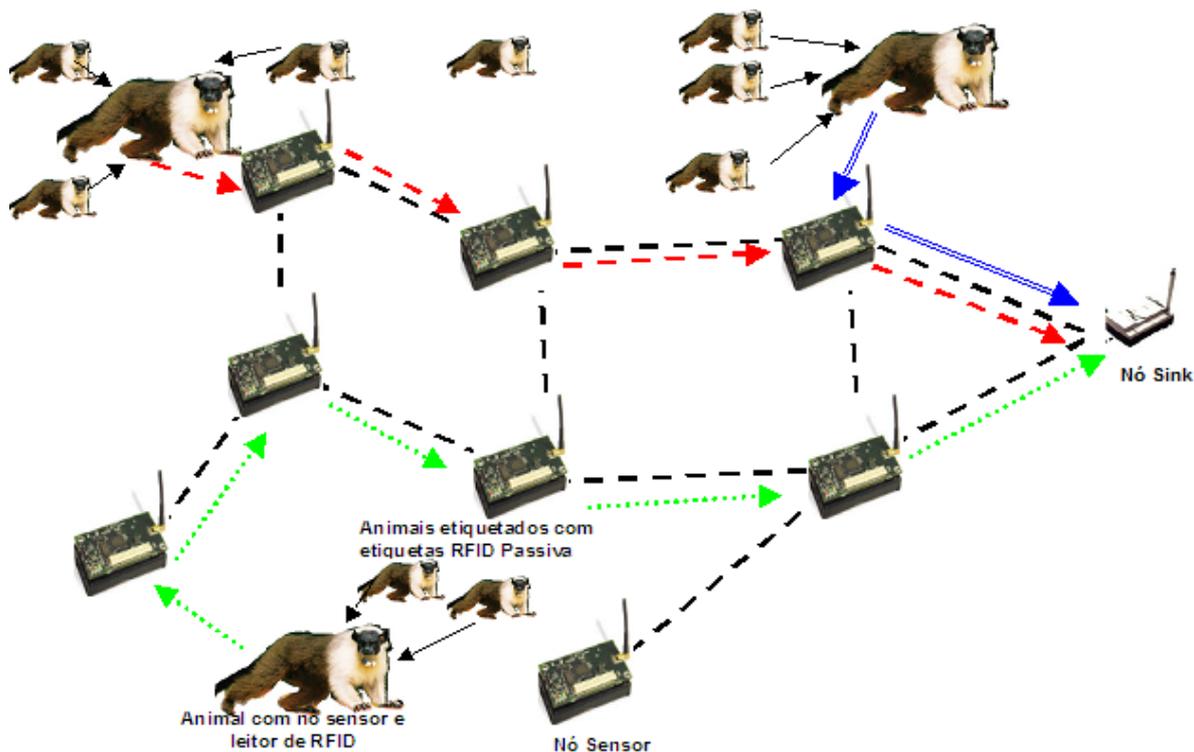


Figura 4.7: Comportamento da arquitetura de curto alcance.

compressão dos dados, deve agrupar os dados para transmissão;

**TX** Transmite os dados coletados das etiquetas de RFID passiva para o nó sensor fixo.

O nó sensor fixo opera normalmente como um nó sensor comum em qualquer RSSF. Para esse nó sensor é transparente se os dados trafegados é de uma etiqueta de RFID ou não. A função principal é coletar os dados dos nós sensores móveis e enviá-los para a estação servidora (nó *sink*). Esses nós sensores podem realizar o sensoriamento (temperatura, umidade, etc...) do ambiente, pois em certos momentos pode ser interessante saber porque uma quantidade de animais está se concentrando em determinadas áreas do ambiente monitorado. A Figura 4.7 ilustra o comportamento da rede até os dados chegarem na estação servidora (nó *sink*).

### 4.3.2 Impactos no nó sensor

Essa arquitetura faz uso das etiquetas de RFID passivas, portando o leitor de RFID é menor, e normalmente possui um consumo inferior aos leitores de etiquetas ativas. Usufruindo desses aspectos, podemos rastrear e monitorar objetos móveis menores.

O leitor de RFID que estaremos abordando nessa arquitetura será o TAGSYS Medio S002 [41], o qual o MICAz [38] realizará o gerenciamento. O Medio S002 opera com tensão entre 4 a 6 volts e uma potência de 250mw. A taxa máxima de transferência

é 38,4Kbps. Tomando como base as baterias AA de 2200mAh e supondo que o leitor trabalhe constantemente, teríamos o tempo de vida de apenas:

$$\frac{2200mAh * 6V}{250mw} = 52,8h \quad (4.5)$$

Em nossa arquitetura o nó sensor com o leitor de RFID é o líder do grupo, ao seu redor estarão outros objetos móveis com etiquetas passivas de RFID. Assumindo que no momento em que o leitor realizará a leitura dos dados haverá 5 etiquetas passivas, sendo que cada etiqueta transmite cerca de 2 bytes. Portanto, o tempo de leitura é dado por:

$$\frac{(5 * 2) * 8bits}{38,4Mbit/s} = 2,08ms \quad (4.6)$$

O consumo de corrente do leitor Medio S002 leva 10ms para acordar do modo de hibernação, seu consumo em funcionamento é de 115mA, quando o leitor está desligado é 18mA, assumindo que o leitor realizará leituras a cada minuto, podemos obter uma corrente média durante um minuto de:

$$\frac{(2,08ms * 115mA) + (10ms * 18mA)}{60 * 1000ms} = 0,00699mA \quad (4.7)$$

Substituindo na Equação 4.4, o consumo do leitor de RFID ativo pelo passivo, temos o tempo de vida da bateria de:

$$\frac{(2200mAh)}{0,00699mA + 0,017mA + 0,092mA} = 18967h = 2,1anos \quad (4.8)$$

O cálculo de consumo ao ler uma etiqueta e o consumo do nó sensor, nos permite apresentar um gráfico comparativo entre a quantidade de etiquetas lidas e o tempo de vida total da bateria. Esse gráfico pode ser observado na Figura 4.8.

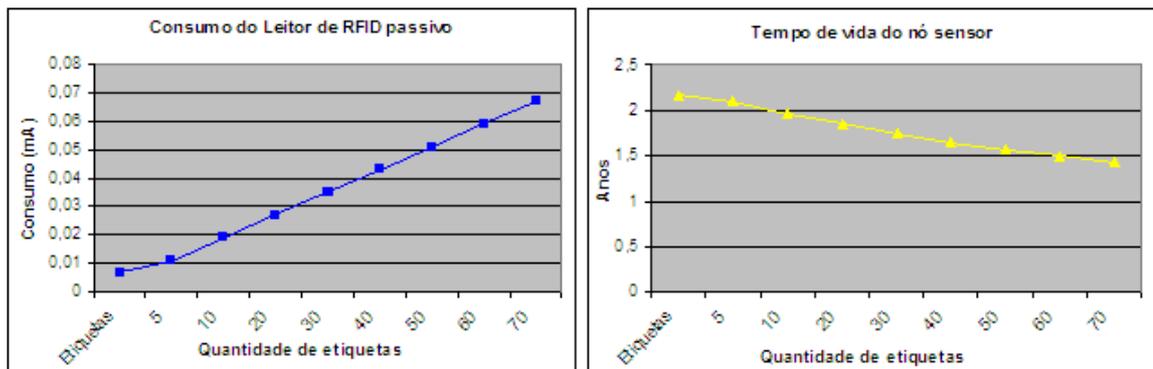


Figura 4.8: Consumo do nó sensor com leitor de RFID passivo.

Tendo em vista que o raio de alcance do leitor de RFID passivo possui limitações que chegam a um alcance de 3 metros para HF [4], fica claro que é inviável o leitor conseguir ler muitas etiquetas ao mesmo tempo.

### 4.3.3 Camada de comunicação

Na Seção 4.2.3 foi apresentado as métricas das RSSF, assim como as diferenças entre as redes de dados convencionais e o acesso ao canal. Nessa seção nos concentramos em apontar as diferenças entre as arquiteturas propostas e expor os aspectos relevantes da arquitetura.

Diferente da arquitetura anterior, nessa arquitetura temos nós sensores móveis que estarão se comunicando com os nós sensores fixos. O nós sensores fixos formam a estrutura de rede para a comunicação dos dados a serem enviados até a estação servidora (nó *sink*). Eles são responsáveis por realizar o roteamento, auto-organização, auto-configuração entre outras tarefas implícitas que são de tarefas dos nós sensores.

Os nós sensores móveis precisam economizar o máximo de bateria possível. Por isso, esses nós sensores não realizam qualquer tipo de configuração de rede, roteamento entre outras tarefas. Eles agem como *beacons*, isto é, transmitem os dados coletados das etiquetas passivas em tempos pré-determinados. Porém, os *beacons* transmitem dados sem se importar se os dados foram recebidos por alguém, no nosso caso não podemos perder esses dados, dessa forma antes de realizar a transmissão dos dados, é verificado se há algum canal estabelecido entre o nó sensor móvel e o nó sensor fixo.

# Capítulo 5

## Implementação do Sistema

Esse capítulo é dividido em duas seções principais: *Hardware* e *Software*. A Seção 5.1 apresenta detalhes da integração de *hardware* que foram implementados para unir as duas tecnologias, RSSF e RFID, assim como os obstáculos encontrados. Na Seção 5.2 são detalhados os requisitos do sistema, protocolo de comunicação, *software* adaptador e a *interface* com o usuário.

### 5.1 Hardware

O nó sensor com o leitor de RFID (Nó sensor especial) é o componente principal em ambas arquiteturas propostas. Porém, atualmente não existe nenhum dispositivo com a capacidade de realizar a comunicação com as RSSFs por meio do protocolo Zigbee e comunicação com as etiquetas de RFID por meio das frequências disponíveis. Um modelo ideal de nó sensor com esse propósito pode ser visualizado na Figura 5.1 onde temos cinco componentes: (i) leitor de RFID para a aquisição dos dados das etiquetas de RFID; (ii) transceptor para a comunicação com a RSSF; (iii) o módulo de sensoriamento; (iv) o microprocessador (CPU) para realizar o controle dos módulos e (v) por fim a fonte de alimentação única para todos os módulos. Os componentes integrados no mesmo dispositivo permite um maior gerenciamento e economia de energia, tendo em vista que os dispositivos foram desenvolvidos para o mesmo propósito.

O modelo prático do nó sensor com leitor de RFID contém os mesmos componentes apresentados. Porém, esses componentes não estão integrados no mesmo dispositivo. Na Figura 5.2 podemos observar que há dois componentes distintos. O primeiro é o nó sensor com seus respectivos componentes básicos (Sensor, CPU, Transceptor e Fonte de Alimentação) e o segundo é o leitor de RFID. Ainda na figura é possível observar que a fonte de alimentação é compartilhada com o leitor de RFID e há uma comunicação entre os dispositivos por meio de uma porta serial. Como já exposto durante a dissertação, os nós sensores precisam economizar energia sempre que possível. No entanto, nesse modelo

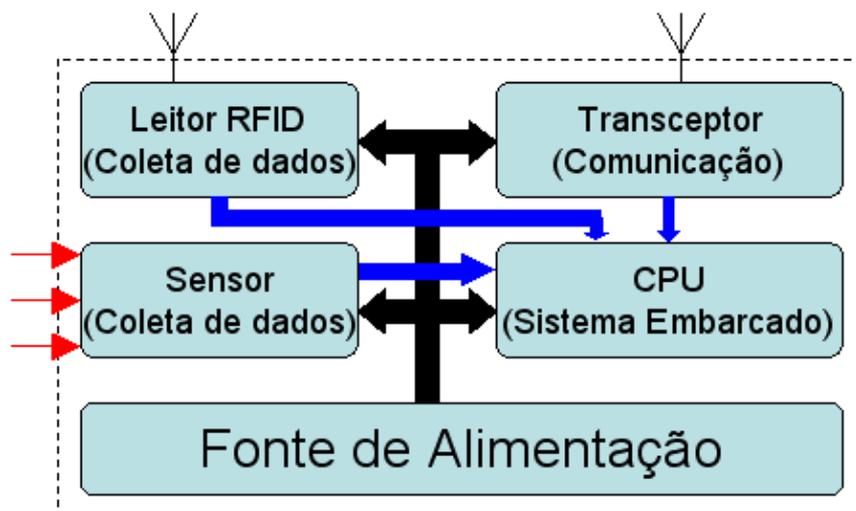


Figura 5.1: Modelo ideal de nó sensor RFID.

temos duas CPUs realizando o processamento, CPU do nó sensor e do leitor de RFID.

