



RELATÓRIO DE ESTÁGIO GRENOBLE INP PHELMA 2009/2010

**Concepção e realização de um sistema de localização de
objetos pessoais pela tecnologia RFID num ambiente
*indoor***

GRENOBLE INP – MINATEC
IMEP – LAHC / CNRS
Endereço: 3, Rue Louis Néel – BP 257 – F38016 Grenoble Cedex 1

Aluno
Gregory Arthur de Almeida Carlos

Duração do estágio: **01/03/2010 - 31/07/2010**

Módulo de ênfase: **SEI (Sistemas Eletrônicos Integrados)**

Orientador da Empresa: **Thi Ngoc Hien Doan**

Orientador da PHELMA: **Tan Phu Vuong**

Orientador da UFCG: **Cursino Brandão Jacobina**



ESTÁGIO CURRICULAR

Trabalho efetuado no decorrer do meu estágio curricular no
Curso de *Engenharia Elétrica da Universidade Federal de
Campina Grande* em cumprimento das exigências para
obtenção do diploma de Engenheiro Eletricista.

Gregory Arthur de Almeida Carlos
(Aluno)

Cursino Brandão Jacobina
(Orientador)

Campina Grande – PB, Brasil
Fevereiro de 2011



Concepção e realização de um sistema de localização
de objetos pessoais pela tecnologia RFID num
ambiente *indoor*





RELATÓRIO DE ESTÁGIO

Agradecimentos

Este trabalho corresponde ao meu estágio curricular, bem como o resultado final do programa de intercâmbio BRAFITEC, uma cooperação entre o governo francês e brasileiro a fim de reforçar o laço de desenvolvimento em tecnologia os dois países, que investem em estudantes de cursos de alta tecnologia.

Inicialmente, agradeço a Deus, por estar sempre comigo. A Sra Marluce de Almeida Carlos e Sr José Carlos Filho pela graça de nascimento. Aos meus irmãos Gustavo e Guibergue pelos conselhos relacionados às escolhas na vida.

Sou grato ao ministério brasileiro (MEC-CAPES), ministérios franceses (MAE – MENSER – DREIC) pelo suporte durante minha estadia na França. À Universidade Federal de Campina Grande (UFCEG), especificamente ao grupo que compõe o Curso de Engenharia Elétrica e em especial aos professores Dr. Raimundo Freire e Glauco Fontgalland pela confiança e oportunidade de fazer parte do grupo de estudantes selecionados. Agradeço, também, ao instituto que me acolheu PHELMA – INP Grenoble pelas condições excelentes de estudo. Aos Professores Dr. Cursino Brandão Jacobina e Bruno Barbosa Albert pela compreensão, ajuda e orientação.

Gostaria também de agradecer à M. Tân Phu VUONG e Thi Ngoc Then DOAN pelas orientações que foram necessárias, pela compreensão, e reflexões mostrando diferentes formas de pensar diante dos problemas encontrados.

Agradeço aos professores M. Julien POETTE, M. Yannis LE GUENNEC, M. Jean Michel FOURNIER e M. Jean Daniel ARNOULD, por toda ajuda e por terem conseguido me motivar nos estudos, diante de todas as dificuldades.

Tomando em sequência, na ocasião, agradeço aos meus colegas de laboratório (IMEP-LAHC), Vinicius Uchoa, Vitor Freitas, Bruno Franciscatto, Evanaska Nogueira, Maria Batista, Lucas Muniz, Giovanni Bulla, Ariana Serrano, Gustavo Rehder, Flora Paresys, Vincent Dobremez, sem esquecer os colegas de Valence: Alysson Vasconcelos, Ayslan Maia, Victor Melo.

Gostaria, igualmente de agradecer a todos aqueles que me ajudaram, mesmo indiretamente, no Brasil ou na França. Vocês fazem parte desta nova era na qual me engajo.

Obrigado por tudo.



Sumário

Lista de abreviaturas	7
Lista de Figuras	8
Resumo	9
Abstract.....	10
1. Contexto	11
1.1 Objetivos do estágio	11
1.2 Plano do estágio.....	11
1.3 Apresentação do laboratório	12
2. Tecnologia RFID	14
2.1 Introdução.....	14
2.2 História	14
2.3 Perspectivas e aplicações.....	17
2.4 Sistema RFID UHF	19
2.5 Aspectos normativos	20
2.6 Tipos de etiquetas	22
3. Estudo dos métodos de localização	25
3.1 Introdução.....	25
3.2 Caso de um objeto estacionário	25
3.3 Caso de um objeto em movimento	31
3.4 Comparação dos métodos.....	34
4. Sistema utilizado	36
4.1 Módulo SkyeTek M9.....	36
4.2 Algoritmo seguido	37
4.3 Distribuição das etiquetas.....	38
4.4 Antenas disponíveis.....	39
5. Teste do sistema utilizado.....	41
5.1 Introdução.....	41
5.2 Precisão.....	41
5.3 Testes com antena do kit SkyeTek	43
5.4 Testes com antena Yagi.....	46
5.5 Comparação entre as duas antenas	48
5.6 Incerteza das medidas.....	50
6. Estudo de otimização da estimação	56
6.1 Introdução.....	56
6.2 Medidas com apenas um etiqueta.....	56
6.3 Resultados.....	57
7. Conclusões e perspectivas	60
Referências	61
Anexo	63
Anexo I – Especificações das antenas utilizadas.....	63
Anexo II – Especificações da etiqueta AD-222.....	66
Anexo III – Código C com API SkyeTek.....	67
Anexo IV – Algoritmo no Matlab	74

Lista de abreviaturas

UHF: **Ultra alta frequência** (*Ultra high frequency*)
BF: **Baixa frequência** (*Low frequency*)
HF: **Alta frequência** (*High frequency*)
RFID: **Identificação em radio frequência** (*Radio frequency identification*)
EPC: **Código de produto eletrônico** (*Electronic product code*)
ISO: **Organização internacional para padronização**
IEC: **Comissão Internacional Eletrotécnica**
FCC: **Comissão Federal de Comunicação**
ETSI: **Instituto europeu de normas de telecomunicações**
CMOS: **Semicondutor de óxido metálico complementar**
LBT: **Método de escutar antes da falar** (*Listen Before Talk*)
EIRP: **Potência isotrópica radiada equivalente**
ERP: **Potência radiada efetiva**
FHSS: **Salto de Frequência** (*Frequency Hopping Spread Spectrum*)
GPS: **Sistema de posicionamento global** (*Global Positioning System*)
WLAN: **Wireless Local Area Network**
UWB: **Banda ultra larga** (*Ultra WideBand*)
AOA: **Método do ângulo de chegada** (*Angle of arrival*)
TOA: **Método do tempo de chegada** (*Time of Arrival*)
RTOF: **Tempo de transmissão do sinal** (*Round Trip Time of Flight*)
RSS: **Intensidade do sinal recebido** (*Received Signal Strength*)
MCL: **Localização Monte Carlo**
EKF: **Filtro estendido de Kalman** (*Extended Kalman Filter*)
SLAM: **Localização e mapeamento simultâneo**
VSWR: **Razão de tensão de onda estacionária** (*Voltage Standing Wave Ratio*)

Lista de Figuras

Figura 1.1: Vista aérea do Minatec.....	13
Figura 2.1: Cronologia da RFID.....	14
Figura 2.2: Evolução dos tamanhos das etiquetas em comparação com uma moeda: (a) circa 1976 circuito possui metade da área da etiqueta, (b) circa 1987 circuito cobre um quarto da área e (c) circa 1999 circuito cobre uma parte insignificante da área.	16
Figura 2.3: Previsão do mercado da RFID [3].....	17
Figura 2.4: Sistema RFID UHF.....	19
Figura 2.5: Exemplo do formato EPC 96 bits	22
Figura 2.6: Tipos de etiquetas: a) passiva [4], (b) ativa [5], (c) semi-passiva [6].....	23
Figura 2.7: Princípio básico de funcionamento de um sistema passivo.....	24
Figura 3.1: Sistema AOA.	26
Figura 3.2: Sistema TDOA[5].	26
Figura 3.3: Método da triangulação 2D [6].	28
Figura 3.4: Método vizinho-próximo [6].....	29
Figura 4.1: Módulo UHF SkyeTek e seus terminais de conexão.	36
Figura 4.2: Fluxograma do algoritmo.....	37
Figura 4.3: Distribuição regular triangular equilátera.	38
Figura 4.4: Etiquetas usadas: (a) Para o mapeamento et (b) para os testes de potência ótima.	38
Figura 4.5: Antenas disponíveis: (a) Banda larga SkyeTek e (b) Yagi.	39
Figura 5.1: Efeito dos erros de estimação.....	41
Figura 5.2: Sistema em teste com antena: seja banda larga (SkyeTek) ou Yagi.....	43
Figura 5.3: Posição estimada com a antena banda larga.	45
Figura 5.4: Resultado dos erros vs detecção (a) e número de etiquetas detectadas vs detecção (b).	45
Figura 5.5: Posição estimada com antena Yagi.....	47
Figura 5.6: Resultado dos erros vs detecção (a) e número de etiquetas detectadas vs detecção (b).	47
Figura 5.7: Resultado do erro médio vs distância D.....	48
Figura 5.8: Resultado do erro médio vs potência emitida.	49
Figura 5.9: Resultado do erro médio vs número de iterações.	50
Figura 5.10: Histograma da posição X estimada para diferentes N.	51
Figura 5.11: Histograma das variáveis do algoritmo de estimação: x_{est} (a), y_{est} (b), Δx (c), Δy (d) e erro (e).	52
Figura 5.12: Probabilidade dos dados de acordo com a reta teórica: x_{est} (a), y_{est} (b) e e erro (c).	53
Figura 5.13: Funções de densidade de probabilidade estimadas.	54
Figura 5.14: Funções de distribuição cumulativa para as estimações.	54
Figura 5.15: Quantis para as estimações.	54

Resumo

Este documento apresenta o trabalho efetuado no decorrer do meu estágio curricular no *LABoratoire d'Hyperfréquences et Caractérisation (LAHC)* que faz parte do *Institute Microélectronique, Electromagnétisme et Photonique (IMEP)*.

O tema do estágio consiste no estudo de um algoritmo de localização de objetos pessoais num ambiente indoor pela tecnologia RFID usando etiquetas passivas na frequência de 860-960 MHz (Banda UHF).