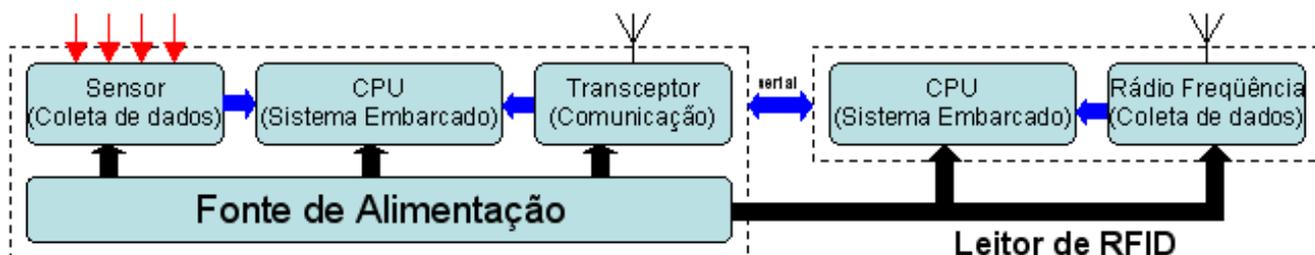


Figura 5.2: Modelo prático de nó sensor RFID.

Atualmente no mercado não temos um nó sensor RFID conforme apresentado no modelo ideal e, até mesmo o modelo prático para aplicações com etiquetas de longo alcance é difícil de ser encontrado, pois normalmente esses dispositivos são grandes e não possuem o propósito de economizar energia. Realizamos pesquisas em busca dos diversos tipos de leitores (etiquetas ativas e passivas) para a avaliação e na presente dissertação optamos por implementar a arquitetura de longo alcance. Os critérios para a escolha do leitor de RFID foram: raio de alcance e consumo de energia. O leitor de RFID escolhido foi o *GAO 2.45GHz* [35] que possui um raio de alcance de 100 metros omnidirecional e porta serial e *ethernet*. A porta serial é apenas para configuração enquanto a porta *ethernet* é usada para configuração e aquisição dos dados. Dessa maneira, como o nó sensor possui apenas porta serial, faz-se o uso de um dispositivo adaptador que será responsável por converter os dados transmitidos pela porta *ethernet* para serial. Dado esse obstáculo, a Figura 5.3 ilustra o modelo do nó sensor RFID implementado.

Devido a existência de periféricos distintos, precisamos fazer uma análise de como integrá-los, pois temos periféricos com diferentes portas de comunicação e diferentes tensões

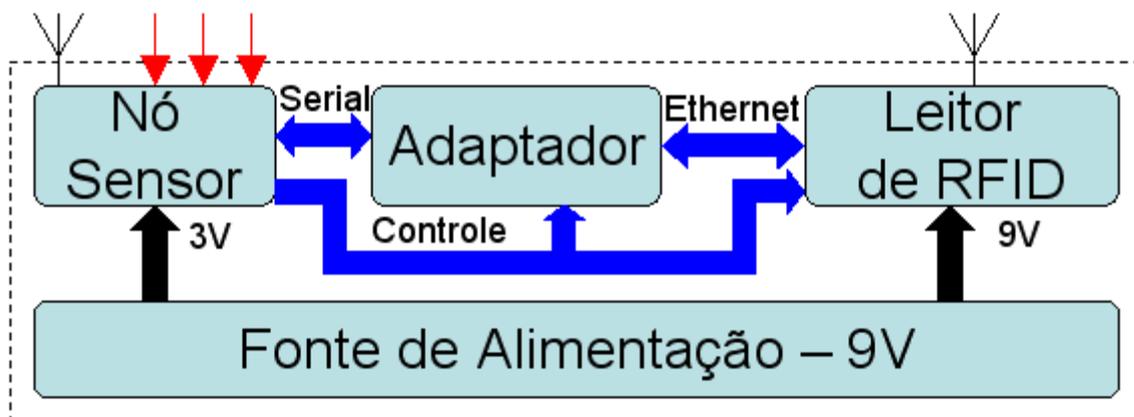


Figura 5.3: Modelo implementado de nó sensor RFID.

de alimentação. A implementação da parte de *hardware* pode ser dividida em três partes: (i) comunicação entre os periféricos; (ii) chave de controle de alimentação do leitor de RFID e adaptador; e (iii) regulador de tensão para o nó sensor.

A comunicação serial entre os periféricos precisa de um circuito auxiliar para compensar a diferença de tensões entre os dispositivos. O nó sensor opera sob uma tensão de 3 (três) volts, enquanto que o dispositivo adaptador opera a 5,5 volts. Portanto, precisamos de um circuito para viabilizar a comunicação serial conforme ilustrado na Figura 5.4. Nesse circuito, os pinos de transmissão e recepção passam por um circuito [11] que compensa a diferença de tensão entre os periféricos, convertendo a tensão de 3V para 5,5V.

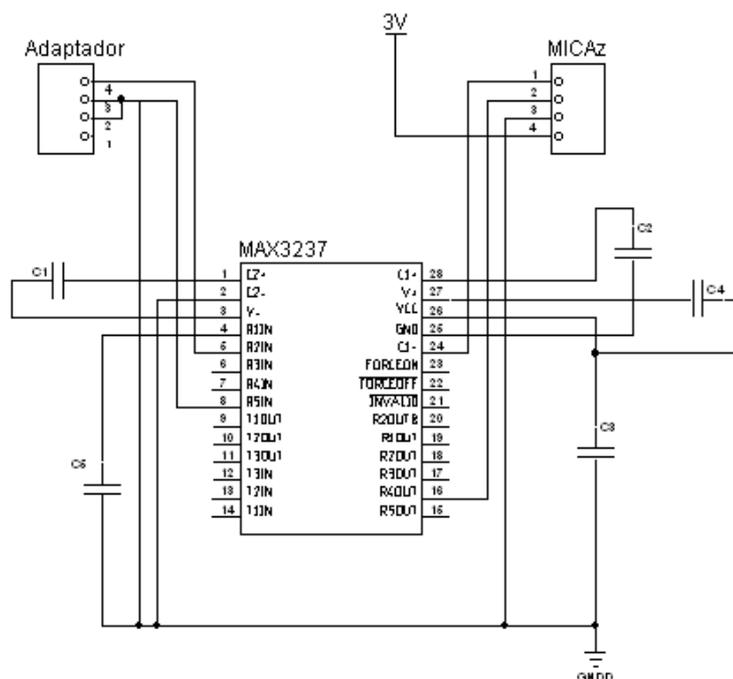


Figura 5.4: Esquemático comunicação serial.

O nó sensor RFID tem como responsabilidade gerenciar as atividades do leitor de RFID. A gerência dessas atividades são realizadas por meio da porta serial do nó sensor. Essas atividades são: escanear o ambiente, enviar os dados coletados e desligar o leitor de RFID. Desligar o leitor de RFID quando estiver inoperante, é uma atividade importante, tendo em vista que a economia de energia nas RSSFs é um aspecto em constante pesquisa. Para realizar essa funcionalidade é preciso adicionar um circuito auxiliar que atue como uma chave digital para a alimentação do leitor de RFID, a Figura 5.5 ilustra um diagrama de bloco do circuito. O circuito funciona como uma chave digital, que ao receber uma tensão libera 9V para a alimentação do leitor de RFID. Essa chave digital pode ser qualquer pino disponível no nó sensor, como por exemplo os pinos dos *leds*.

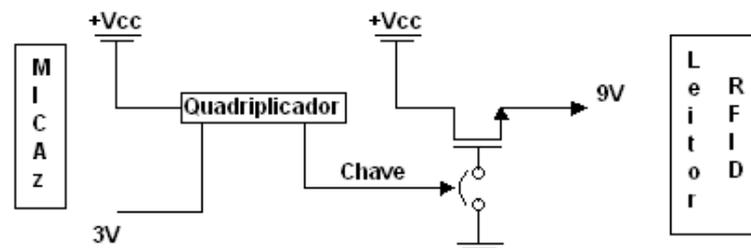


Figura 5.5: Diagrama de Bloco - chave digital.

Conforme já exposto, há uma diferença de tensão entre o nó sensor e o leitor de RFID. Como temos uma única fonte de alimentação para os dois periféricos, precisamos de um regulador de tensão para estabelecer a tensão correta para cada periférico. A Figura 5.6 ilustra o diagrama de bloco do circuito. Uma bateria de 9V alimenta diretamente o leitor de RFID, para alcançar os 3V a tensão é passada pelo circuito integrado NCP1117 que realiza a redução da tensão para 3V [1].

Conforme exposto, o leitor de RFID possui a porta *ethernet* para realizar a configuração e entrega dos dados coletados. Porém, o nó sensor dispõe apenas da porta serial para comunicação. Devido a essa incompatibilidade de portas, precisamos de um adaptador que viabilize a comunicação. Esse dispositivo adaptador precisa realizar a conversão *ethernet* e serial entre os periféricos. Um computador/*notebook* pode ser usado para esse propósito. Existem diversos microcontroladores capazes de fazer essa conversão, como Rabbit [37], XT-Nano [44], entre outros. Em nossos experimentos utilizamos um *notebook* com o sistema operacional linux para fazer a comunicação entre o leitor de RFID e o nó sensor. A Figura 5.7 apresenta o *notebook* como adaptador entre o leitor de RFID e o nó sensor usado em nossos experimentos, ao lado esquerdo é possível observar o nó sensor conectado ao *notebook* por meio do cabo serial e ao lado direito está o leitor de RFID conectado por meio de um cabo de rede.

A adição de um novo periférico no sistema não é bem vista, pois temos mais um

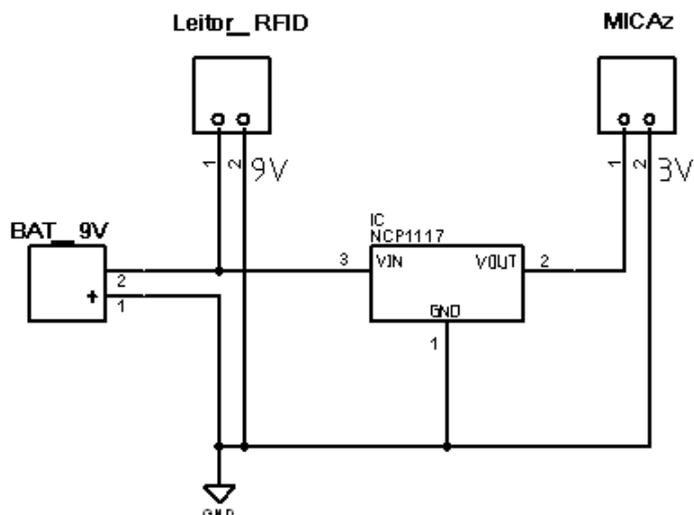


Figura 5.6: Diagrama de Bloco - divisor de tensão.



Figura 5.7: Nó Sensor Especial Implementado

dispositivo à consumir energia. Porém, devido a indisponibilidade de um leitor de RFID com comunicação serial, tivemos que optar por usar um dispositivo adaptador para validar nossa arquitetura. Vale ressaltar que na presente arquitetura esses dispositivos estarão fixados em locais pré-determinados, onde terão fácil acesso para a substituição da fonte de alimentação.

No mercado existem leitores de RFID que permitem a configuração total do dispositivo e aquisição dos dados pela porta serial. Entretanto, esses dispositivos normalmente são utilizados em baixas frequências e possuem um curto raio de alcance. Atualmente é inviável encontrar um nó sensor RFID ideal, porém um leitor de RFID para alta frequência com longo raio de alcance para etiquetas ativas que permita realizar transferência dos dados pela porta serial eliminaria a necessidade do adaptador e tornaria o sistema mais viável.

## 5.2 Software

Nesse capítulo são abordados os requisitos do sistema, as implementações do nó sensor, do dispositivo adaptador e da *interface* com o usuário para o sistema de monitoramento e rastreamento de animais. As implementações aqui descritas são similares para ambas arquiteturas, havendo uma particularidade na arquitetura de Curto Alcance.

### 5.2.1 Requisitos do sistema

Nessa seção são definidos os requisitos do sistema para monitoramento e rastreamento de animais. Devido a esse sistema atuar em ambientes externos para monitoramento de animais em seu *habitat* natural, alguns dos requisitos aqui expostos foram definidos e avaliados por biólogos que atuam na área de monitoramento de animais. O animal que estamos tratando é o Sauim de Coleira, mas o sistema pode ser empregado a outros animais e até mesmo outros objetos móveis. Esse trabalho está inserido em um projeto maior direcionado para o monitoramento da fauna terrestre amazônica tendo como objeto de estudo as populações de espécies dos primatas saium de coleiras.