A técnica de localização é baseada na utilização de etiquetas de referência (LANDMARKS) em uma maquete. Tal localização pode ser otimizada via parâmetro de potência ótima.

Uma apresentação sucinta do laboratório (LAHC) bem como os objetivos globais do estágio, serão propostos. O estudo de localização que será apresentado é dividido em duas partes as quais permitem estudar dois casos típicos, seja o caso de um objeto fixo e o caso de um objeto em movimento. A tecnologia RFID, bem como os métodos de localização estudados serão introduzidos também.

Um estudo do sistema com relação a alguns parâmetros será apresentado, bem como diferentes tipos de antenas foram utilizadas no intuito de fazer uma comparação sobre a aplicação do projeto.

Por fim, este documento apresenta um protótipo de um sistema de posicionamento que foi implementado no decorrer deste projeto.

Palavras chave:

Localização, ambiente indoor, tecnologia RFID (Identificação Radio Frequência), Etiquetas passivas, Banda UHF, LANDMARKS, Antena.

Abstract

This document presents the work done during my graduation project at the Laboratory of Microwaves and Characterization (LAHC) which is part of the Institute of Microelectronics, Electromagnetism and Photonics (IMEP).

The subject of the course involves the study of how to do an algorithm for locating object of people in an indoor environment by using RFID tags passive at frequency of 860 – 960 MHz (UHF band)

The localization technique is based on the use of tags on the reference map, called by LANDMARKS, and optimized by the optimal power parameter.

A summary of the Laboratory (LAHC) and the specification of the overall project will initially propose. The location study to be presented is divided into two parts such that we can study two typical cases, i.e. the case of a fixed object and a moving objet. RFID technology, as well location methods will be introduced also studied.

The system studies compared several parameters are present, as well different types of antennas are used in order to make a comparison on the implementation of the project.

Finally, this paper presents a prototype positioning system that was designed during this project and the ensuing results.

Keywords:

Localization, Indoor environment, RFID (Radio Frequency IDentification), Passive tags, UHF band, LANDMARKS, Antenna.



1. Contexto

1.1 *Objetivos do estágio*

Os domínios da ciência e tecnologia criaram um forte impacto em vários aspectos no mundo (econômicos, políticos, ecológicos). Considerando a rápida evolução dos serviços relacionados a programas em alta tecnologia bem como seus materiais, pode-se dizer que esse avanço decorre da velocidade como estes materiais são caracterizados. Com uma relação mais profunda sobre melhorias no desempenho do material que está relacionado ao desenvolvimento de nanotecnologias e também são responsáveis pelo aumento da frequência dos dispositivos e sistemas.

A grande evolução na velocidade e dimensões dos circuitos eletrônicos, e a explosão das necessidades em rádio frequência, tornam o controle de desempenho da velocidade um desafio tecnológico importante. A tecnologia RFID surgiu como consequência destas evoluções, a qual permite uma abertura no mundo da pesquisa científica no intuito de propor novos caminhos para ajudar, facilitar, revolucionar a vida social das pessoas. Dentre uma gama de aplicações da RFID, nós nos deparamos na localização e mapeamento, que possibilitam efetuar monitoramento de objetos, por exemplo, para ajudar num ambiente fechado (indoor) pessoas com deficiência terem uma vida mais independente.

O objetivo deste estágio é realizar um demonstrador que permita mostrar a confiabilidade dos procedimentos de localização estudados. Neste trabalho, optou-se pela tecnologia RFID UHF passiva.

1.2 *Plano do estágio*

A primeira etapa do estágio engloba o estudo dos métodos de localização numa pesquisa bibliográfica para compreender bem a teoria dos métodos existentes de localização e pensar como chegar a um método diferente, seja em conjunto com outro método ou utilizando teorias de radio frequência.

Logo após, será necessário levar em consideração o tratamento do sinal com o leitor RFID SkyeTek Módulo M9, isto diz respeito as atividade de leitura, escrita, gestão dos dados das etiquetas RFID como identificação e posição do etiqueta RFID. Em seguida de acordo com a indicação das medidas da potência ótima a ser enviada, será feita uma comparação das antenas usadas nos testes para saber em quais condições de operação, qual tipo de antena tem melhor desempenho para a localização. Assim, na sequência, ter-se-á foco na instalação de um link sem fio entre o leitor RFID e o computador. Por fim, será necessário adaptar uma interface e um demonstrador que permita localizar um robô numa sala.



1.3 Apresentação do laboratório

O Institute de Microélectronique, Electromagnétisme et Photonique e o Laboratoire d'Hyperfréquences et de Caractérisation, constituem a unidade mista de pesquisa (UMR5130 CNRS, Grenoble INP, UJF e Université de Savoie) com 180 profissionais na área de pesquisa em micro e nano eletrônica, microfotônica, micro e nano-sistemas, microondas e opto microondas.

A criação do IMEP-LAHC consta do nascimento concomitante entre IMEP e do LAHC em 2007. Onde antes, o IMEP fora criado em 2001 pela fusão de dois laboratórios antigos, o Laboratoire d'Electromagnétisme Microondes et Optoélectronique (LEMO) e o Laboratoire de Physique des Composants à Semi-Conducteurs (LPSC), e do outro lado o LAHC foi criado desde 15 anos.

Atualmente, o IMEP-LAHC possui 58 pesquisadores e professores-pesquisadores, 17 engenheiros/técnicos e administrativos, 84 doutorandos e 21 pesquisadores/engenheiros não permanente. Seus principais temas de pesquisa são:

- **Componente de micro/nano eletrônica (CMNE)**
 - CMOS ultimate;
 - Nanoestruturas e nanosistemas integrados;
 - Simulação e modelagem;
 - Eletrônica supercondutora (RSFQ).

- **Rádio frequência, Hyperfrequência e Optomicroondas (RFHO)**
 - Transmissão banda larga;
 - Funções de RF;
 - Elementos passivos e interconexões;
 - Eletromagnetismo e modelagem.

- **Fotônica em THz e Optoeletrônica (PHOTO)**
 - Ótica integrada sobre Si e em vidro;
 - Sensores ópticos;
 - Optoeletrônica em THz.

O IMEP-LAHC tem várias colaborações de pesquisa. Do ponto de vista de empresa pode-se citar: France TELECOM, IBM (USA), MOTOROLA, ST MICROELECTRONICS, TEXAS INSTRUMENTS, etc. O desenvolvimento do projeto foi efetuado no Minatec¹.



Figura 1.1: Vista aérea do Minatec.

¹Minatec é um complexo científico dedicado para as aplicações em micro e nanotecnologias.

2. Tecnologia RFID

2.1 Introdução

Desde o avanço da transmissão das ondas eletromagnéticas com Marconi¹ em 1896, bem como o desenvolvimento dos sinais rádios, uma forte raiz nasceu com intuito de aproximar o mundo da tecnologia em rádio frequência. Com as revoluções do século XX, a tecnologia RFID surgiu como consequência destes avanços de transmissão via rádio.

Neste capítulo fixar-se-ão bem os aspectos mais relevantes na tecnologia RFID, tais como aparência constituição do sistema RFID e derivações para compreender bem o funcionamento desta tecnologia promissora. Dar-se-á prioridade ao sistema RFID UHF.

2.2 História

A RFID teve origem desde 1940. Durante a Segunda Guerra Mundial, os aviões da Royal Air Force eram identificados por chips RFID [1]. Depois da guerra, ela veio através de estudos e manipulações em laboratórios de pesquisa e em seguida ela começou a fortalecer a relação entre o mundo comercial e o mercado consumidor, no que diz respeito à utilização de dispositivos com tecnologia de ponta. Na figura 2.1, pode-se observar a cronologia da RFID.

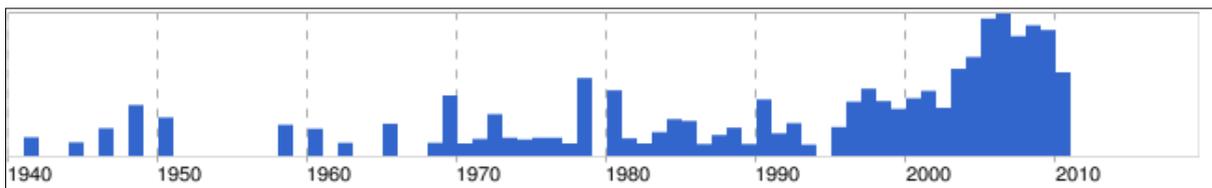


Figura 2.1: Cronologia da RFID.

A figura 2.1, ilustra relatos que surgiram no mundo com relação à RFID. De forma sucinta, podem-se citar alguns dos principais eventos conforme a tabela 2.1.

¹ *Guglielmo Marconi (25 de abril de 1874 – 20 de julho de 1937) – Físico, inventor italiano considerado o inventor das transmissões via rádio.*

Tabela 2.1: Principais eventos ligados a RFID.

Ano	Evento
1940	1946 - Pesquisas do inventor russo Léon Theremin ¹ para espionagem. 1948 - RFID para distinguir aviões aliados dos aviões inimigos.
1950	1958 - Criação da sociedade francesa BALOGH destinada a sistemas de detecção sem contato (detectores de proximidade indutivos).
1960	1969 - Surgimento da RFID em ambientes de depósitos com patente de Mário Cardulho ² por um módulo de escrita e leitura de tags RFID.
1970	Sistemas RFID permaneceram como tecnologia protegida para uso militar apoiados pelo estado devido à segurança em especial nos lugares sensíveis em setor nuclear.
1980	Utilização da RFID para identificação de gado (implants) Fechaduras de carros baseados na RFID Fabricação e comercialização de tags para várias firmas européias e americanas Montadores de carros como GM e FORD começaram a lançar projetos com RFID
1990	Lançamento de vários projetos pela: Daimler, BMW, GM, Volkswagen, Peugeot e Renault. Continuidade da criação de empresas para diversas soluções utilizando tecnologia RFID IBM estréia na RFID com o projeto auto-ID desenvolvido pela universidade do MIT, em seguida inicia projetos com EPC global
2000	RFID começa a substituir o código de barras em maior escala Abertura de diferentes tipos de aplicações e soluções da tecnologia RFID

Dentre os avanços da tecnologia RFID, destaca-se a evolução do transistor MOS, um dos mais importantes desenvolvimentos em etiquetas na área de microondas, pelo fato de ter o tamanho menor das etiquetas, onde existiam no mínimo dois componentes: um único circuito CMOS personalizado e uma antena [2]. Logo, na seqüência, os tamanhos das etiquetas começaram a ser limitados por restrições da antena. Assim a concepção de antenas miniaturizadas começa a ser um fator importante para redução do tamanho das etiquetas.