Os requisitos funcionais aqui apresentandos são para ambas arquiteturas de longo e curto alcance:

- Realizar monitoramento do ambiente a cada dez segundos. Ao coletar dados, enviá-los a estação base, caso não haja nenhum nó sensor ao alcance, armazenar a informação para envio posteriormente;
- Enviar log de atividades a cada cinco minutos de inatividade. Isto é, a cada cinco minutos sem detectar a presença de nenhum objeto na área, deverá ser enviada uma informação de atividade;
- Atualizar informações na *interface* de visualização a cada 10 (dez) segundos;
- Armazenar as informações coletadas permitindo a consulta dos dados posteriormente.

Os requisitos não-funcionais aqui apresentados são para ambas arquiteturas de longo e curto alcance:

- Os dispositivos móveis que compõem a arquitetura devem possuir um tempo de vida superior a 2 (dois) anos. Isto é, o animal/objeto não deve ser recapturado para substituir o dispositivo por pelo menos 2 anos;
- Os dispositivos fixos que compõem a arquitetura devem possuir um tempo de vida superior a 1 (um) ano;

- Permitir rastrear os animais/objetos identificados. Isto é, saber por onde o mesmo entrou na área monitorada, por onde caminhou, por quanto tempo ficou em determinada região e por onde saiu;
- Prover a *interface* para visualização das atividades no ambiente monitorado pelo computador;
- O peso do dispositivo móvel fixo no animal não deve exceder 5% do seu peso.

### 5.2.2 Nó Sensor Especial

De acordo com os requisitos apresentados na Seção 5.2.1, as atividades do nó sensor especial para Arquitetura de Longo Alcance compreende as seguintes tarefas:

**Controlar o Leitor de RFID** O controle do leitor de RFID consiste em ligar/desligar o leitor e enviar o comando de leitura da etiquetas. O comando de leitura deve ser executado a cada 10 (dez) segundos;

**Transmitir os dados coletados** Ao receber os dados do leitor de RFID ou do adaptador, deve-se enviar as informações a estação servidora;

**Retransmitir os dados coletados** Ao receber dados de outros nós sensores, reenviá-los para os nós adjacentes;

**Transmitir informação de inatividade** Enviar um pacote de inatividade a cada 5 (cinco) minutos.

O leitor de RFID possui uma API (*Application Programming Interface* ou *Interface de Programação de Aplicativos*) com os comandos disponíveis para configuração e requisição de dados. Entretanto, o único comando que estaremos realizando durante a operação será o de ler etiquetas, isto é, realizar a varredura no ambiente em busca de etiquetas. Outras configurações, como potência do sinal, modo de operação, endereço IP (*Internet Protocol*, ou Protocolo de internet) e etc, são realizadas antes da distribuição do leitor.

A estrutura de dados para enviar o comando de ler etiquetas é apresentado na Figura 5.8. A API completa pode ser observada no Apêndice A. Esse comando poderia ser executado tanto no nó sensor, quanto no dispositivo adaptador que é abordado em 5.2.3. No entanto, independente de onde implementarmos esse comando, temos uma vantagem e uma desvantagem. Ao implementá-lo no nó sensor, podemos substituir o dispositivo adaptador facilmente, tendo em vista que o comando está presente no nó sensor e o dispositivo adaptador funcionará apenas como uma ponte. Porém, ao implementarmos no dispositivo adaptador, teremos menos tráfego de dados na serial, onde poderíamos apenas enviar um comando de 1(um) *byte* ao dispositivo adaptador. Por definição de projeto, optamos pela segunda opção, maiores detalhes da implementação poderão ser observados na Seção 5.2.3.

```
1 typedef __packed struct
2 {
3     char logo[10]; // palavra BISA_RFID
4     char ver[2]; // versão do protocolo
5     u16 len; // tamanho do pacote: preambulo e dados
6     u16 cmd; // comando = 0x15
7     u8 content[32]; // configuração do protocolo
8     u8 buf[1300]; // dados das etiquetas de RFID
9 } Net_CMD;
```

Figura 5.8: Comando leitor RFID - Ler Etiquetas.

```
1 static void turnonRFID() {
2     call Leds.led1On();
3 }
4
5 static void turnoffRFID() {
6     call Leds.led1Off();
7 }
```

Figura 5.9: Trecho de código: Ligar/desligar leitor de RFID.

O controle de ligar o leitor de RFID é realizado por meio de um pino conectado entre o leitor de RFID e o nó sensor. O nó sensor possui um temporizador que a cada 10 (dez) segundos ativa esse pino ligando o leitor de RFID e o dispositivo adaptador. O leitor de RFID e o dispositivo adaptador permanecem ligados durante 4 (quatro) segundos, tempo em que o leitor de RFID realiza 4 (quatro) leituras no ambiente. A cada segundo é realizada uma leitura e os dados coletados são enviados para o dispositivo adaptador que os envia para o nó sensor. Os métodos de ligar e desligar o leitor de RFID podem ser observados na Figura 5.9. Para a exemplificação do funcionamento do sistema utilizamos o pino do *led* disponibilizado na própria plataforma do nó sensor.

Outra tarefa que o nó sensor especial realiza é o envio de um pacote avisando que o sistema como um todo está em funcionamento quando não houver nenhuma detecção de dados durante os últimos 5 (cinco) minutos. Para isso, o temporizador é novamente requisitado. Por meio de uma variável contadora analisamos o período de inatividade e enviamos um pacote para a estação servidora. Com base nesse pacote, podemos ter conhecimento do funcionamento de todo o sistema. O trecho do código pode ser observado na Figura 5.10. A variável *activity* é incrementada a cada estouro do temporizador e a

```
1 ...
2 if (activity > NOACTIVITY) {
3     // send an empty message
4     int k;
5     rfidtag_t *out (rfidtag_t *) call Send.getPayload(&sendbuf);
6     for (k = 0; k < TAG_LEN; k++) {
7         local.tag_id[k] = 0xFF;
8     }
9     local.counter++;
10    memcpy(out, local, sizeof(local));
11    post radioSendTask();
12    atomic {
13        activity = 0;
14    }
15 }
```

Figura 5.10: Trecho de código: Enviar pacote de inatividade.

definição *NOACTIVITY* corresponde ao número de vezes que a variável deve contar até chegar em 5 (cinco) minutos. Logo após essa condição ser estabelecida uma nova mensagem é criada e enviada. Essa mensagem é diferenciada preenchendo os dados das etiquetas com o valor *0xFF*, permitindo o sistema reconhecer que é apenas uma mensagem de controle.

Com o objetivo de economizar energia, desligamos o leitor de RFID e o dispositivo adaptador. Nesse momento algumas funcionalidades do nó sensor, como a transmissão e recepção por meio do rádio e serial estariam desabilitadas. Isso somente é possível havendo um sincronismo entre os nós sensores na rede, portanto, assumimos que os nós sensores estão sincronizados pelo mesmo temporizador. Dessa maneira, os nós sensores dormem todos aos mesmo tempo.

A coleta de dados até a estação servidora é um requisito comum das RSSFs. Os algoritmos e protocolos devem ser projetados para prover robustez e um mecanismo eficiente de energia para aumentar o tempo de vida do sistema. Atualmente existem diversos trabalhos [7, 46, 49] sendo desenvolvidos para maximizar a eficiência do consumo de energia.

O TinyOS provê o protocolo *Collection Tree Protocol* (CTP) que realiza um razoável esforço para entregar a mensagem a pelo menos uma estação servidor na rede. A abordagem usada é a construção de uma ou mais árvores, cada qual com a sua estação servidora. Quando um nó possui um dado que precisa ser coletado, ele envia o dado para cima da árvore e encaminha a coleção do dado para outros nós encaminharem [33, 34].

```
1 ...
2 socktam = sizeof(struct sockaddr_in);
3 meusocket = socket(AF_INET, SOCK_STREAM, 0);
4 ende_ser.sin_family = AF_INET;
5 ende_ser.sin_addr.s_addr = inet_addr("192.168.1.146");
6 ende_ser.sin_port = htons(8900);
7 memset(&(ende_ser.sin_zero), '\0', sizeof(ende_ser.sin_zero));
8 bind(meusocket, (struct sockaddr *)&ende_ser, sizeof(struct sockaddr));
9 listen(meusocket, 1);
10 ...
```

Figura 5.11: *Software* Adaptador - Conexão.

O nó sensor especial é implementado com o protocolo CTP permitindo um melhor uso da energia.

O nó sensor para Arquitetura de Curto Alcance possui todas as funcionalidades até o momento apresentadas. Entretanto, como o nó sensor especial para a Arquitetura de Curto Alcance é móvel, nem sempre haverá nós sensores fixos disponíveis para a transmissão dos dados, o mesmo precisa de recursos para o armazenamento dos dados coletados durante o período que estiver distante do raio de alcance dos nós sensores fixos conforme exposto na Seção 4.3.1.

### 5.2.3 Software Adaptador

O *software* adaptador é um aplicativo que recebe dados por meio da porta *ethernet* e o transmite por meio da porta serial. Esse *software* adaptador existe devido a uma incompatibilidade das portas de comunicação entre os dispositivos no sistema.

O leitor de RFID se comunica por meio de *socket* (conexões). Essas conexões são estabelecidas no momento em que se deseja transmitir ou receber dados. O leitor de RFID funciona como um cliente, enquanto que o nó sensor é o servidor. A troca de mensagens obedece um protocolo de comunicação que permite o *software* adaptador coletar os dados do leitor de RFID. Como estamos trafegando informações por meio do TCP/IP, ambos dispositivos precisam ter um IP (*Internet Protocol*) válido para a comunicação. Quando o nó sensor especial ligar o leitor de RFID e o *software* adaptador, o *software* adaptador abre uma conexão com o leitor de RFID por meio de um IP pré-determinado. A Figura 5.11 apresenta um trecho do código para realizar a conexão com o leitor de RFID por meio do endereço IP 192.168.1.146 e porta do *socket* 8900.

Após a conexão estabelecida com o leitor de RFID, o *software* adaptador entra em um laço de repetição infinito. Dentro do laço de repetição, o *software* adaptador requisita

```
1 ...
2 const char cmd_lerbuffer[] = {66, 73, 83, 65, 95, 82, 70, 73, 68, 00, 00, 01, 48, 00, 21};
3 char cmd[CMD_SIZE];
4 memset(cmd, '\\0', CMD_SIZE);
5 memcpy(cmd, cmd_lerbuffer, sizeof(cmd_lerbuffer));
6 send(sockcon, cmd, CMD_SIZE, 0);
7 ...
```

Figura 5.12: *Software* Adaptador - Recuperar *buffer* do Leitor de RFID.

dados do *buffer* de leitura do leitor de RFID periodicamente. O *buffer* recuperado é validado e enviado para o nó sensor por meio da porta serial. O comando de leitura pode ser observado na Figura 5.12. A constante *lerbuffer* contém o comando de leitura que é enviado ao leitor de RFID por meio do comando *send()*.

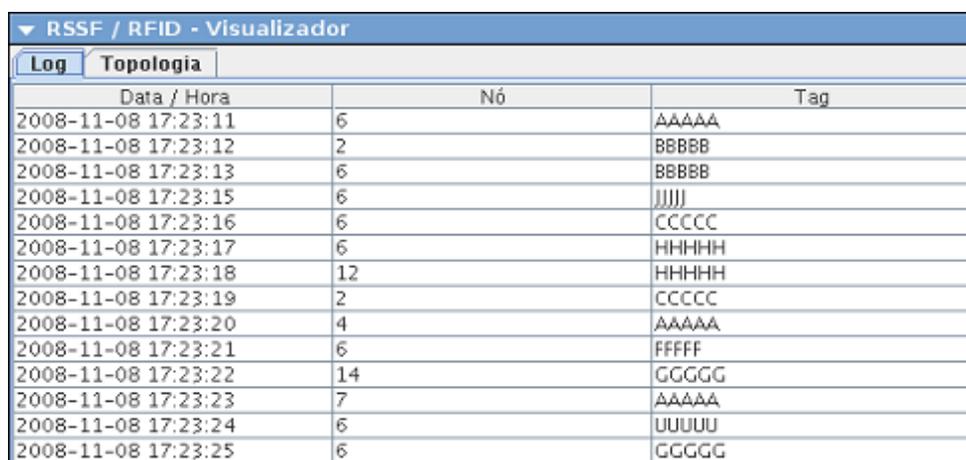
A estrutura da etiqueta de RFID é formada por 9 (nove) *bytes*, sendo 6 (seis) *bytes* disponíveis para a escrita que correspondem ao identificador da etiqueta (ID). Por definição de projeto optamos por enviar apenas 3 (três) *bytes* do ID da etiqueta e 1 (um) *byte* correspondente ao *status* da bateria. Portanto, cada etiqueta lida corresponde a 4 (quatro) *bytes* que são transmitidos. Enviando 4 (quatro) *bytes* ao invés dos 9 (nove) *bytes*, reduzimos o tráfego na rede sem prejudicar o sistema. Caso os números de animais monitorados pelo sistema ultrapassem os 3 (três) dígitos, teremos que aumentar a estrutura da mensagem.

### 5.2.4 *Interface* gráfico do usuário

A estação servidora deve ser conectada a um *notebook* ou computador pessoal (PC). Uma GUI (*Guide User Interface* ou *Interface* gráfica do usuário) foi desenvolvida para apresentar e armazenar as informações coletadas no ambiente monitorado. O usuário pode verificar o instante em que uma etiqueta foi detectada, quanto tempo permaneceu naquele ponto, o trajeto realizado pelo objeto entre outras funcionalidades.

A GUI é uma aplicação Java flexível que permite o usuário coletar as informações em tempo real, coletar do simulador ou ler arquivos pré-formatados com o estado da rede durante um determinado período de tempo. A tela da GUI é ilustrada na Figura 5.13. À esquerda temos uma aba contendo dois modos de visualização dos dados. O primeiro é uma tabela com as informações: hora da detecção, identificador da etiqueta e identificador do nó sensor. Essa tela pode ser observada na Figura 5.14. A segunda é uma visualização da grade do ambiente, onde os nós estão posicionados. Ao se detectar a presença de uma etiqueta pela primeira vez, seu ID é apresentado abaixo do nó sensor em vermelho com

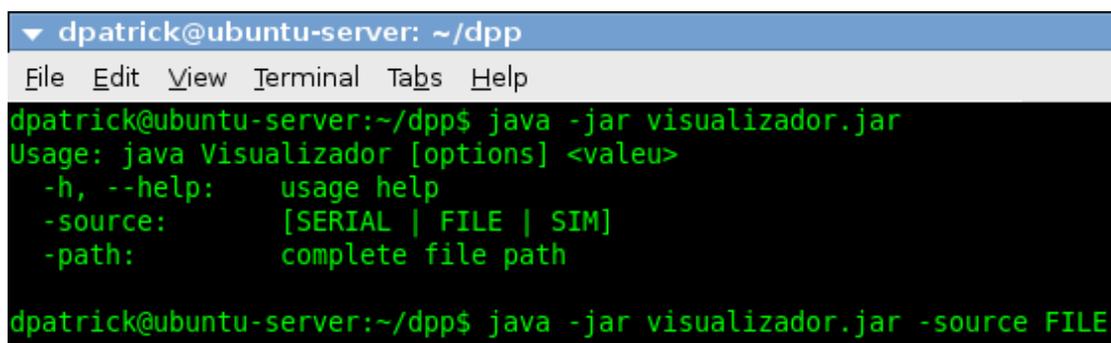




The screenshot shows a window titled "RSSF / RFID - Visualizador" with two tabs: "Log" (selected) and "Topologia". Below the tabs is a table with three columns: "Data / Hora", "Nó", and "Tag". The table contains 14 rows of data.

Data / Hora	Nó	Tag
2008-11-08 17:23:11	6	AAAAA
2008-11-08 17:23:12	2	BBBBB
2008-11-08 17:23:13	6	BBBBB
2008-11-08 17:23:15	6	JJJJJ
2008-11-08 17:23:16	6	CCCCC
2008-11-08 17:23:17	6	HHHHH
2008-11-08 17:23:18	12	HHHHH
2008-11-08 17:23:19	2	CCCCC
2008-11-08 17:23:20	4	AAAAA
2008-11-08 17:23:21	6	FFFFF
2008-11-08 17:23:22	14	GGGGG
2008-11-08 17:23:23	7	AAAAA
2008-11-08 17:23:24	6	UUUUU
2008-11-08 17:23:25	6	GGGGG

Figura 5.14: Interface gráfica do usuário - Tabela.



The screenshot shows a terminal window with the prompt "dpatrick@ubuntu-server: ~/dpp". The user has entered the command "java -jar visualizador.jar" and received the following usage information:

```
dpatrick@ubuntu-server:~/dpp$ java -jar visualizador.jar
Usage: java Visualizador [options] <valeu>
  -h, --help:      usage help
  -source:         [SERIAL | FILE | SIM]
  -path:           complete file path

dpatrick@ubuntu-server:~/dpp$ java -jar visualizador.jar -source FILE
```

Figura 5.15: Interface gráfica do usuário - Executar aplicação.

# Capítulo 6

## Avaliação do Sistema

Este capítulo tem como objetivo apresentar os resultados da aplicação das duas arquiteturas propostas por meio de simulações. Com este objetivo, primeiramente apresentamos os resultados alcançados por meio do simulador e do sistema visualizador. No simulador são gerados valores aleatórios para simular a detecção de etiquetas. O *software* de visualização por sua vez interpreta esses valores e apresenta ao usuário de forma amigável. Finalmente, os experimentos são apresentados na arquitetura de Longo Alcance. Os resultados práticos alcançados levaram em consideração a capacidade dos dispositivos de *hardware*, como o nó sensor e o leitor de RFID.

### 6.1 Simulação

Esta seção apresenta os resultados das simulações entre as duas arquiteturas propostas. Primeiramente exemplificamos como as simulações foram realizadas, assim como o ambiente de simulação. Em seguida executamos a aplicação e apresentamos os resultados. Cada arquitetura possui sua própria implementação da aplicação do nó sensor especial. A principal diferença entre as arquiteturas está na estrutura da mensagem, pois na arquitetura de Curto Alcance temos dois tipos de nós sensores, o nó sensor especial móvel e o nó sensor fixo. Portanto, na arquitetura de Curto Alcance os dados são coletados das etiquetas de RFID e apenas são transmitidos a estação servidora no momento da detecção dos nós sensores fixos espalhados pela região monitorada.

Simulações foram realizadas usando o TOSSIM. Essas simulações ajudam a testar, validar e melhorar a implementação da aplicação. O TOSSIM provê *interfaces* para execução de aplicações do TinyOS, permitindo o usuário escrever programas em C, C++ ou *Python*. Além disso, para executar as aplicações de acordo com o ambiente em questão, o TOSSIM permite especificar a topologia e o comportamento do canal adicionando ganho e/ou ruído [24].

A construção da topologia da rede baseia-se em um arquivo de configuração que contém

```
1 PATH_LOSS_EXPONENT = 4.7;
2 SHADOWING_STANDARD_DEVIATION = 3.2;
3 D0 = 1.0;
4 NOISE_FLOOR = -105.0;
5 S11 = 0;
6 S22 = 0;
7 WHITE_GAUSSIAN_NOISE = 4;
8 TOPOLOGY = 1;
9 GRID_UNIT = 100.0;
10 NUMBER_OF_NODES = 16;
```

Figura 6.1: Arquivo de configuração - TOSSIM.

os parâmetros: canal, rádio e topologia. Configuramos o arquivo para criar uma topologia em grade (*grid*), contendo 16 nós a uma distância de 100 metros entre eles. Outros parâmetros como ruído branco, atenuação do sinal foram deixados como padrão. Essa topologia permite monitorar uma área de 300m  $\times$  300m. A Figura 6.1 ilustra o arquivo de configuração.

### 6.1.1 Simulação - Arquitetura de Longo Alcance

Na simulação utilizamos a linguagem *Python* para gerar nossos *scripts*. O *script* cria uma rota aleatoriamente para uma dada origem e destino. Essa rota é seguida durante todo o caminho até chegar em seu destino. Ao alcançar o destino o simulador gera a detecção de uma nova etiqueta e os passos são repetidos novamente. Criamos uma matriz contendo todos os nós da topologia, uma estrutura de dados contendo os valores das etiquetas de RFID e implementamos uma função que dado uma origem e destino, traça um caminho entre os dois pontos. A detecção de uma etiqueta é realizada por meio de uma mensagem enviada ao nó sensor na topologia da rede. Esse nó sensor ao receber a mensagem, encaminha para a estação servidora utilizando os nós adjacentes para transportar a mensagem.

Primeiramente, compilamos a aplicação para o modo de simulação por meio da tag “sim”, e são gerados arquivos à serem utilizados pelo TOSSIM. O arquivo (tag\_id\_serial\_msg.py) com a estrutura da mensagem é um deles que aparece logo após a compilação. O próximo passo é executar o script para execução da aplicação. A Figura 6.2 apresenta a aplicação em execução, os dados impressos são os valores das etiquetas que foram detectadas e enviadas à estação servidora. Conforme ilustrado na Figura 6.2, podemos observar que a etiqueta A1A2A3A4 passou pelos nós 2, 1 e 15, seguindo o formato: primeiro a palavra “DEBUG (15)” seguido pelo número do nó sensor, na seqüência temos o número do pa-

cote da mensagem seguido pelo número do nó sensor que a detectou e por fim o valor da etiqueta. Essas mesmas mensagens são interpretadas pelo sistema Visualizador, restando apenas executá-lo com a opção de simulador conforme apresentado na Seção 5.2.4.

```
dpatrick@ubuntu-server:~/dpp/WsnRfidApp$ python simulador.py
DEBUG (15): 1 2 A1A2A3A4
DEBUG (15): 2 1 A1A2A3A4
DEBUG (15): 1 15 A1A2A3A4
DEBUG (15): 3 5 B1B2B3B4
DEBUG (15): 4 1 B1B2B3B4
DEBUG (15): 5 15 B1B2B3B4
DEBUG (15): 5 9 B1B2B3B4
DEBUG (15): 6 10 B1B2B3B4
DEBUG (15): 7 6 B1B2B3B4
DEBUG (15): 8 10 B1B2B3B4
DEBUG (15): 9 14 B1B2B3B4
DEBUG (15): 10 13 B1B2B3B4
DEBUG (15): 11 14 B1B2B3B4
DEBUG (15): 12 13 B1B2B3B4
DEBUG (15): 13 14 B1B2B3B4
DEBUG (15): 14 13 B1B2B3B4
DEBUG (15): 15 9 B1B2B3B4
DEBUG (15): 16 8 B1B2B3B4
DEBUG (15): 9 15 B1B2B3B4
DEBUG (15): 17 5 C1C2C3C4
DEBUG (15): 18 1 C1C2C3C4
DEBUG (15): 19 15 C1C2C3C4
DEBUG (15): 19 9 C1C2C3C4
```

Figura 6.2: Rodando aplicação por meio do TOSSIM - Arq. de Longo alcance.

### 6.1.2 Simulação - Arquitetura de Curto Alcance

Conforme exemplificado na Seção 4.3.1, a arquitetura de Curto Alcance possui uma maior densidade. A quantidade de objetos móveis monitorados ficam concentradas em grupos. Portanto, ao transmitir os dados coletados, temos uma maior quantidade de etiquetas do que na arquitetura de Longo Alcance. Com base nesse princípio, a estrutura da mensagem foi modificada permitindo a transmissão de até 2 (dois) valores de etiquetas de RFID simultaneamente.

Similar a arquitetura de Longo Alcance, criamos um *script* em *Python* para realizar a simulação. Durante os testes, assumimos que o nó sensor especial sempre envia 4 (quatro) valores de etiquetas de RFID. Isto é para caracterizar que o líder do grupo está sendo seguido pelos seus membros. O mesmo procedimento de compilação usado na arquitetura de Longo Alcance é executado aqui.

A Figura 6.3 ilustra a execução da aplicação. Novamente temos primeiro a palavra “DEBUG (15)” seguido pelo número do nó sensor, na seqüência o número do pacote. O próximo valor corresponde ao número do nó fixo da arquitetura seguido pelo número do nó sensor especial. Finalmente, os dois últimos valores são os números das etiquetas de RFID. Pode ser observado que cada nó fixo possui duas mensagens, que correspondem as 4 (quatro) etiquetas de RFID que são lidas. Outro ponto que pode ser observado é o

sincronismo dos nós sensores, pois os mesmos vão para o modo de hibernação ao mesmo tempo.