¹ Léon Theremin (27 de agosto de 1896 – 3 de novembro de 1993) – Inventor soviético mais conhecido pela invenção do theremin (instrumento de música eletrônico) e o “The Thing” uma ferramenta de espionagem, é considerado como um predecessor da tecnologia RFID.

² Mario Cardulho – Considerado um dos principais elementos dentro de um certo número de empresas de tecnologia e o inventor de uma das patentes de base para etiquetas RFID (patent: 3713148 emissão em Janeiro de 1973).

Na figura 2.2, observa-se a evolução das etiquetas em microondas, onde inicialmente tinham-se etiquetas de 12-bits para somente leitura com ajuda de chips CMOS lógicos e híbridos de película grossa, figura 2.2 (a), depois etiqueta de 128-bits para somente leitura com ajuda de um circuito CMOS integrado personalizado com componentes externos, figura 2.2-(b), em seguida etiquetas de 1024-bits de leitura-escrita com ajuda de um único circuito integrado CMOS personalizado, figura 2.3 (c).

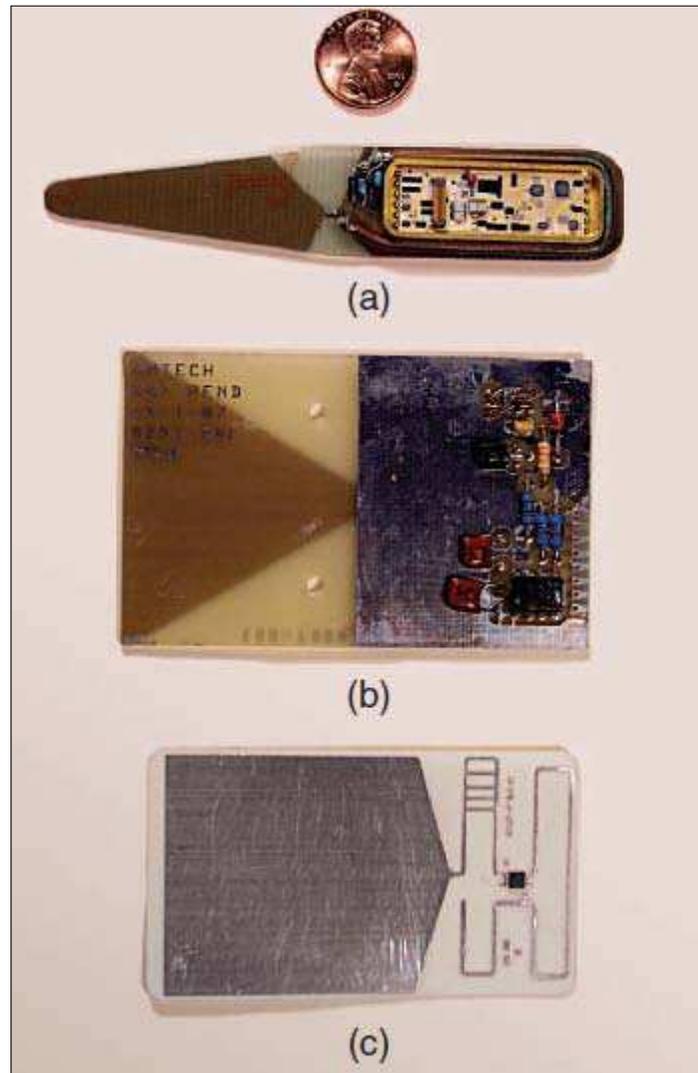


Figura 2.2: Evolução dos tamanhos das etiquetas em comparação com uma moeda: (a) circa 1976 circuito tem a metade da área da etiqueta, (b) circa 1987 o circuito cobre um quarto da área da etiqueta e (c) circa 1999 o circuito cobre uma parte insignificante da área da etiqueta.

2.3 Perspectivas e aplicações

Com o desenvolvimento das aplicações RFID, diferentes mercados começaram a investir profundamente viabilizando o custo porque num primeiro momento, por exemplo, o preço das etiquetas era alto e com o aumento da produção chega-se na lei da oferta e da procura em que o preço tem tendência a se alinhar com o aumento da produção. Então, como a demanda começou a aumentar e a produção também, os materiais da RFID, de forma indiferente, foram englobados nesse efeito, ver figura 2.3.

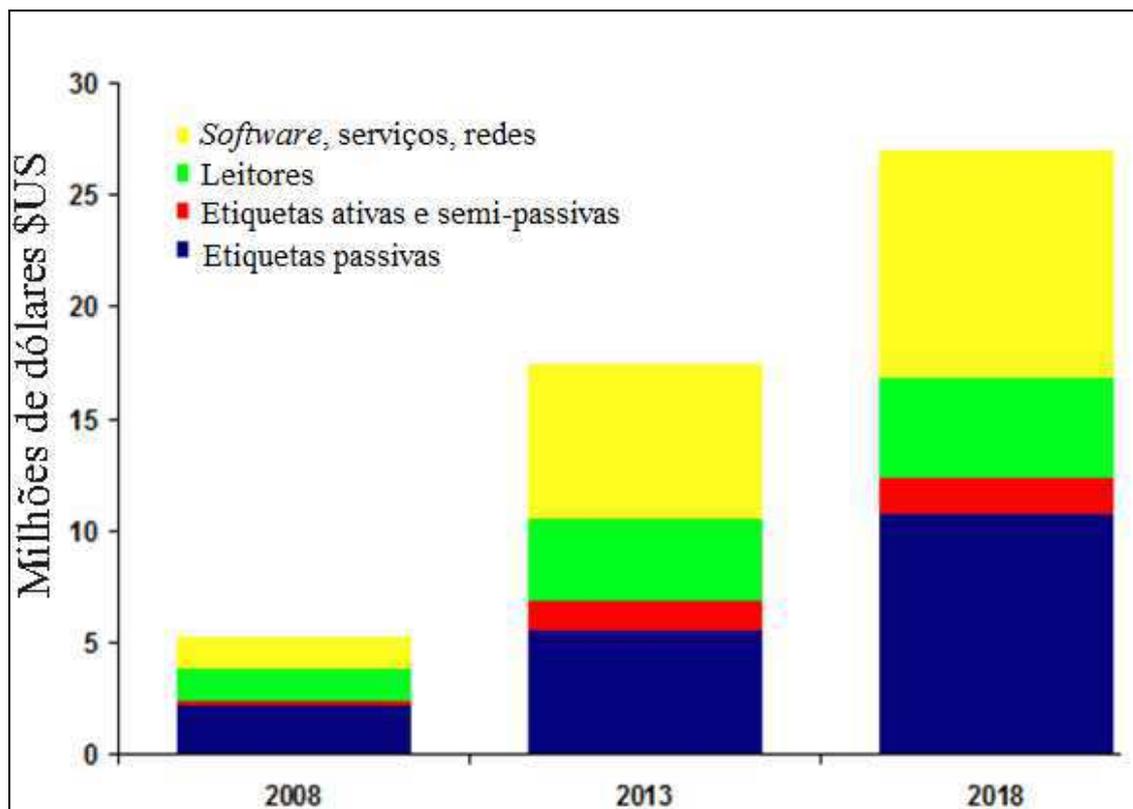


Figura 2.3: Previsão do mercado da RFID [3].



As aplicações da RFID começaram a ser notáveis em meados de 1990, em vários setores dando abertura ao mercado da RFID. A tabela 2.2, mostra algumas aplicações da RFID com suas determinadas funções em setores específicos bem como suas vantagens e desvantagens e seu público alvo.

Tabela 2.2 – Exemplo de aplicações da RFID.

Setor	Função	Vantagens	Usuários
Pecuária (bovinos), piscicultura	Gestão de bovinos e piscicultura	Automatização de tarefas	Administrador rural
		Segurança e rastreabilidade	Piscicultores
Alimentício	Acompanhamento dos produtos frescos ao longo da linha de produção com uma possível continuação para o consumidor	Coleta de dados automatizada	França: Alibert
		Melhor gestão na frota de containers	Inglaterra: Mark & Spencer
		Possibilidade de modificar as informações nas etiquetas sem alterar a embalagem	Espanha: Campofrio
Médico	Monitoramento de doenças	Feedback de informação frequente	Em fase de teste em animais
	Etiquetas equipados com biossensores	Pacientes podem ser monitorados fora do hospital	FDA (Food & Drugs Administration)
Automóveis	Identificação de veículos	Evitar roubos	Montadoras
	Anti-Starter	Identificação em tempo real	

2.4 Sistema RFID UHF

Em geral, o sistema RFID UHF é composto pelo leitor, etiqueta, e unidade para gestão de dados, ver figura 2.4, onde o leitor é responsável pela parte de emissão do sinal numa antena, externa, por exemplo, e dando a possibilidade de escrever ou ler dados das etiquetas, por exemplo, numa plataforma de tratamento de sinal. O elemento que permite emitir mobilidade do sistema é a etiqueta, a mesma pode responder uma solicitação vinda do leitor de acordo com suas especificações (tipo, norma, etc.). Em seguida, a gestão dos dados e eventuais cálculos necessários são feitos por um sistema de tratamento (computador) via RS232, USB, wifi, Bluetooth, etc.