Nas simulações realizadas em ambas arquiteturas o nó com o identificador 15 (quinze) foi considerado como nossa estação servidora. As mensagens enviadas pelos demais nós foram transmitidas utilizando multisaltos. Essas mensagens puderam ser observadas durante as simulações, porém foram suprimidas dos resultados finais.

```

dpatrick@ubuntu-server:~/dpp/WsnRfidAppC$ python simulador.py
DEBUG (15): 1 2 100 A1A2A3A4 B1B2B3B4
DEBUG (15): 2 2 100 C1C2C3C4 D1D2D3D4
DEBUG (15): 3 1 100 A1A2A3A4 B1B2B3B4
DEBUG (15): 4 1 100 C1C2C3C4 D1D2D3D4
DEBUG (15): 1 15 100 A1A2A3A4 B1B2B3B4
DEBUG (15): 2 15 100 C1C2C3C4 D1D2D3D4
DEBUG (15): 5 10 200 A5A6A7A8 B5B6B7B8
DEBUG (15): 6 10 200 C5C6C7C8 D5D6D7D8
DEBUG (15): 7 1 200 A5A6A7A8 B5B6B7B8
DEBUG (15): 8 1 200 C5C6C7C8 D5D6D7D8
DEBUG (15): 9 15 200 A5A6A7A8 B5B6B7B8
DEBUG (15): 10 15 200 C5C6C7C8 D5D6D7D8
DEBUG (15): 9 9 200 A5A6A7A8 B5B6B7B8
DEBUG (15): 10 9 200 C5C6C7C8 D5D6D7D8
DEBUG (15): 11 10 200 A5A6A7A8 B5B6B7B8
DEBUG (15): 12 10 200 C5C6C7C8 D5D6D7D8
DEBUG (15): 13 6 200 A5A6A7A8 B5B6B7B8
DEBUG (15): 14 6 200 C5C6C7C8 D5D6D7D8
DEBUG (15): 15 5 200 A5A6A7A8 B5B6B7B8
DEBUG (15): 16 5 200 C5C6C7C8 D5D6D7D8
DEBUG (15): 17 9 200 A5A6A7A8 B5B6B7B8
DEBUG (15): 18 9 200 C5C6C7C8 D5D6D7D8
DEBUG (15): 19 8 200 A5A6A7A8 B5B6B7B8
DEBUG (15): 20 8 200 C5C6C7C8 D5D6D7D8
DEBUG (15): 21 12 200 A5A6A7A8 B5B6B7B8
DEBUG (15): 22 12 200 C5C6C7C8 D5D6D7D8
DEBUG (15): 23 8 200 A5A6A7A8 B5B6B7B8
DEBUG (15): 24 8 200 C5C6C7C8 D5D6D7D8
DEBUG (15): 25 9 200 A5A6A7A8 B5B6B7B8
DEBUG (15): 26 9 200 C5C6C7C8 D5D6D7D8
DEBUG (15): 27 5 200 A5A6A7A8 B5B6B7B8
DEBUG (15): 28 5 200 C5C6C7C8 D5D6D7D8

DEBUG (15): 52 8 100 C1C2C3C4 D1D2D3D4
DEBUG (15): 53 0 100 A1A2A3A4 B1B2B3B4
DEBUG (15): 54 0 100 C1C2C3C4 D1D2D3D4
DEBUG (15): 9 15 100 A1A2A3A4 B1B2B3B4
DEBUG (15): 10 15 100 C1C2C3C4 D1D2D3D4
DEBUG (15): 55 11 200 A5A6A7A8 B5B6B7B8
DEBUG (15): 56 11 200 C5C6C7C8 D5D6D7D8
DEBUG (15): 57 14 200 A5A6A7A8 B5B6B7B8
DEBUG (15): 58 14 200 C5C6C7C8 D5D6D7D8
DEBUG (15): 59 10 200 A5A6A7A8 B5B6B7B8
DEBUG (15): 60 10 200 C5C6C7C8 D5D6D7D8
Sleep mode...
DEBUG (15): turnOFFRFID/Radio
DEBUG (15): turnonRFID/Radio
DEBUG (15): 61 6 200 A5A6A7A8 B5B6B7B8
DEBUG (15): 62 6 200 C5C6C7C8 D5D6D7D8
DEBUG (15): 63 3 200 A5A6A7A8 B5B6B7B8
DEBUG (15): 64 3 200 C5C6C7C8 D5D6D7D8
DEBUG (15): 65 6 200 A5A6A7A8 B5B6B7B8
DEBUG (15): 66 6 200 C5C6C7C8 D5D6D7D8
DEBUG (15): 67 5 200 A5A6A7A8 B5B6B7B8
DEBUG (15): 68 5 200 C5C6C7C8 D5D6D7D8
DEBUG (15): 69 9 200 A5A6A7A8 B5B6B7B8
DEBUG (15): 70 9 200 C5C6C7C8 D5D6D7D8
DEBUG (15): 71 13 200 A5A6A7A8 B5B6B7B8
DEBUG (15): 72 13 200 C5C6C7C8 D5D6D7D8
DEBUG (15): 73 14 200 A5A6A7A8 B5B6B7B8
DEBUG (15): 74 14 200 C5C6C7C8 D5D6D7D8
DEBUG (15): 75 13 200 A5A6A7A8 B5B6B7B8
DEBUG (15): 76 13 200 C5C6C7C8 D5D6D7D8
DEBUG (15): 77 12 200 A5A6A7A8 B5B6B7B8
DEBUG (15): 78 12 200 C5C6C7C8 D5D6D7D8
DEBUG (15): 79 13 200 A5A6A7A8 B5B6B7B8

```

Figura 6.3: Rodando aplicação por meio do TOSSIM - Arq. de Curto Alcance.

Outro ponto relevante nas simulações é o número do pacote. Esse número é incrementado a cada envio de mensagem e os nós que retransmitirem essa mensagem atualizam o valor do número do pacote para uma próxima transmissão. Durante as simulações chegaram mensagens com o número de pacote igual, porém, como os valores das etiquetas eram distintos, não houve problema ao traçar a rota do objeto monitorado.

## 6.2 Experimentos

Nessa seção são apresentados os experimentos práticos realizados com o leitor de RFID. Os experimentos foram realizados em diferentes locais com o objetivo de avaliar o comportamento do dispositivo em ambientes com obstáculos de metal, madeira e de visada direta. Além disso, é apresentado os casos de uso referentes ao rastreamento de animais.

### 6.2.1 Leitor de RFID

Nós escolhemos a Arquitetura de Longo Alcance para realizar os experimentos práticos. Durante a realização dos experimentos foram considerado três variantes. A primeira delas é o raio de alcance máximo que o leitor consegue capturar as informações da etiqueta. As outras duas variantes são o ganho de leitura do leitor e a periodicidade de leitura realizada em um intervalo de tempo. Baseado nesse contexto foram realizados experimentos variando a distância, ganho do leitor e periodicidade de leitura. O leitor GAO 2.4GHz permite configurar o ganho de 0 à 31 e ajustar o tempo de leitura de 1 à 100 segundos. Diferentes ambientes foram escolhidos para realização dos testes, as vezes os ambientes possuíam obstáculos e as vezes livre de obstáculos. Um ponto importante que notamos durante os testes foi o posicionamento da antena. Enquanto a antena estava na mesma linha de altura da etiqueta de RFID, tínhamos muita perda de pacote, enquanto que ao colocarmos a antena a uma altura superior a etiqueta de RFID, a taxa de erro diminuía consideravelmente.

Escolhemos diferentes cenários para a realização dos experimentos. Cada cenário possuía uma característica diferente para avaliação, como obstáculos de metais, objetos móveis e outros livre de obstáculos. O testes foram realizados da seguinte maneira: (i) primeiramente fixação da antena; (ii) posicionamento da etiqueta de RFID a distâncias de 5, 10, 20, 25, 50, 75 e 100 metros; (iii) variação da periodicidade de leitura entre 20, 10, 5 e 1 segundo. Com exceção do passo (i), os passos (ii) e (iii) foram modificados a cada experimento. A duração dos testes eram de 4 (quatro) minutos em cada configuração. A etiqueta de RFID ficava parada na distância de configuração do teste, a mesma não era movimentada durante os experimentos. Como os experimentos foram realizados com etiquetas de RFID ativas, vale ressaltar que durante os testes as mesmas estavam com carga total na bateria.

A uma distância de 5 metros, o leitor de RFID captura dados da etiqueta de RFID mesmo com o ganho configurado para zero, entretanto, havia perda de pacotes. Configurando o ganho para 8, tivemos um melhor desempenho durante o intervalo de um segundo, porém ainda houve perda de pacotes. Aumentando a distância para 10 metros, obtivemos um melhor desempenho configurando o ganho para 22. Chegando nos 20 metros, para alcançar um melhor desempenho tivemos que configurar o ganho para o seu valor máximo, 31. Os experimentos com 25, 50, 75 e 100 metros apresentaram uma perda de pacote considerada mesmo aumentado o intervalo entre as leituras.

Com o objetivo de ilustrar o desempenho do leitor de RFID em diferentes distâncias e intervalos de tempo, criamos um gráfico com a média dos testes apresentando o percentual de acerto em cada configuração. Para uma melhor visualização dividimos o gráfico em duas figuras. A Figura 6.4 ilustra os resultados dos experimentos a distância de 5, 10 e 20 metros. Podemos perceber que a medida que o intervalo diminui, a taxa de acerto

cai consideravelmente ao chegar em um segundo. Na próxima, Figura 6.5, a distância começa em 25 metros e o percentual de acerto por volta dos 26%. A taxa de acerto cai acentuadamente ao distanciarmos a etiqueta de 50 metros. Nesse gráfico, todas as medidas foram realizadas com a potência máxima do ganho, pois em medidas inferiores a leitura era inviável.

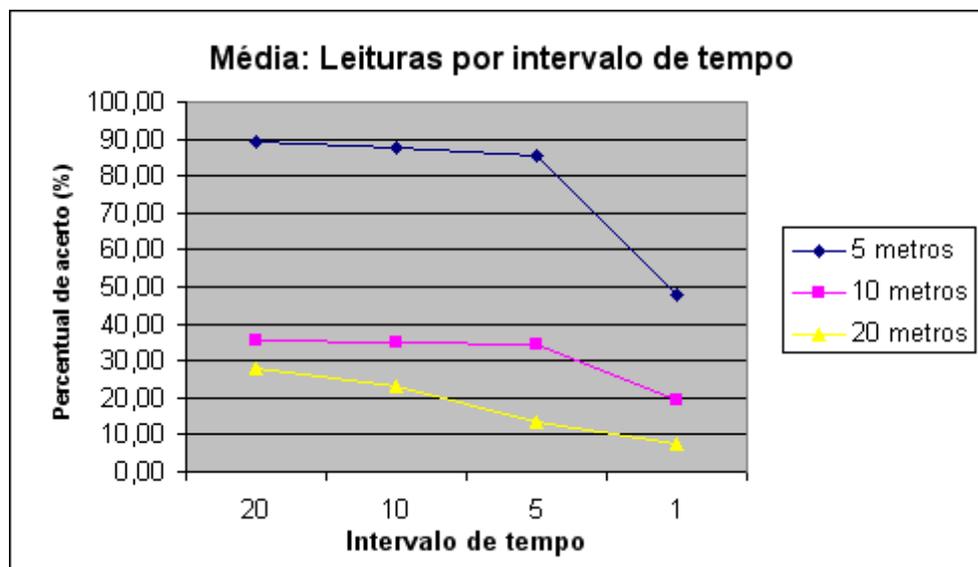


Figura 6.4: Leituras por intervalo de tempo.

Nos experimentos realizados podemos observar que quanto maior a quantidade de leituras realizadas em um intervalo de tempo, maior será a quantidade de leituras com sucesso. Portanto, concluímos que ao deixar o leitor configurado para intervalos de um segundo é a melhor prática para o monitoramento e rastreamento de animais e/ou objetos, pois não sabemos qual a periodicidade que o animal estará se movimentando pela região coberta. O Apêndice C contém algumas imagens dos locais onde foram realizados os experimentos.

### 6.2.2 Casos de testes

Esta seção descreve os resultados práticos aplicados à Arquitetura de Longo Alcance. Em alguns cenários, apenas a identificação do objeto móvel não é suficiente, portanto, apresentar o trajeto que o objeto realizou em alguns casos é de extrema importância. Uma análise da arquitetura em uma grandeza maior foi realizada durante as simulações utilizando a topologia em grade para distribuição dos nós fixos (nó sensor especial) na área específica. No experimento prático, devido a limitações de *hardware*, nosso cenário está restrito a utilização de apenas três sensores especiais.