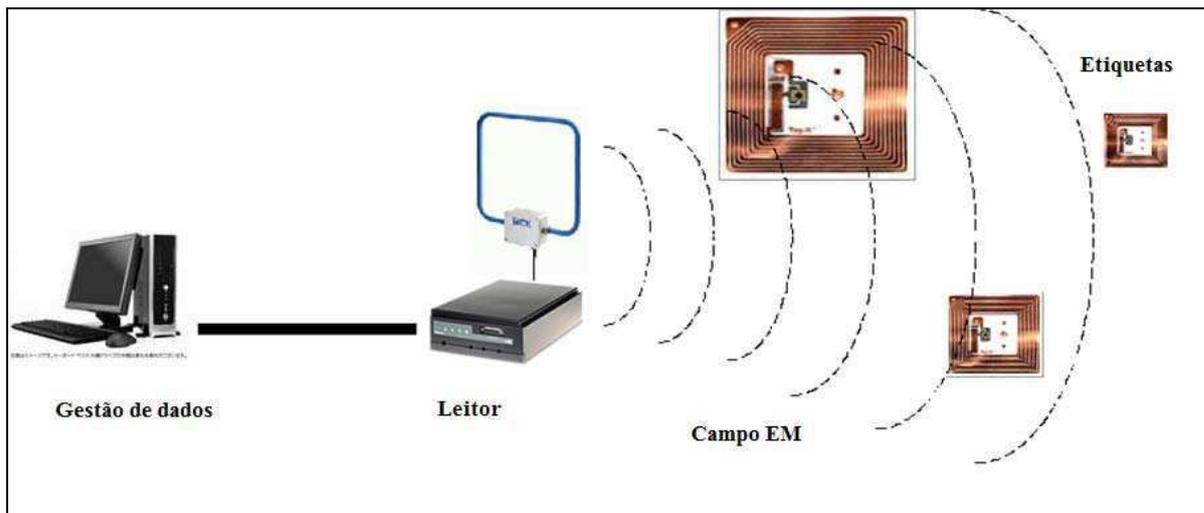


Figura 2.4: Sistema RFID UHF.

2.4.1 Princípio de funcionamento

O funcionamento de um sistema RFID UHF, figura 2.4, baseia-se no princípio de acoplamento indutivo (maioria dos sistemas passivos), podendo ser também pelo princípio de acoplamento backscatter, se o etiqueta está na zona de detecção do leitor, o sistema procede da seguinte maneira:

1. O leitor envia um sinal não modulado à etiqueta;
2. A etiqueta recebe o sinal não modulado e envia um sinal modulado (PSK, BPSK, FSK) com informação do EPC¹;
3. O leitor adquire os dados da etiqueta, e via um aplicativo host é possível obter informações da etiqueta analisado.

¹ EPC: Uma explicação mais detalhada pode ser encontrada na seção 2.5.3.

2.4.2 Diferentes tipos

As etiquetas utilizadas nos sistemas RFID possuem diferentes maneiras de obter energia suficiente para enviar onda eletromagnética modulada, seja via energia do leitor, seja por uma bateria na própria etiqueta, ou seja, por uma energia disposta apenas no chip. Cada fonte de alimentação proporciona um diferente nível de funcionamento do sistema. Os três tipos existentes estão presentes na tabela 2.3, onde as características de taxa de dados, distância de detecção, custo e vida útil são comparadas.

Tabela 2.3 – Tipos de sistema RFID[3].

Tipo	Distância	Dados	Vida útil	Custo
Ativo	+++	+++	+	+++
Semi-passivo	++	++	++	++
Passivo	+	+	+++	+

2.4.3 Frequências utilizadas

Na tecnologia RFID, pode-se trabalhar numa larga gama de frequências. Porém, é necessário levar em consideração algumas características para saber qual melhor banda de frequência está de acordo para determinada aplicação RFID. A solução para escolha pode ser obtida de acordo com a tabela 2.4.

Tabela 2.4 – Bandas de frequências [3].

Tipo	Frequência	Distância	Dados	Penetração	Custo
BF	125 kHz	+	++++	+	++++
HF	13,56 MHz	++	++	++	+++
UHF	860-960 MHz	+++	++	+++	++
Micro-ondas	2,45 GHz	++	++++	++++	+

2.5 Aspectos normativos

2.5.1 Normalização

A utilização de diferentes tipos de etiquetas em diferentes leitores exigiu uma normalização. No entanto, isto afetou a comunicação entre diferentes etiquetas e leitores, para esta comunicação é necessário definir normas que introduzam o protocolo de comunicação.

A normalização dos protocolos de comunicação na RFID é definida pelo quadro do comitê técnico comum na ISO/IEC. As principais normas relativas aos protocolos de comunicação são apresentadas na tabela 2.5. Observa-se também a existência das normas 18046 com relação aos testes de performances e 18047 relacionada ao teste de conformidade.

Tabela 2.5: Principais normas das aplicações em RF.

Norma	Correspondência
ISO 18000-1	Arquitetura de referência e definição dos parâmetros a normalizar
ISO 18000-2	Parâmetros de comunicação para frequências inferiores a 135 kHz
ISO 18000-3	Parâmetros de comunicação para frequências inferiores a 13,56 MHz
ISO 18000-4	Parâmetros de comunicação para frequências inferiores a 2,45 GHz
ISO 18000-5	Parâmetros de comunicação para frequências inferiores a 5,8 GHz
ISO 18000-6	Parâmetros de comunicação para frequências inferiores em UHF
ISO 18000-7	Parâmetros de comunicação para frequências inferiores a 433 MHz

2.5.2 Regulamentos

Nos sistemas RFID, da mesma forma que existem normas, existem regulamentos com relação à potência de emissão que estão disponíveis na tabela 2.6.

Tabela 2.6: Regulamentos.

Regulamento	Frequência (MHz)	Região
ETSI/EN 300-330	0,009 - 25	Europa
ETSI/EN 300-220	25 - 1000	
ETSI/EN 300-4400	1000 - 25000	
FCC 47 parte 15	0,009 - 1000	EUA

Como neste trabalho fixa-se na banda UHF, então para os sistemas RFID UHF, é interessante definir os níveis de potência de emissão permitidos como mostra a tabela 2.7.

Tabela 2.7: Espectros ligados à RFID UHF em função da região.

Região	Banda de frequência	Potência permitida
Europa	869,4 a 869,65 MHz	500 mW ERP
	865 a 868 MHz	100 mW ERP – LBT
	865,6 a 867,6	2 W ERP - LBT (10 canaux de 200 KHz)
	865,6 a 868	500 mW ERP - LBT
América	902 a 928 MHz	4 W EIRP - FHSS (80 canaux de 325 kHz)
Ásia e Oceania	Japão: 952 a 954 MHz	4 W EIRP
	Coréia: 908,5 a 914 MHz	4 W EIRP
	Austrália: 915 a 928 MHz	1 W EIRP

2.5.3 EPC

O EPC, código de produto eletrônico, é um identificador único (ID) para identificar um objeto num canal de produção. Neste código, encontram-se características que podem ser modificada ou não de acordo com o tipo da etiqueta. Estas características são expressas na estrutura básica do EPC. Geralmente têm-se três formatos de códigos de produtos eletrônicos: 64, 96 ou 125 bits.

A figura 2.5 mostra um exemplo da estrutura de um EPC no formato de 96 bits onde cada parte possui uma função, conforme tabela 2.8. Com o EPC, independente do formato, ele possibilita identificar de forma única o objeto que se deseja rastrear.

Tabela 2.8: Funções de cada bloco de um EPC 96 bits.

Bloco	Número de Bits	Função
Cabeçalho	8	Codificar a nacionalidade
EPC Manager	28	Identificar a organização que atribuiu o código (fabricante)
Código do produto	24	Identificar o tipo do produto
Número de Série	36	Representa as informações relativas ao produto

01 Cabeçalho	0 000 A89 EPC manager	000 16F Código do produto	000 169 DC0 Número de série
------------------------	---------------------------------	-------------------------------------	---------------------------------------

Figura 2.5: Exemplo de um formato de EPC 96 bits.

EPCglobal:

EPC global é uma organização implementada para atingir adoção a nível mundial, bem como a normalização do EPC. De outra maneira, o EPC global tem como objetivo de ampliar a dinâmica do auto ID gerada pelo centro MIT em um número crescente de profissionais empenhados em participar no desenvolvimento de normas de EPC e também para sustentabilidade financeira da iniciativa.

2.6 Tipos de etiquetas

As etiquetas RFID são divididas em três tipos: as etiquetas *passivas* (figura 2.6(a)), as quais não utilizam bateria interna como fonte de alimentação; pelo outro lado, *etiquetas ativas* (figura 2.6(b)), que possuem uma fonte de energia embarcada para difundir o sinal na direção do leitor, e por último existem as *etiquetas semi-passivas* (figura 2.6(c)). Estes últimos têm funcionamento análogo às etiquetas passivas, os quais possuem uma bateria para que o leitor possa estar numa considerável distância da etiqueta, deixando a etiqueta trabalhar independentemente com o leitor.

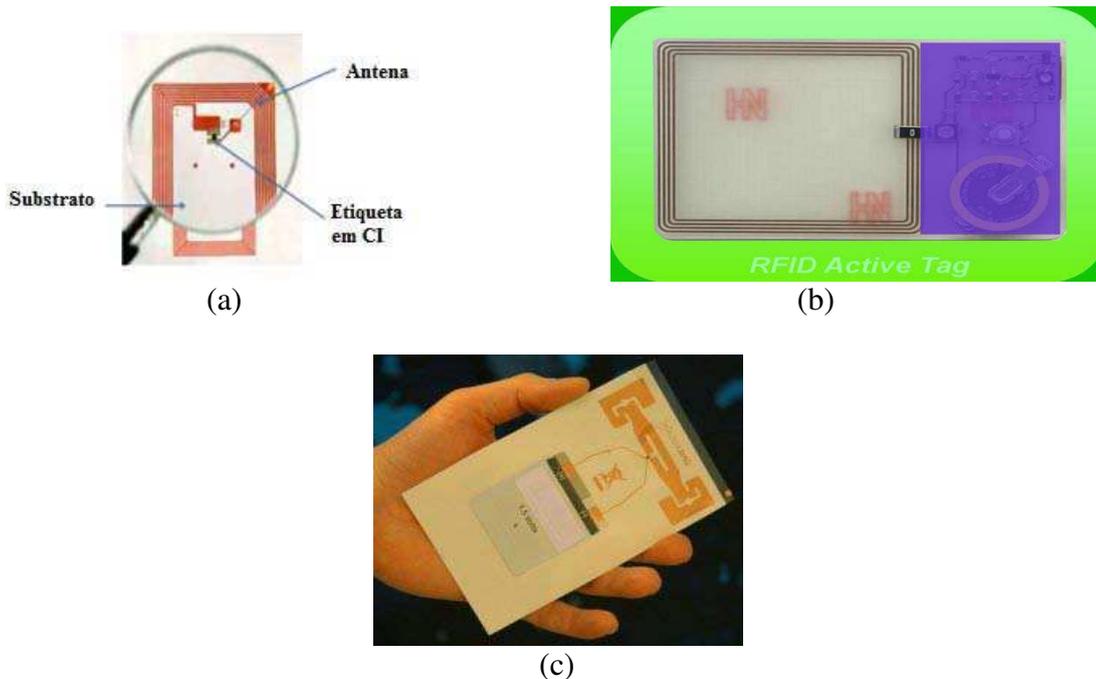


Figura 2.6: Tipos de etiquetas: a) passiva [4], (b) ativa [5], (c) semi-passiva [6].