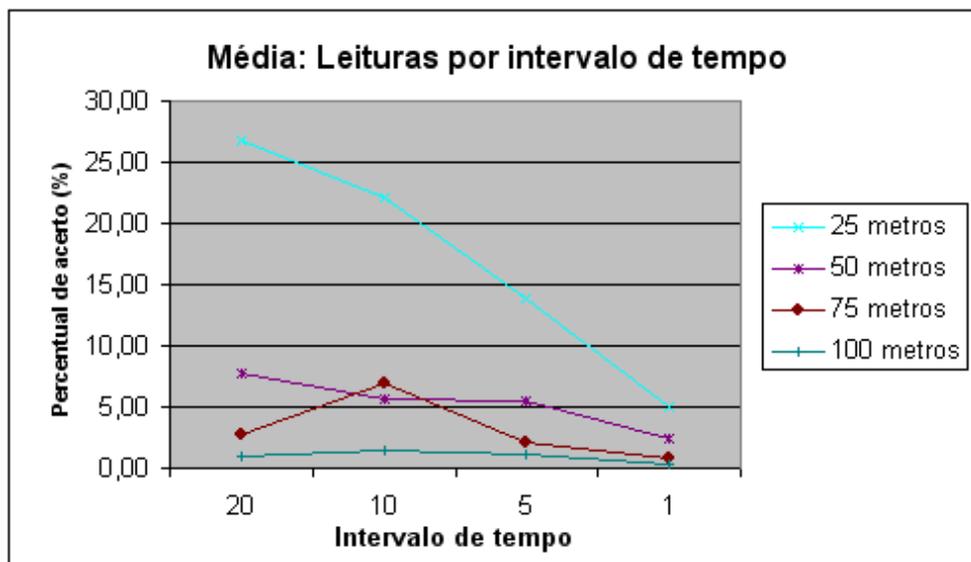


Figura 6.5: Leituras por intervalo de tempo.

### Detecção por apenas um Nó Sensor Especial

O primeiro cenário a ser apresentado é a detecção por *apenas um Nó Sensor Especial*. A detecção por apenas um nó sensor especial é a base da arquitetura que valida a comunicação entre o nó sensor, o adaptador e o leitor de RFID. Nesse cenário temos uma área de cobertura ampla, tomando como base que o leitor de RFID possui um raio de alcance omnidirecional de 100 metros. Para a realização desse cenário, posicionamos o nó sensor especial (*notebook*, leitor de RFID e nó sensor) na região a ser monitorada e conectamos o nó servidor na estação servidora para aquisição dos dados. Ao passarmos pela região de cobertura com a etiqueta de RFID, os dados coletados foram transmitidos diretamente para a estação servidora. A seqüência de envio dos pacotes pode ser observada na Tabela 6.1. A coluna *Índice* é apenas um indexador dos dados apresentados na tabela, a coluna *Nó Sensor Especial* é o identificador da localização do dispositivo na grade, *Etiqueta de RFID* é a informação contida na etiqueta e por fim temos a coluna *Número do pacote* que corresponde ao número do pacote enviado. Uma extensão desse cenário foi implementada para validar o protocolo de comunicação para entrega de pacotes em multisaltos. Dessa maneira, distanciamos o Nó Sensor Especial da estação servidora e adicionamos um segundo Nó Sensor Especial para realizar a retransmissão dos dados. Os resultados alcançados foram equivalentes aos anteriores, evidenciando a transparência do protocolo no envio dos dados.

Tabela 6.1: Cenário - detecção por um nó sensor especial

Índice	Nó Sensor Especial	Etiqueta de RFID	Número do pacote
1	A1	5300000581	06
2	A1	5300000581	07
3	A1	5300000581	08
4	A1	5300000581	09
5	A1	5300000581	10

### Detecção de uma etiqueta de RFID por dois Nós Sensores Especiais simultaneamente

O próximo cenário está relacionado com a detecção de *uma etiqueta de RFID por dois Nós Sensores Especiais simultaneamente*. Nesse cenário, temos uma restrição na área de cobertura podendo precisar a localização da etiqueta de RFID em uma área menor. Essa área é a interseção do raio de alcance entre os dois nós sensores especial. Para a realização desse cenário, posicionamos cada nó sensor especial (*notebook*, leitor de RFID e nó sensor) em uma extremidade na região a ser monitorada e conectamos o nó servidor na estação servidora para aquisição dos dados. Ao deslocarmos pela região monitorada partindo de uma extremidade a outra, obtivemos os seguintes dados na estação servidora. Seguindo a Tabela 6.2, nos dois primeiros pacotes enviados estamos na região de cobertura do nó sensor especial A1. No próximo instante, entramos na região de interseção entre os dois nós sensores especiais, isto pode ser observado pela duplicidade do número de pacote. Por fim, saímos da região de interseção para entrarmos na região de cobertura provida pelo nó sensor especial B1.

Tabela 6.2: Cenário - detecção por dois nós sensores especiais simultaneamente

Índice	Nó Sensor Especial	Etiqueta de RFID	Número do pacote
1	A1	5300000581	10
2	A1	5300000581	11
3	A1	5300000581	12
4	B1	5300000581	12
5	B1	5300000581	13
6	B1	5300000581	14

### Detecção de uma etiqueta de RFID por três Nós Sensores Especiais simultaneamente

O terceiro cenário corresponde a detecção de *uma etiqueta de RFID por três Nós Sensores Especiais simultaneamente*. Nesse cenário, temos uma maior restrição na área de

cobertura em relação ao cenário anterior. Essa área é a interseção do raio de alcance entre os três nós sensores especiais. Esse cenário contempla parte do cenário anterior, pois ao se ajustar os nós sensores especiais para haver a interseção entre os três dispositivos, automaticamente temos regiões com áreas de cobertura alcançadas por dois leitores simultaneamente. Ao deslocarmos diagonalmente pela região monitorada partindo de uma extremidade a outra, obtivemos os seguintes dados na estação servidora. Os primeiros pacotes correspondem ao nó sensor especial A1, no terceiro e quarto pacotes temos o mesmo número do pacote que correspondem a uma interseção por dois nós sensores especiais (A1, B1). Os próximos pacotes apresentam a interseção entre os três nós sensores especiais (A1, B1, B2). Essas informações são apresentadas na Tabela 6.3. Um cenário com quatro detecções simultâneas seria similar ao apresentado, porém teríamos quatro pacotes com o mesmo número de pacote, nós sensores especiais distintos e mesma etiqueta de RFID.

Tabela 6.3: Cenário - detecção por três nós sensores especiais simultaneamente

Índice	Nó Sensor Especial	Etiqueta de RFID	Número do pacote
1	A1	5300000581	15
2	A1	5300000581	16
3	A1	5300000581	17
4	B1	5300000581	17
5	A1	5300000581	18
6	B1	5300000581	18
7	B2	5300000581	18
8	B2	5300000581	19
9	B2	5300000581	20

### Rastreamento de um objeto deslocando-se na região monitorada

Um próximo cenário a ser apresentado seria o rastreamento completo de um objeto móvel na região monitorada. Devido as limitações da quantidade de *hardware* é inviável a realização desse cenário. Dessa forma, recorreremos novamente a simulação para nos auxiliar nesse cenário. Para ilustrar a interseção entre os diferentes nós sensores especiais, o algoritmo precisa ser capaz de identificar as interseções dos pacotes e apresentar de uma maneira clara ao usuário do sistema. Portanto, implementamos um algoritmo que analisa o histórico dos pacotes afim de apresentar a interseção entre os nós sensores especiais. A Figura 6.6 ilustra os diferentes modos de detecção de interseção por 2, 3 e 4 nós sensores especiais simultaneamente em uma topologia em grade. Utilizando o script *Python* apresentado na Seção 6.1, criamos diferentes rotas para testarmos o algoritmo. A Figura 6.7 ilustra a trajetória de uma objeto móvel passando pela região monitorada. Analisando os pacotes, pode-se observar que o objeto entrou pelo nó sensor especial Nó(4), entrando na

zona de interseção entre os nós sensores especiais N6(4) e N6(15), sendo logo após detectado pela interseção entre os nós sensores especiais N6(15), N6(5) e N6(9). Houve ainda a detecção pelos quatro nós sensores especiais No(15), N6(5), N6(8) e N6(9). Por fim, o objeto se deslocou para fora da região monitorada pelos nós sensores especiais N6(8) e N6(12). A seqüência que o objeto móvel se deslocou pode ser observada pelo número seqüencial inserido nos limites do raio de alcance de cada nó sensor especial.

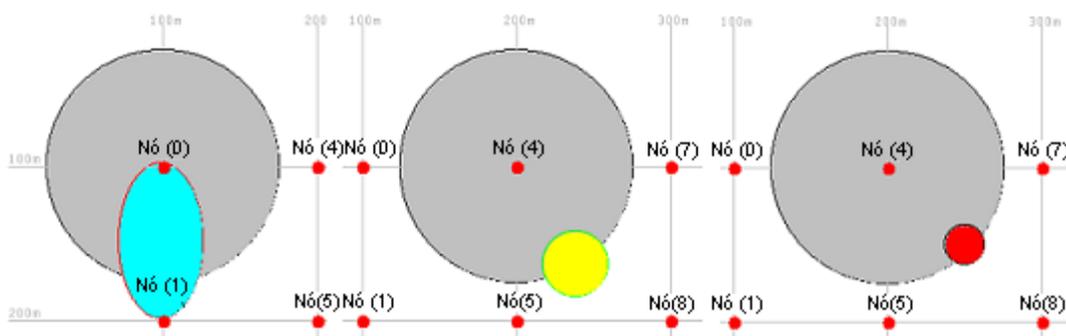


Figura 6.6: Detecção de interseção.

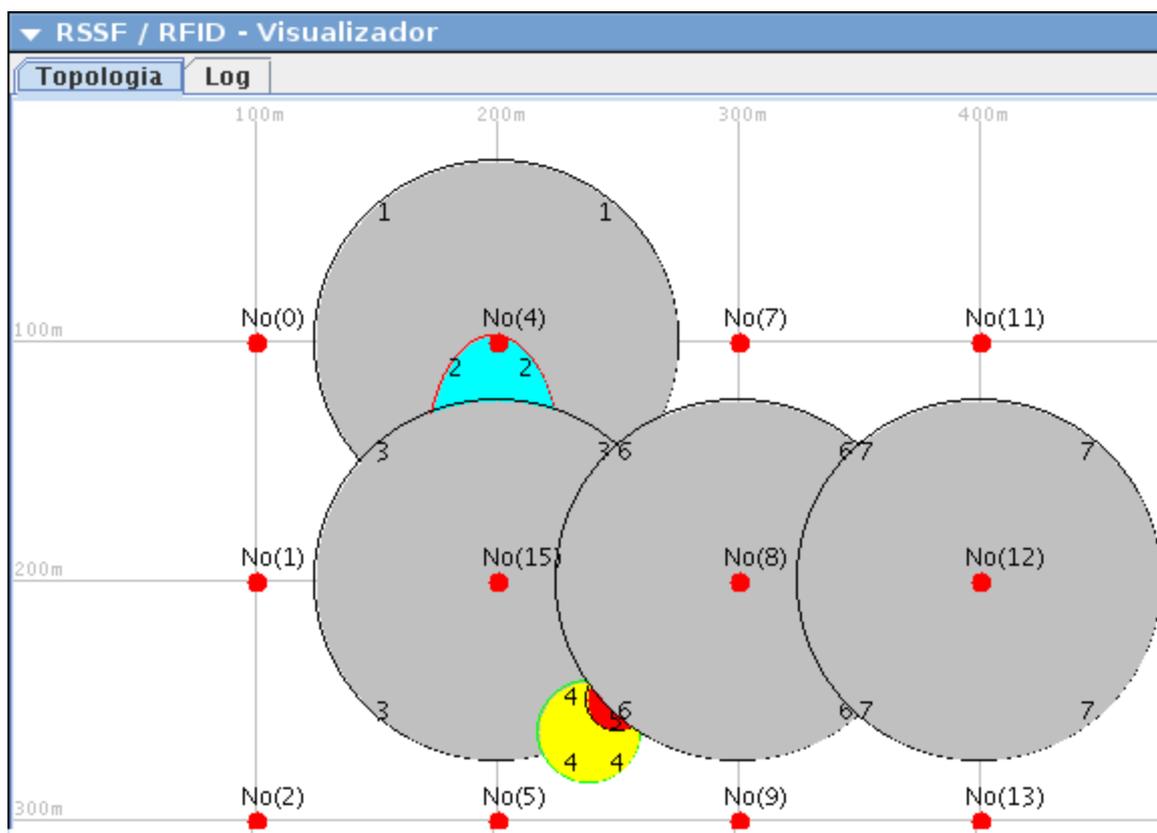


Figura 6.7: Trajetória.