2.6.1 Princípio de funcionamento

Em geral, etiquetas RFID são compostas de silício e cobre. Elas têm características no seu padrão de trabalho e dispõem:

- Uma memória de capacidade variável em torno de um microprocessador;
- Um dispositivo de comunicação sem contato, graças a uma antena transmissora remotamente ligada a um microprocessador;
- Um mecanismo de produção de energia, devido às reações do enrolamento da antena para a passagem de um campo eletromagnético, que fornece baterias e proporciona o uso ilimitado.

A figura 2.7 mostra o princípio básico de funcionamento dos sistemas RFID indutivos passivos. Neste tipo de sistema pode-se citar os sistemas que trabalham na frequência de 13,56 MHz. Logo, inicia-se primeiro com a antena do leitor que tem o objetivo de criar um campo eletromagnético. Este campo induz tensão na bobina da etiqueta e a alimenta com energia.

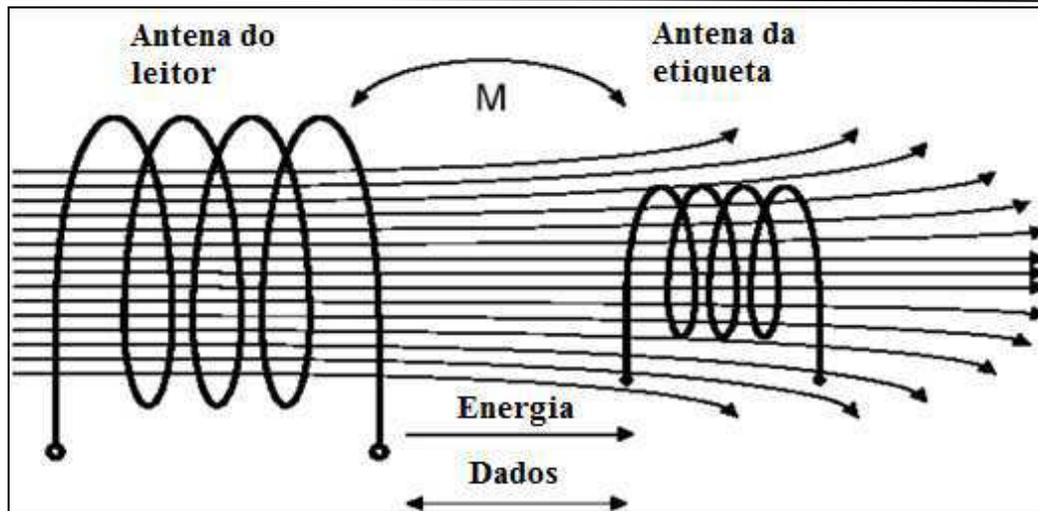


Figura 2.7: Princípio básico de funcionamento de um sistema indutivo passivo.

2.6.2 Comparação

Na tabela 2.9, têm-se as características de cada tipo de etiqueta, assim pode-se estudar bem os tipos mais adequados de acordo com suas características, caso contrário, pode-se identificar a raiz de algum problema, característica de um sistema em funcionamento irregular.

Tabela 2.9 Características das etiquetas.

Caractéísticas	Etiqueta Passiva	Etiqueta ativa	Etiqueta semi-passiva
Fonte de energia	Energia fornecida pelo leitor	Bateria na etiqueta	Bateria devido ao funcionamento de um chip somente
Resposta	Fraca	Forte	Forte
Tamanho	Pequeno	Grande	Médio
Custo	Mais barato	Mais caro	Mediano
Disponibilidade do sinal da etiqueta	Somente no campo do leitor, menos que três metros	Permanente, algumas dezenas de metros	Somente no campo do leitor
Força do sinal da etiqueta	Muito baixa	Elevada	Baixa
Força do sinal exigida pelo leitor	Muito elevada	Muito baixa	Baixa
Aplicações típicas	Usado para acompanhar as mercadorias em volume, onde os itens devem ser lidos a curtas distâncias	Útil para rastrear mercadorias de alto valor, que necessitam ser lidas a longas distâncias.	



3. Estudo dos métodos de localização

3.1 Introdução

Num sistema de localização, seja pela tecnologia RFID, GPS, WLAN, RADAR, UWB RFID ou ZigBee RFID, em todo caso é necessário ter um sistema preciso com consumo mínimo de energia. Assim, pode-se dizer que a precisão do sistema está presente no método utilizado, de fato isto é relevante visto que a localização é uma aproximação de modelos estimados que levem em consideração erros de leituras dos sensores que podem interferir desagradavelmente na precisão do sistema.

Esta parte corresponde, a uma pesquisa bibliográfica de um algoritmo de acordo com especificações do projeto disponíveis no laboratório. A pesquisa decorre de leitura de artigos e em seguida uma comparação entre os métodos estudados. Foram considerados dois casos para a localização, um caso onde o objeto é fixo (caso estacionário) e o caso onde o objeto se locomove no ambiente indoor.

3.2 Caso de um objeto estacionário

Nesta etapa, considerar-se-á o objeto fixo, a fim de buscar, na literatura, métodos mais adequados com a aplicação deste trabalho. Assim, encontraram-se métodos que dependem do sistema de localização, bem como o número de leitores utilizados.

3.2.1 Sistema AOA (Angle of Arrival)

Este método utiliza os ângulos de chegada para determinar a posição e a distância, do objeto. Como se pode observar na figura 3.1, o método efetua um cálculo de triangulação a partir do ângulo em que o sinal emitido pelo objeto a ser localizado, chega às antenas, para isso deve-se existir no mínimo três antenas. Uma aproximação comum para obter medidas AOA é a de usar uma rede de antenas sobre cada nó [4].

O sistema AOA, tem maiores aplicações em localizações geográficas de telefonia móvel. A diretividade das antenas é muito importante no que diz respeito ao nível de precisão do sistema.

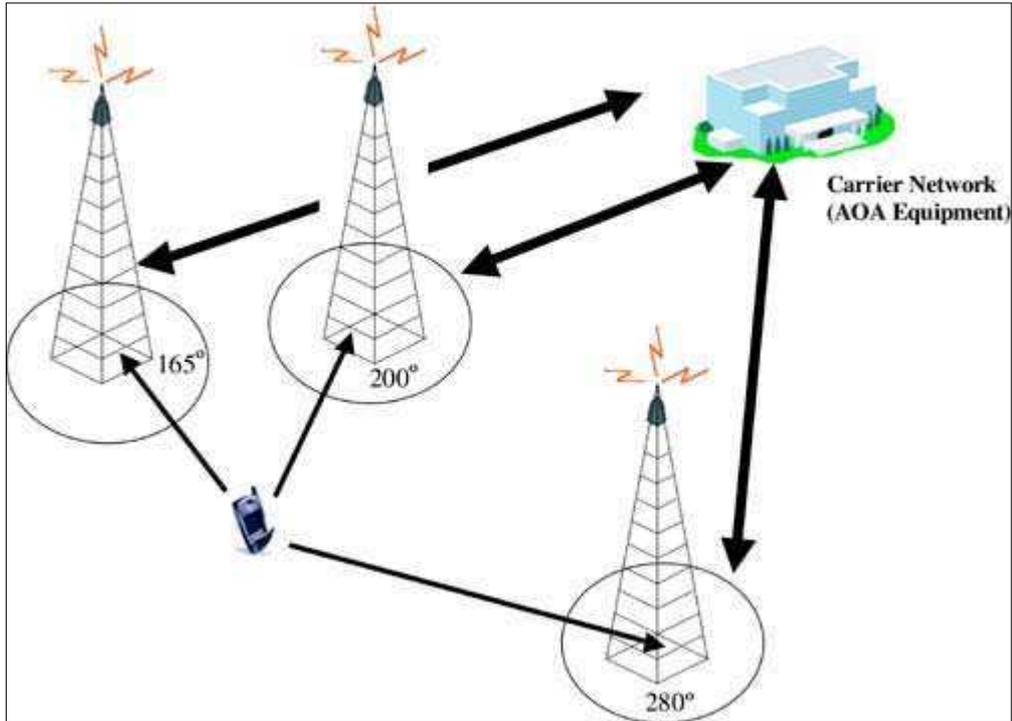


Figura 3.1: Sistema AOA.

3.2.2 Sistema TDOA (Time Difference of Arrival)

Conhecido também por multilateração consiste na localização em medidas de diferentes tempos de chegada de um sinal da etiqueta nas estações de base, mínimo três. O algoritmo de cálculo da posição se dá pela intersecção das hipérbolas em 2D ou 3D, o que depende do número de coordenadas levadas em consideração para os sensores.

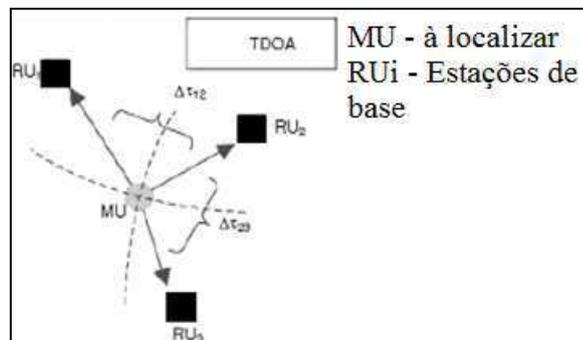


Figura 3.2: Sistema TDOA[5].



3.2.3 Sistema TOA (Time of Arrival)

Este tipo de localização leva em consideração o tempo de transmissão do sinal do emissor para atingir o receptor a uma distância (d). Então, com a diferença entre os tempos medidos que chegam na estação de base e um ponto de referência, até então tem-se o método TDOA, com a diferença ($\Delta\tau$) pode-se determinar a distância (d) entre o emissor e o receptor a partir da equação de propagação (3.1).

$$d = c\Delta\tau \quad (3.1)$$

onde, c é a velocidade de propagação da onda eletromagnética no ar.

Neste caso, é necessário deixar a etiqueta e as estações de base sincronizadas, pois na maioria dos casos é difícil ter um relógio de grande precisão comum para ambos. Este método é bem semelhante ao TDOA,

O algoritmo pode ser implementado pela intersecção de três círculos, observando-se três círculos ao invés de duas hipérbolas na figura 3.2, obtém-se então uma solução para a posição da etiqueta.

3.2.4 Sistema RTOF (Round-Trip Time of Flight)

Neste método, semelhante aos precedentes, ao invés de medir o tempo em que o sinal leva para ir do emissor ao receptor, mede-se o tempo de ida-volta. Nele, a sincronização entre as estações de base e o etiqueta não é tão rigorosa.

3.2.5 Sistema RSS (Received Signal Strength)

O método RSS é baseado na medida das perdas de propagação no espaço livre (equação 3.2). Logo, com a diferença de potência do sinal que vem da etiqueta sabe-se a distância em que o objeto se encontra, através de cálculos de trilateração.

De toda forma, a utilização desta técnica produz erros consideráveis de medida por meio das interferências no ambiente como trajetos múltiplos e reflexão devido aos obstáculos dentro do ambiente.

$$P_{loss} = 20 \log\left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right) \quad (3.2)$$

O parâmetro RSSI (Received Signal Strength Indication) é útil para estimar a distância entre as etiquetas e o leitor.

3.2.6 Sistema Triangulação

A triangulação possibilita estimar as coordenadas de um ponto qualquer $p_q(x,y)$, com a distância entre esses pontos fixos (por exemplo: etiquetas de referência). A distância pode ser obtida por um modelo de propagação estatístico e o sinal de RF medido [6]. A figura 3.3 ilustra um esquema para triangulação em duas dimensões (2D) quando se tem estimativas precisas. As coordenadas (x,y) podem ser calculadas por (3.3). A vantagem deste algoritmo é de possuir um custo de implementação baixo.

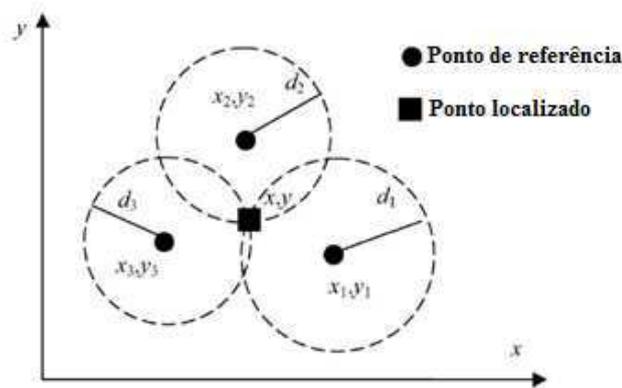


Figura 3.3 – Método da triangulação 2D [6].

$$\begin{aligned}
 d_1 &= \sqrt{(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2} \\
 d_2 &= \sqrt{(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2} \\
 d_3 &= \sqrt{(x - x_3)^2 + (y - y_3)^2}
 \end{aligned}
 \tag{3.3}$$

Como as medidas e o modelo de propagação não são precisos, é provável que se obtenha estimativas inexatas. Então, uma solução seria implementar mais pontos de referência. De acordo com [6], neste caso, a estimação pode ser feita por um modelo de propagação não linear, logo:

$$\begin{aligned}
 & \text{Min} \left(\sum_{i=1}^n e_i \right) \\
 e_i &= \left| d_i - \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} \right|, i = 1, 2, \dots, n \\
 & x, y \in A
 \end{aligned}
 \tag{3.4}$$

sendo, A a área de localização.

3.2.7 Sistema vizinho-próximo

O método do vizinho-próximo (Near-Neighbour) é simples, como o algoritmo inicia-se com os pontos que se encontram mais próximo, o de menor distância será o que irá oferecer menor diferença de potência entre dois pontos e com isso o objeto pode ser localizado pelos seus vizinhos.

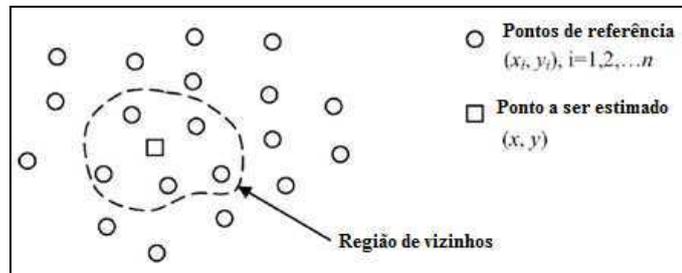


Figura 3.4 – Método do vizinho-próximo [6].

$$\begin{aligned} x &= \sum_{i=1}^k w_i x_i \\ y &= \sum_{i=1}^k w_i y_i \end{aligned} \quad (3.5)$$

em que:

(x_i, y_i) - são as coordenadas de referência;

w_i - são as ponderações dos pontos de referência;

k - é o número de vizinhos próximos.

As ponderações são calculadas usando a equação (3.6), seguinte:

$$w_i = \frac{1}{\sum_{j=1}^m |ss_{ij} - ss_j|} \quad (3.6)$$

$$\sum_{i=1}^k \left(\frac{1}{\sum_{j=1}^m |ss_{ij} - ss_j|} \right)$$

sendo:

ss_i e $ss_j, j = 1, 2, \dots, m$; - as potências dos sinais entre o ponto localizado e o $i^{\text{ésimo}}$ ponto de referência, respectivamente pelo $j^{\text{ésimo}}$ dispositivo de referência (por exemplo: a antena) com as coordenadas de referência relacionadas com os pontos localizados e os pontos de referência;

m - número de dispositivos de referência.

27/2/2011

Gregory Arthur de Almeida Carlos

A vantagem deste método é que o mesmo independe de um modelo de propagação particular. O método torna-se mais robusto para ambientes não-isotrópicos. Sobretudo, a característica de ter uma ponderação no método compensa eventuais erros, uma vez que se houvesse um mesmo peso para todos os vizinhos, isto implicaria em vários erros [7].

3.2.8 Sistema inferência Bayesiana

Inferência Bayesiana é um método de inferência estatístico em que a evidência ou observações são usadas para inferir ou atualizar sobre a probabilidade de que a hipótese seja verdadeira [6]. Considerando-se que a propagação dos sinais RF são processos estocásticos, logo se pode justificar porque a inferência bayesiana é um algoritmo bem adequado nos domínios de pesquisa em localização RF. No caso de objetos estacionários tem-se a expressão (3.7).

$$p(l|s_{1:t}) = \alpha \cdot p(s_t|l) p(l|s_{1:t-1}) \quad (3.7)$$

onde:

$p(l|s_{1:t})$ - é a probabilidade de que o objeto esteja na posição l dadas as observações $s_{1:t}$ (por exemplo: a potência do sinal RF);

$p(l|s_{1:t-1})$ - é a probabilidade de encontrar o objeto dado que as observações começaram num período antes das amostras;

$p(s_t|l)$ - é a probabilidade de ter a observação no tempo t dada uma posição l ;

α - é uma constante de normalização.

3.2.9 Sistema em Landmarks

Na literatura, existem métodos que podem ser aplicado na localização de objetos. O método de landmarks¹ foi bem utilizado na tecnologia RFID [7]-[9]. A técnica consiste em utilizar etiquetas de referência para aumentar a precisão do sistema de localização, e também para evitar a utilização de leitores suplementares.

Portanto, com uma distribuição de etiquetas, seja triangular, ou seja, quadrada, pode-se identificar o objeto a ser localizado. De fato, tendo possibilidade de efetuar detecções de várias etiquetas de referência, pode-se estimar a posição em 2D, através da equação 3.8. De acordo com as ferramentas disponíveis no laboratório, este método se enquadra de forma satisfatória para o estudo deste trabalho.

¹ Landmarks: No caso estacionário esta técnica utiliza etiquetas de referência onde a precisão depende da distância entre as etiquetas de referência.



$$\begin{pmatrix} X_{est} \\ Y_{est} \end{pmatrix} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \end{pmatrix} \quad (3.8)$$

3.3 Caso de um objeto em movimento

Neste, caso deve-se levar em consideração a posição e medidas em tempo real do objeto. Na literatura encontram-se alguns métodos relevantes. Observar-se-á que os métodos de localização móveis, em sua maioria, utilizam teoria de Bayes. Nesta etapa, serão observadas algumas características de propriedades dos algoritmos. Assim, a teoria de cada método não será abordada profundamente.

3.3.1 Sistema de localização por Monte Carlo (MCL)

O método de localização de Monte Carlo (MCL) consiste na aproximação da densidade, ou distribuição de probabilidade, baseada em amostras as quais são a possibilidade de representar a densidade sobre um conjunto de amostras obtidas ao acaso.

O método é definido como uma versão de Sampling/Importance Resampling (SIR), SIR é um parâmetro importante nos sistemas de localização móvel. É conhecido alternativamente por *filtro Bootstrap*, *filtro Monte-Carlo*, *algoritmo de condensação*, ou *algoritmo "the survival of the fittest"*. Estes se encontram no caso de **filtro de partículas**.

O algoritmo de MCL pode aproximar distribuições de probabilidade arbitrárias. A variação da importância de amostragem chega à zero numa taxa de $1/\sqrt{N}$ [10]. MCL pode ser bem aplicado para o caso *online*. A aproximação do método MCL pode solucionar ambigüidades, como em casos de movimentos simétricos numa localização global de um robô, por exemplo.

3.3.2 Sistema de localização Markov com filtro de Kalman

Este método é proposto como uma aproximação probabilística [11], a qual usa uma combinação de dois tipos de métodos:

- Localização de Markov (LM) para reduzir o erro de posição (x,y);
- Filtro de Kalman para estimar o ângulo de orientação (θ) de um objeto.

Assim esses dois métodos em conjunto compõem um sistema de localização com resultados satisfatórios.



Com relação à localização de Markov (LM) pode-se dizer que ela representa crença do robô para uma distribuição de probabilidade sobre as possíveis posições, e utiliza a regra de bayes e convolução para atualizar a certeza em cada instante de detecção dos movimentos.