## Capítulo 7

# Considerações finais e trabalhos futuros

Essa dissertação de mestrado apresentou uma nova maneira de monitorar e rastrear animais em seu *habitat* integrando as tecnologias de RFID e RSSF. O trabalho consistiu desde a criação de duas arquiteturas, identificação do dispositivo de RFID e RSSF ideais para integrar as tecnologias, assim como a confecção de placas, simulações, experimentos práticos e uma *interface* para visualização dos dados por meio do simulador e em tempo real. Os objetivos da dissertação foram bem sucedidos; adquirimos leitores de RFID para uma das arquiteturas, propomos e simulamos a aplicação das arquiteturas propostas, desenvolvemos uma *interface* de visualização para consultas *offline* ou em tempo real e por fim realizamos experimentos práticos.

As arquiteturas propostas tiveram motivação nos dois principais tipos de etiquetas de RFID, passiva e ativa. De acordo com a limitação de cada uma das etiquetas foram pensados nas possíveis aplicações. De um lado temos as etiquetas passivas que são leves, baratas e não possuem fonte própria de energia e de um outro temos as ativas que possuem um raio de alcance maior com sua própria fonte de energia. Com base nessas informações criamos as duas arquiteturas propostas para Curto e Longo Alcance.

Por existir trabalhos referenciando leitores de RFID para etiquetas passivas, decidimos pesquisar e adquirir leitores de RFID para etiquetas ativas. Dessa forma, estamos contribuindo melhor para a comunidade realizando experimentos em novos dispositivos. No entanto, não foi possível encontrar o leitor ideal para se trabalhar com sistemas embarcados. Os leitores de RFID para etiquetas ativas normalmente são leitores que têm como objetivo ser empregados em ambientes onde haja rede elétrica, cabeamento ou até mesmo ambiente *wireless*. Porém, esses tipos de leitores normalmente não presam por economia de energia e até mesmo carecem de ter uma porta de comunicação adequada para sistemas embarcados. Por outro lado, há no mercado leitores de RFID para etiquetas passivas do tipo OEM (*Original Equipment Manufacturer*) que permite melhor customização para a

aplicação.

O dispositivo que melhor se enquadrou para trabalhar de acordo com a arquitetura de Longo Alcance foi o GAO RFID Reader 2.4GHz. Porém, tivemos alguns desafios a serem superados devido o leitor operar em tensão diferente ao nó sensor e não possuir uma porta serial para entrega dos dados. Esses desafios foram superados por meio de circuitos adicionais e *software* adaptador para enviar as informações de uma porta para outra. Esses contornos foram apenas realizados para provar o funcionamento da arquitetura, em uma versão final teríamos que estar otimizando a versão do leitor de RFID ativo para se comunicar diretamente com o nó sensor.

Para ilustrar o funcionamento de ambas arquiteturas em larga escala, submetemos a aplicação das arquiteturas para cobrir uma área de cerca de  $90.000m^2$ . Os requisitos de *software* foram cumpridos em cada arquitetura. Por meio do *Software* Visualizador foi possível rastrear a movimentação dos objetos móveis no ambiente monitorado. Nas simulações foi possível observar as entregas dos pacotes de inatividade e ligar o leitor de RFID junto com o dispositivo adaptador.

Os testes empíricos realizados com o leitor de RFID demonstraram que o raio máximo de alcance do leitor é possível de ser alcançado, porém com uma grande quantidade de perda de pacotes. Por várias vezes foram realizados testes em diferentes ambientes tentando alcançar a distância de 100 metros. Nos experimentos, procurávamos locais que permitiam a visada direta com a etiqueta e em alguns experimentos chegamos a colocar o leitor de RFID a uma altura de cerca de 6 metros do chão com o objetivo de melhorar o desempenho. Com a realização dos experimentos, podemos concluir que quanto menor o tempo de leitura, maior a taxa de erro. Porém, em um ambiente onde se desconhece o comportamento dos objetos que se deseja monitorar, o ideal é realizar o máximo de leituras possíveis no ambiente afim de detectá-los, mesmo que isso resulte em uma alta taxa de erro.

Um dos problemas que tivemos durante o desenvolvimento da dissertação foi as ferramentas disponíveis para avaliar as aplicação das RSSFs. Apesar de estarem em um estágio avançado as ferramentas disponíveis não funcionam com versões atuais do *software* TinyOS 2.x ou apresentam instabilidades. Em contra partida, temos a lista de discussões do TinyOS que é uma grande fonte de pesquisa onde os usuários de vários níveis trocam informações que vão desde os conceitos do TinyOS até os protocolos de comunicação.

O TinyOS tem demonstrado ser um sistema operacional em constante evolução. A cada versão novas características são adicionadas com o objetivo de deixá-lo mais robusto. Porém, tenho realizado pesquisas de sistemas operacionais com aplicações específicas e vejo uma grande oportunidade de se estudar essas técnicas para desenvolver uma outra linha de pesquisa em sistema operacional para aplicações específicas voltado as RSSFs.

O experimento demonstrou que o RFID pode ser utilizado para rastreamento e mo-

nitoramento em ambientes externos. Desde de uma simples identificação de objetos utilizando as etiquetas passivas ou até mesmo realizando o sensoriamento (temperatura, pressão, etc.) por meio das etiquetas ativas.

O trabalho de pesquisa até o momento aqui realizado é apenas um estágio inicial do que ainda podemos pesquisar. Com base nessa dissertação é possível extrair novas propostas de trabalhos de graduação, dissertações e teses. Entre essas novas propostas podemos citar:

- Pesquisar protocolos de comunicação baseado no perfil de cada arquitetura analisando o comportamento dos nós sensores;
- Criar leitor de RFID para etiquetas ativas de fácil integração aos sistemas embarcados disponibilizando portas seriais;
- Simular o emprego de uma terceira arquitetura mesclando as duas arquiteturas propostas por essa dissertação;
- Desenvolver um ambiente completo de simulação para as RSSFs com o intuito de possibilitar a criação de canais de comunicação entre os nós sensores, adição de ruído/ganho entre outras funcionalidades permitindo rodar aplicações no ambiente;
- Pesquisar, desenvolver e propor técnicas para o desenvolvimento de um sistema operacional de aplicação específica voltado para as RSSFs.

# Referências Bibliográficas

- [1] *NCP1117 1.0 A Low-Dropout Positive Fixed and Adjustable Voltage Regulators*. Disponível em [http://www.onsemi.com/pub\\_link/Collateral/NCP1117-D.PDF](http://www.onsemi.com/pub_link/Collateral/NCP1117-D.PDF). Última visita no dia 03 de Fevereiro, 2008.
- [2] Al-Ali A. R., Aloul F.A., Aji N. R., Al-Zarouni A.A., e Fakhro N.H. Mobile rfid tracking system. *Information and Communication Technologies: From Theory to Applications, 2008. ICTTA 2008.*, 3:1 – 4, 2008.
- [3] Zomaya A. Y. *Handbook of Sensor Networks - Algorithms and Architectures*. John Wiley Sons, Inc., 2005.
- [4] Himanshu B. e Glover B. *RFID Essentials*. Springer, Janeiro 2006.
- [5] Pierre B. e Anthony D. L. Bioinformatics. *Oxford University Press - Vol. 17 no. 6*, pages 509–519, Outubro 2001.
- [6] Wietrzyk B. e Radenkovic M. Energy efficiency in the mobile ad hoc networking approach to monitoring farm animals. *Proceedings of the Sixth International Conference on Networking (ICN'07)*, 2007.
- [7] Braginsky D. e Estrin D. Rumor routing algorithm for sensor networks. *In The First ACM International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications.*, 2002.
- [8] Tweed D. e Calway A. Tracking multiple animals in wildlife footage. *16th International Conference on Pattern Recognition (ICPR'02)*, page Volume 2, Outubro 2002.
- [9] Hunt D. V., Puglia A., e Puglia M. *RFID - A Guide to radio frequency identification*. John Wiley Sons, Inc., 2007.
- [10] AWID Inc. *AWID Inc. MPR1230 RFID Reader*. Disponível em <http://www.awid.com>. Última visita no dia 20 de Novembro, 2007.
- [11] Texas Instruments. *MAX3237E 3-V TO 5.5-V MULTICHANNEL RS-232 1-MBit/s LINE DRIVER/RECEIVER*. Disponível em <http://www.ti.com>. Última visita no dia 20 de Novembro, 2008.

- [12] Hill J., Szewczyk R., Woo A., Hollar S., Culler D., e Pister K. System architecture directions for networked sensors. *In Proceedings of the 9th International Conference on Architectural Support for Programming Languages and Operating Systems.*, 2000.
- [13] Mantovani J. E. Estudo e monitoramento de animais através do sensoriamento remoto e do geoprocessamento. *Anais 1º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Campo Grande, Brasil, INPE*, pages 358–367, 2006.
- [14] Mantovani J. E., Santos J. E., e Pires J. S. R. Rastreamento via satélite de animais: Performance do sistema argos em diferentes situações. *Anais XI SBSR, Belo Horizonte, Brasil, 05-10 abril 2003, INPE*, pages 589–594, 2004.
- [15] Chakrabarty K. e Iyengar S. S. *Scalable Infrastructure for Distributed Sensor Networks*. Springer, 2005.
- [16] Sohraby K., Minoli D., e Znati T. *Wireless Sensor Network: Technology, Protocols, and Applications*. John Wiley, 2007.
- [17] Yang L., Feng C., Rozenblit J. W., e Qiao H. Adaptive tracking in distributed wireless sensor networks. *13th Annual IEEE International Symposium and Workshop on Engineering of Computer Based Systems ECBS'06*, 2006.
- [18] Zhang L. e Wang Z. Integration of rfid into wireless sensor networks: Architectures, opportunities and challenging problems. *IEEE 2006*, Agosto 2006.
- [19] Moh M., Walker Z., Ho L., Hamada T., e Su C. F. A prototype on rfid and sensor networks for elder healthcare: Progress report. *SIGCOMM'05 Workshop*, Agosto 2005.
- [20] Tarique M., Tepe K. E., e Naserian M. Energy saving dynamic source routing for ad hoc wireless networks. *In Proc. of WIOPT*, 2005.
- [21] Weiser M. The computer for the 21st century. *IEEE 2006*, July 1999.
- [22] McKelvin M. L., Williams M. L., e Berry N. M. Integrated radio frequency identification and wireless sensor network architecture for automated inventory management and tracking applications. *TAPIA'05 - Association for Computing Machinery*, pages 44–47, Outubro 2005.
- [23] Juang P., Oki H., Wang Y., Martonosi M., Peh L., e Rubenstein D. Energy-efficient computing for wildlife tracking: Design tradeoffs and early experiences with zebranet. *ACM ISBN 1-58113-574-2-02/OO10*, July 2002.
- [24] Levis P., Lee N., Welsh M., e Culler D. Tossim: Accurate and scalable simulation of entire tinyos applications. *UC Berkeley, Presented at SenSys.*, 2003.

- [25] Pereira D. P., Dias W. R. A., Braga M. L., Barreto R., Figueiredo C. M. S., e Brilhante V. Model to integration of rfid into wireless sensor network for tracking and monitoring animals. *Revista IEEE América Latina*, v. 16, p. 125-131, 2008.
- [26] Sikka P., Corke P., e Overs L. Wireless sensor devices for animal tracking and control. *In First IEEE Workshop on Embedded Networked Sensors in 29th Conference on Local Computer Networks*, pages 446–454, 2004.
- [27] Sikka P., Corke P., Valenci P., Crossman C., Swain D., e Bishop-Hurley G. Wireless adhoc sensor and actuator network on the farm. *IPSN'06*, pages 492–499, Abril 2006.
- [28] Wouters P., Puers R., Geers R., e Goedseels V. Implantable biotelemetry devices for animal monitoring and identification. *Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE - Engineering in Medicine and Biology Society*, page Vol.14, 1992.
- [29] Laplante P. A. *Real-time system design e analysis*. IEEE Press, Canada, 2004.
- [30] Sweeney P. J. *RFID For Dummies*. Wiley Publishing, Inc., 2005.
- [31] Chen P. Y., Chen W. T., Wu C. H., Tseng Y. C., e Huang C. F. A group tour guide system with rfids and wireless sensor networks. *IPSN'07 - Association for Computing Machinery*, pages 561–562, Abril 2007.
- [32] Barreto R. *A Time Petri Net-Based Methodology for Embedded Hard Real-Time Systems Software Synthesis*. Phd. thesis, Centro de Informática. Universidade Federal de Pernambuco, Abril 2005.
- [33] Fonseca R., Gnawali O., Jamieson K., e Levis P. *Net2 Working Group - TEP119 Collection*. TinyOS Developer List, 2006.
- [34] Fonseca R., Gnawali O., Jamieson K., e Levis P. *Net2 Working Group - TEP123 Collection Tree Protocol*. TinyOS Developer List, 2007.
- [35] GAO RFID. *RFID Reader 2.45GHz*. Disponível em <http://www.gaorfid.com>. Última visita no dia 20 de Novembro, 2008.
- [36] Babu S. U., Kumar C. S., e kumar R. V. R. Modelling and simulation of a sensor network for tracking a moving object. *In Mobile Computing and Networking*, pages 200–206, December 2005.
- [37] Rabbit Semiconductor. *Rabbit 2000 - Microprocessador Development Kit*. Disponível em <http://www.rabbitsemiconductor.com/documentation>. Última visita no dia 20 de Novembro, 2005.

- [38] Crossbow Solutions. *MICAZ Mote*. Disponível em <http://blog.xbow.com/xblog/micaz/index.html>. Última visita no dia 05 de Março, 2008.
- [39] Crossbow Solutions. *Wireless Sensor Node specification*. Disponível em [http://www.xbow.com/Products/Wireless Sensor Networks.htm](http://www.xbow.com/Products/Wireless%20Sensor%20Networks.htm). Última visita no dia 20 de Novembro, 2008.
- [40] Noergaard T. *Embedded Systems Architecture - A Comprehensive Guide for Engineers and Programmers*. British Library Cataloguing-in-Publication Data, 2005.
- [41] Tagsys. *Media S001/002 Product Guide v1.0, Oct2002*. 2002.
- [42] Crossbow Technology. *MPR-MIB Users Manual - Revision A, June 2007*. 2007.
- [43] Alien technology incorporated. *Alien technology alr9780 RFID Reader*. Disponível em <http://www.alientechnology.com>. Última visita no dia 20 de Novembro, 2007.
- [44] XT-NANO Powerover the ethernet. *DesignGuide V1.0*. Disponível em <http://poweroverethernet.com>. Última visita no dia 20 de Novembro, 2005.
- [45] Berkeley University TinyOS. *MPR-MIB Users Manual - Revision A, June 2007*. Disponível em <http://webs.cs.berkeley.edu/tos/>. Última visita em Novembro, 2007.
- [46] Heinzelman W., Chandrakasan A., e Balakrishnan H. Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks. *In Proceedings of the Hawaii Conference on System Sciences.*, 2000.
- [47] Jiang W., Yu D., e Ma Y. A tracking algorithm in rfid reader network. *IEEE 2006*, 2006.
- [48] Robinson W. D., Fiez T., Liu H., Mayaram K., e Wang Z. Tracking migratory animals with cellular technology.
- [49] Yu Y., Govindan R., e Estrin D. Geographical and energy aware routing: A recursive data dissemination protocol for wireless sensor networks. *Technical Report UCLA/CSD-TR-01-0023, UCLA Computer Science Department Technical Report.*, 2001.
- [50] Chen Y. J., Li Y. C., Huang K. N., e Young M. S. The implementation of a stand-alone video tracking and analysis system for animal behavior measurement in morris water maze. *Engineering in Medicine and Biology 27th Annual Conference Shanghai*, September 2005.

# Apêndice A

## Protocolo de comunicação TCP - GAO 2.4GHz

Esta seção apresenta a estrutura dos comandos para realizar a comunicação com o leitor GAO 2.4GHz por meio do TCP. O computador deve ser configurado com o IP registrado no leitor de RFID, a porta de comunicação padrão é a 8900 e o computador funciona como um servidor. Segue abaixo a lista dos comandos disponíveis:

### A.1 Estrutura de comunicação

```
1 typedef __packed struct
2 {
3     char logo[10]; // palavra BISA_RFID
4     char ver[2]; // versão do protocolo
5     u16 len; // tamanho do pacote: preambulo e dados
6     u16 cmd; // tipo de comando
7     u8 content[32]; // configuração do protocolo
8     u8 buf[1300]; // dados das etiquetas de RFID
9 } Net_CMD;
```

### A.2 Mode de operação

Há dois modos de operação: ativo e passivo. No modo ativo o leitor de RFID no intervalo T1, envia dados do *buffer* para o servidor e reinicia a contagem. Caso nenhuma informação chegue dentro do intervalo T1 nenhuma ação será tomada. Porém, caso chegue no intervalo T2 sem nenhuma informação transmitida, será enviado um *buffer* ao servidor sem dados. No modo passivo, as informações coletas são armazenadas no *buffer* interno

do leitor (100 etiquetas) e após uma solicitação do servidor, o *buffer* é enviado. Caso exceda a capacidade do *buffer*, as mensagens são sobrescritas. O comando para configurar o modo de operação segue:

```

1 typedef __packed struct
2 {
3     char logo[10]; // palavra BISA_RFID
4     char ver[2]; // versão do protocolo
5         ver[0] = 0; ver[1] = 1;
6     u16 len; // tamanho do pacote: preambulo e dados
7     u16 cmd; // tipo de comando
8         comando: 0xA0
9     u8 content[32]; // configuração do protocolo
10        content[0] = 0; modo ativo ou
11        content[0] = 1; modo passivo
12        content[1] = 1-250; tempo T1 (padrão 1s)
13        content[2] = 10-250; tempo T2 (padrão 15s)
14 } Net_CMD;

```

### A.3 Recepção dos dados

No modo passivo, o servidor pode requisitar ao leitor para enviar as informações contidas no *buffer*. Para isso, o seguinte comando deve ser enviado:

```

1 typedef __packed struct
2 {
3     char logo[10]; // palavra BISA_RFID
4     char ver[2]; // versão do protocolo
5         ver[0] = 0; ver[1] = 1;
6     u16 len; // tamanho do pacote: preambulo e dados
7     u16 cmd; // tipo de comando
8         comando: 0x15
9     u8 content[32]; // configuração do protocolo
10        valor = 0;
11 } Net_CMD;

```

*Este campo não deve ser enviado.*

## A.4 Estrutura de retorno

O leitor de RFID retorna as informações contidas no *buffer* por meio da seguinte estrutura:

```
1 typedef __packed struct
2 {
3     char logo[10]; // palavra BISA_RFID
4     char ver[2]; // versão do protocolo
5         ver[0] = 0; ver[1] = 1;
6     u16 len; // tamanho do pacote: preambulo e dados
7     u16 cmd; // tipo de comando
8         comando: 0x01
9     u8 content[32]; // configuração do protocolo
10         zerar campos;
11     u8 buf[1300]; // dados das etiquetas de RFID
12         dados das etiquetas de RFID
13 } Net_CMD;
```

## A.5 Configuração do ganho do leitor

O leitor de RFID permite configurar o ganho e até mesmo recuperar o valor do ganho configurado. Para isso deve-se usar as seguintes estruturas para configurar e recuperar respectivamente:

```
1 typedef __packed struct
2 {
3     char logo[10]; // palavra BISA_RFID
4     char ver[2]; // versão do protocolo
5         ver[0] = 0; ver[1] = 1;
6     u16 len; // tamanho do pacote: preambulo e dados
7     u16 cmd; // tipo de comando
8         comando: 0x71
9     u8 content[32]; // configuração do protocolo
10         content[0] = 0;
11         content[1] = 0-31;
12         zerar os demais campos.
13     u8 buf[1300]; // dados das etiquetas de RFID
14         Este campo não deve ser enviado.
15 } Net_CMD;
```

```
1 typedef __packed struct
2 {
3     char logo[10]; // palavra BISA_RFID
4     char ver[2]; // versão do protocolo
5         ver[0] = 0; ver[1] = 1;
6     u16 len; // tamanho do pacote: preambulo e dados
7     u16 cmd; // tipo de comando
8         comando: 0x72
9     u8 content[32]; // configuração do protocolo
10         zerar campos;
11     u8 buf[1300]; // dados das etiquetas de RFID
12         Este campo não deve ser enviado.
13 } Net_CMD;
```

## A.6 Configuração da hora do leitor

O leitor de RFID permite configurar e recuperar a hora. Para isso deve-se usar as seguintes estruturas para configurar e recuperar respectivamente:

```
1 typedef __packed struct
2 {
3     char logo[10]; // palavra BISA_RFID
4     char ver[2]; // versão do protocolo
5         ver[0] = 0; ver[1] = 1;
6     u16 len; // tamanho do pacote: preambulo e dados
7     u16 cmd; // tipo de comando
8         comando: 0xB0
9     u8 content[32]; // configuração do protocolo
10         content[0]-content[5] = ano, mês, dia, hora, minuto, segundo;
11         zerar os demais campos.
12     u8 buf[1300]; // dados das etiquetas de RFID
13         Este campo não deve ser enviado.
14 } Net_CMD;
```

```
1 typedef __packed struct
2 {
3     char logo[10]; // palavra BISA_RFID
4     char ver[2]; // versão do protocolo
5         ver[0] = 0; ver[1] = 1;
6     u16 len; // tamanho do pacote: preambulo e dados
7     u16 cmd; // tipo de comando
8         comando: 0xB1
9     u8 content[32]; // configuração do protocolo
10         zerar os campos.
11     u8 buf[1300]; // dados das etiquetas de RFID
12         Este campo não deve ser enviado.
13 } Net_CMD;
```

# Apêndice B

## Publicações

### B.1 Publicações de autoria

PEREIRA, D. Patrick ; Wanderson Dias ; BRAGA, Marcus ; BARRETO, Raimundo ; FIGUEIREDO, C. M. S. ; BRILHANTE, Virginia . Model to integration of RFID into Wireless Sensor Network for Tracking and Monitoring Animals. *Revista IEEE América Latina*, v. 16, p. 125-131, 2008.

### B.2 Contribuições em outras pesquisas

CORDEIRO, Lucas ; MAR, Carlos ; VALENTIN, Eduardo ; CRUZ, Fabiano ; PEREIRA, D. Patrick ; BARRETO, Raimundo ; LUCENA, Vicente . An Agile Development Methodology Applied to Embedded Control Software under Stringent Hardware Constraints. *ACM Transactions on Software Engineering and Methodology*, v. 33, p. 1-10, 2008.

CORDEIRO, Lucas ; MAR, Carlos ; VALENTIN, Eduardo ; CRUZ, Fabiano ; PEREIRA, D. Patrick ; BARRETO, Raimundo ; LUCENA, Vicente . A Platform-Based Software Design Methodology for Embedded Control Systems: An Agile Toolkit. *International Journal of Agile Management Systems*, v. 1, p. 1, 2008.

# Apêndice C

## Fotos dos experimentos

### C.1 Pátio - Minicampus da UFAM

Nesse ambiente durante os experimentos havia muitas pessoas se deslocando nas proximidades do leitor de RFID e da etiqueta de RFID. O Leitor de RFID ficou a uma altura do chão de 1,5 metros e as etiquetas foram posicionadas no chão. Durante os testes percebemos que ao colocá-las a cerca de um metro acima do chão, obtivemos uma melhora. As Figura C.1 e Figura C.2 foram tiradas durante os experimentos.



Figura C.1: *Notebook* coletando dados e o corredor com as etiquetas de RFID

### C.2 Pátio - Faculdade de Tecnologia (FT)

Nesse experimento o leitor foi posicionado a uma altura de cerca de 80 centímetros do chão. O ambiente estava livre de obstáculos e movimentações. As Figura C.3 e Figura C.4 foram tiradas durante os experimentos.



Figura C.2: As etiquetas de RFID e o leitor de RFID fixo na pilastra



Figura C.3: Posicionamento do leitor de RFID



Figura C.4: As etiquetas de RFID e o corredor onde as etiquetas são posicionadas

### C.3 Condomínio

Nesse ambiente o leitor de RFID foi posicionado a uma altura de cerca de 8 metros (primeiro andar de um prédio). As etiquetas foram fixadas em uma baqueta que tem 80 centímetros de altura. A cada avaliação, a banqueta era distanciada do leitor de RFID.

Durante os experimentos, percebemos que com a movimentação de alguns veículos o leitor perdeu mais pacotes, dessa maneira tivemos que refazer algumas medidas. As Figura C.5 e Figura C.6 foram tiradas durante os experimentos.



Figura C.5: *Software* para coleta dos dados e o leitor de RFID sob a saída do ar-condicionado



Figura C.6: Banqueta com a etiqueta de RFID fixada e a altura do leitor de RFID

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)