Para o filtro de Kalman, ele usa representação gaussiana multivariada para representar a crença do robô, este método pode estimar a posição do robô por uma distribuição unimodal (caso local), assim para o caso multimodal (caso global) ele é inexato. Para sistemas não-lineares o filtro de Kalman produz resultados inconsistentes, pois a representação gaussiana não é válida neste caso.

3.3.3 Sistema de localização EKF (Filtro de Kalman estendido) – Baseado em SLAM (Mapeamento e Localização Simultânea)

Devido aos problemas de não-linearidade, o método EKF - baseado em SLAM surge como uma solução para tais problemas. Usualmente, os modelos de movimento de sensores podem ser aproximados em um modelo linear, logo se usa EKF como um estimador linear, pois com KF apenas o erro tende a aumentar com maiores estimativas de estados uma vez que o modelo é linear tão somente para pequenas diferenças (em valores de variáveis de estado). O algoritmo EKF-SLAM tem como base o teorema Bayesiano.

Com sistemas não-lineares, EKF pode deixar o sistema linear dando possibilidade de realizar uma localização mais precisa. Observa-se no método EKF que com um elevado número de pontos de referência, o sistema de localização tende a ficar impraticável.

3.3.4 Sistema de localização Ferret

Nesta técnica, existe a combinação de tecnologias de localização com aplicação multimídia onipresente. Ferret pode localizar objetos usando etiquetas RFID e mostrar sua posição em tempo real num usuário móvel. Ferret usa a localização e direcionalidade dos leitores para deduzir a posição de etiquetas próximas. Este sistema divide-se em dois algoritmos:

- 1º algoritmo – destinado para o modo off-line produz uma grande quantidade de cálculos (são adicionadas “leituras negativas”);
- 2º algoritmo – destina-se para operação em tempo real no sistema móvel.

Ferret pode refinar a localização dos objetos a 1% da região de cobertura dos leitores em menos de dois minutos com um erro de 2,22% [12]. Ainda que os resultados apresentados em [12] sejam bastante satisfatórios, uma desvantagem deste método seria a incerteza de obter uma razão custo/eficiência no caso de localização móvel de um robô.



3.3.5 Sistema de localização FastSLAM

FastSLAM decompõe o problema de mapeamento simultâneo (SLAM) num problema de localização de um robô, bem como o problema do conjunto de landmarks estimados, os quais são condicionados a estimação da orientação do robô. Este método introduz uma filtragem de partículas (filtro a partículas) que usa um conjunto de hipóteses sobre o caminho tomado do robô.

Em cada etapa, novos dados são avaliados e novas hipóteses são feitas. Com os dados, a qualidade de cada hipótese é avaliada, a qual permite associar uma *ponderação*. De acordo com esta ponderação, certas hipóteses serão negligenciadas e outras são consideradas com maior peso.

A implementação da idéia de um algoritmo que tem como uma instância de um filtro de partículas *Rao-Blackwellized* levou a um algoritmo que exige complexidade em $O(NM)$ mas existem estruturas que reduzem a $O(N \cdot \log(M))$ [13], sendo por exemplo mais rápido que o método EKF-FastSLAM. Sendo N o número de partículas e M é o número de elementos no mapa (landmarks).

FastSLAM parte do princípio de uma representação fatorada do problema SLAM conhecido pela propriedade de independência condicional. As estimativas das posições de landmarks são efetuadas via filtros de Kalman, para N partículas e M landmarks tem-se $(N \cdot M)$ filtros de Kalman, cada um em 2D (x,y) . FastSLAM utiliza um filtro de partícula para estimar o trajeto a posteriori, tal como filtro usado pelo MCL.

3.3.6 Sistema de localização FastSLAM 2.0

FastSLAM 2.0 é uma versão otimizada do convencional FastSLAM. Um exemplo disto é que antes de propor uma nova orientação do robô, etapa essencial nos filtros de partículas FastSLAM, a distribuição proposta se baseia não somente na estimação do movimento, mas também na medida mais recente do sensor. Da mesma forma que no EKF-SLAM, o filtro faz uma linearização dos modelos de movimento e medida, este método pode obter resultados melhores que os anteriores com um número de filtro de partículas reduzido ($N=1$), e exige a atualização constante, a todo instante.

Para um dado exemplo, o algoritmo FastSLAM 2.0 usa 10% menos tempo para estimação de trajetória de um objeto [14].

3.4 Comparação dos métodos

Com as características dos métodos estudados, uma comparação entre eles permitiu escolher o método mais adequado para aplicação deste trabalho mediante algumas explicações. Estas explicações encontram-se numa análise comparativa entre os métodos. As tabelas seguintes mostram algumas comparações entre os métodos comentados anteriormente.

Tabela 3.1 Comparação entre os métodos para o caso estacionário.

Método	Vantagens ()	Desvantagens (x)	Nível de correspondência com materiais no laboratório
AOA	Possibilidade de obter o ângulo de orientação com relação aos pontos de referência	Não dá a distância exata entre o leitor e o etiqueta, mas uma direção aproximada	-
		Imprecisão aumenta com a distância entre o leitor e o etiqueta	
		Necessita ao menos três estações de base	
TDOA	Possibilidade de evitar problemas de sincronismo	Necessita ao menos três leitores	😊 😊
TOA	Simple implementação	Necessita ao menos três leitores	😊
RTOF	Sincronização não é relevante como os outros (AOA, TDOA, TOA)	Precisa saber bem o tempo de tratamento do sinal	😊
		Necessita ao menos três leitores	
RSS	Funciona bem para estimar a distância entre o leitor e o etiqueta	Imprecisão aumenta com nível de enfraquecimento do sinal devido à interferência	😊 😊 😊
	Possível implementação com apenas um leitor		
Triangulação	Simple implementação	Necessita ao menos três leitores	😊
	É usado como base para outros métodos		
Vizinho-próximo	Simple implementação	Precisa medir a potência de retorno para ponderar pontos de referência	😊 😊
	Independe de um modelo de propagação particular		
Inferência Bayesiana	Adequado para modelos de propagação	Complexidade considerável	😊
Landmarks	Simple implementação	Imprecisão é função do número de etiquetas de referência	😊 😊 😊
	Independe de vários leitores		

em que: ☺ simboliza o grau de consistência na aplicação do método perante as disponibilidades no laboratório.

Tabela 3.2 Comparação entre os métodos para o caso em movimento.

Método	Vantagens (☺)	Desvantagens (☹)	Complexidade
Filtro de Kalman (FK)	Solução para o problema SLAM (linear!)	Linearização produz estimações inconsistentes (observando o caso não linear)	$O(M^2)$
FastSLAM	Pode trabalhar com número de landmarks em torno de 50,000 (250 partículas)	Complexidade (implementação) considerável	$O(N \log(M))$ bem menor que a do fastSLAM linear $O(N \times M)$
	Utiliza distribuição gaussiana 2D (x,y)		
EKF-SLAM	Solução para os modelos de sistemas não-lineares dinâmicos;	Para aquisição em 1,55s, ele pode não funcionar em tempo real	$O(M^2)$
	Funciona para M em torno em 100.	Um grande número de M ($M > 1000$) pode ser impossível de implementar o método	
		Complexidade computacional	
MCL	Representação multimodal	Pode falhar	-
	Fácil implementação Simples implementação	Deve limitar os erros	
FastSLAM 2.0	Funciona bem com $N=1$	Complexidade (implementação) considerável	$O(1 \times \log(M))$
	Convergência em tempo 10% menor com o FastSLAM convencional		
Markov	Mantêm a distribuição de probabilidade com todas as hipóteses	Trabalha com discretização de espaço de estados	-

Em que:

M – é o número de elementos no mapa;

N – é o número de partículas;

“-“ – corresponde a não encontrado.

4. Sistema utilizado

Como comentado anteriormente, capítulo 2, o sistema é composto por:

- Um Leitor;
- Conjunto de Etiquetas;
- Sistema para tratar a base de dados.

4.1 Módulo SkyeTek M9

Para o leitor, dispõe-se de um módulo SkyeTek M9¹ bem como um kit de desenvolvimento, figura 4.1, onde tem-se a possibilidade de associar a tecnologia RFID UHF no caso da aplicação em localização deste trabalho.

No módulo, foram estudadas as bibliotecas disponíveis do API (Application programming interfaces), na qual se puderam explorar as funções disponíveis, bem como os parâmetros e adicionar estes últimos ao algoritmo de localização.

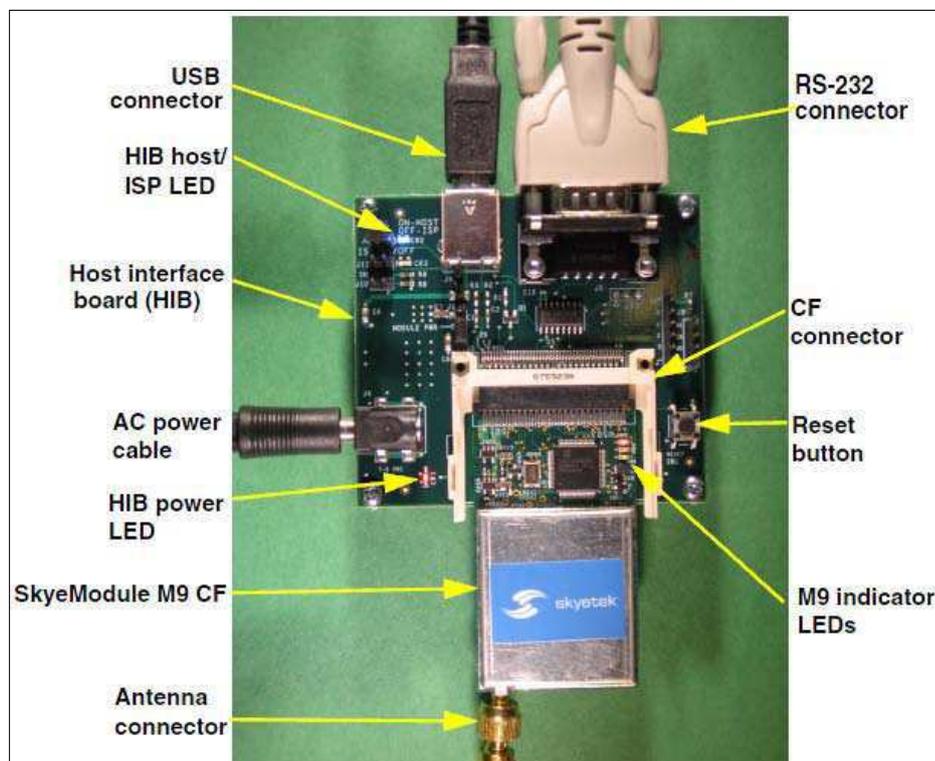


Figura 4.1: Módulo UHF SkyeTek e seus terminais de conexão.

¹ SkyeTek M9: Maiores informações em: http://www.skyetek.cn/Product/DataSheets/M9_EN_20061005.pdf

4.2 Algoritmo seguido

Dentre os métodos estudados, em casos separados, considerou-se como mais adequado para o caso estacionário, o método “Landmarks” ou uma associação entre “Landmarks-RSS”, e para o caso em movimento foi considerado o método “FastSLAM”.

Através do API do kit SkyeTek M9, foi possível obter a detecção de várias etiquetas ao mesmo tempo por meio do modo inventário, conhecido também por anticolisão. Logo, tendo os dados das detecções em cada tempo de detecção na execução do sistema, obtêm-se os Ids associados a cada posição de referência, e por fim, pode-se estimar a posição usando a equação (3.8). Em seguida, conhecendo-se a posição do leitor, caso estacionário, seja uma posição de referência, pode-se calcular os erros a partir da distância euclidiana.

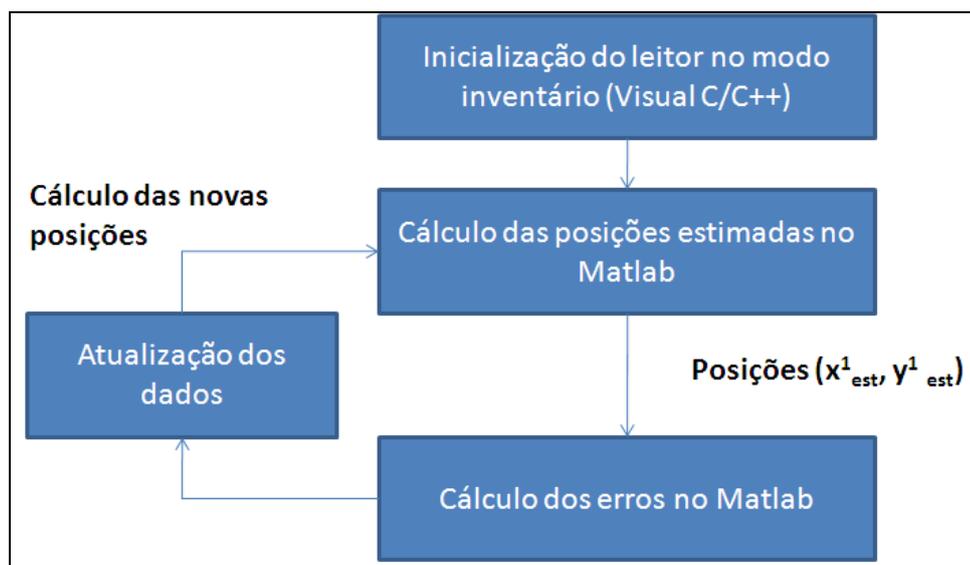


Figura 4.2: Fluxograma do algoritmo seguido.

Porém, devido a eventuais problemas, fora implementado somente o método considerando o caso estacionário, o outro método prosegue como uma continuação deste trabalho.

4.3 Distribuição das etiquetas

Com base no mapeamento, pode-se saber onde se encontra o leitor e também alguns objetos como, por exemplo, uma etiqueta anexada sobre um livro. O mapeamento consiste num sistema de distribuição de etiquetas de referência (landmarks) do tipo triangular regular equilátero visto que este tipo de distribuição produz erros menores de medição [15].

O mapa usado neste trabalho possui dimensões em torno de 1m x 2m, e consiste de uma distribuição de etiquetas triangular com distância entre as etiquetas constantes (d) em forma de triângulos equiláteros, figura 4.3. Com a distância (d) fixada em 20,0 cm foram necessárias 78 etiquetas para landmarks.

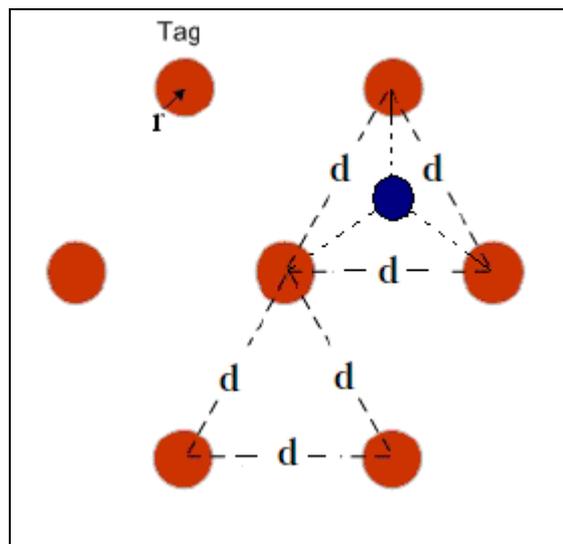
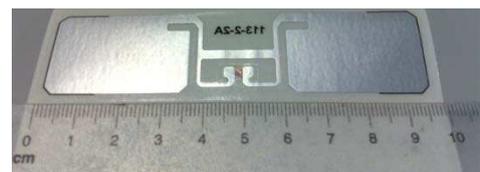


Figura 4.3: Distribuição triangular regular equilátera.

As etiquetas disponíveis são especificadas sobre a norma ISO 18000-6C, tipo EPC1G2. Eles são de tipo passivo de acordo com o sistema RFID, UHF passivo. Suas dimensões são de 9,5 cm x 0,79cm e 9,5 cm x 2,5 cm, conforme a figura 4.4.



(a) AD-222 (Avery Dennison)



(b) 113-2-2A (Avery Dennison)

Figura 4.4: Etiquetas usadas: (a) Para o mapeamento e (b) Para teste de potência ótima.

4.4 Antenas disponíveis

Em princípio, não se sabia qual era a antena com maior eficiência para aplicação em estudo, uma vez que ao nível de detecções têm-se algumas instabilidades, pensou-se então em fazer uma comparação entre dois tipos de antenas UHF, figura 4.5. As especificações das antenas encontram-se em anexo. Durante os teste trabalhou-se nas condições de maior eficiência no que diz respeito à frequência, ganho e VSWR.

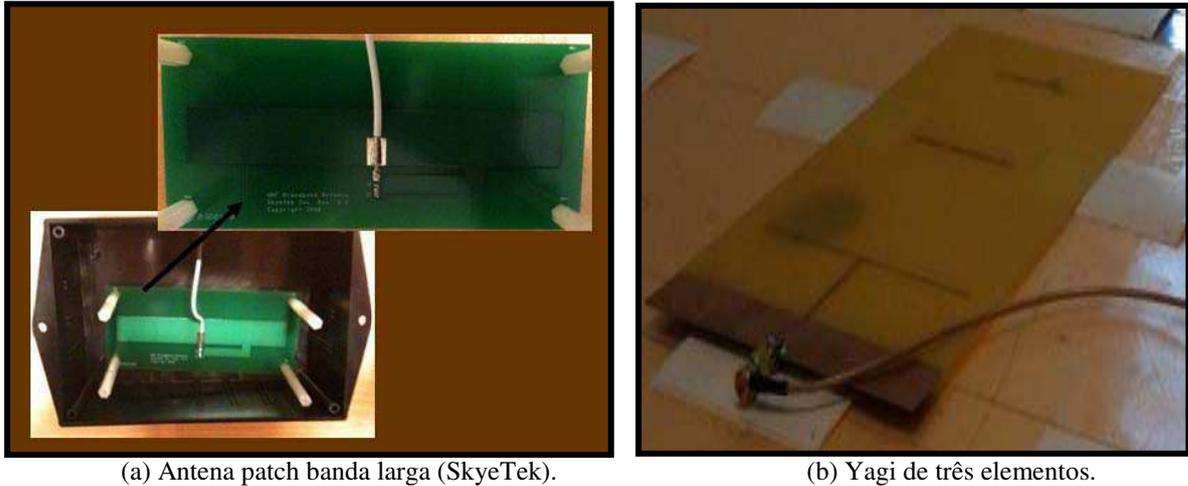


Figura 4.5: Antenas disponíveis: (a) Banda larga SkyeTek e (b) Yagi.

As antenas utilizadas foram:

- YAGI de três elementos;
- Patch banda larga do Kit SkyeTek;

Observam-se, assim, alguns parâmetros levados em consideração para análise dos resultados.

VSWR (Razão de Tensão de Onda Estacionária)

O parâmetro VSWR quantifica o fenômeno de interferência entre o sinal retornado e o sinal incidente. Ele consiste em comparar as amplitudes máximas e mínimas causadas pela interferência. A expressão geral em função do coeficiente de reflexão (ρ) é dada pela equação (5.1).

Assim, para VSWR próximo da unidade, conclui-se que menos perdas de reflexão e interferências serão introduzidas no sistema.

$$VSWR = \frac{1 + |\rho|}{1 - |\rho|} \quad (5.1)$$



Diretividade

A diretividade (D) corresponde à capacidade de poder concentrar a energia irradiada numa só direção.

$$D = 4\pi \frac{I_d}{I_{iso}} \quad (5.2)$$

em que:

I_d - É a intensidade de potência irradiada na direção em estudo;

I_{iso} - É a intensidade de potência irradiada total de uma antena isotrópica.

Ganho

O ganho (G) é a razão entre I_d e a intensidade de potência aceita por uma antena isotrópica sem perdas I_a .

$$G = 4\pi \frac{I_d}{I_a} \quad (5.3)$$

O ganho pode ser expresso também em função da diretividade e eficiência:

$$G = \eta \cdot D \quad (5.4)$$

5. Teste do sistema utilizado

5.1 Introdução

O objetivo desta etapa é de compreender a funcionalidade do leitor a partir das condições das etiquetas, ambiente, etc. Então para isto foram realizados testes de medidas com o leitor fixo, sem movimento executando o sistema em N iterações. Para isto, fixou-se a potência emitida do leitor em torno de 500mW, e com o modo inventário, foi possível conhecer o número de etiquetas detectadas em cada instante de detecção. Os parâmetros de configuração no leitor foram predefinidos conforme as especificações de cada antena. A distância entre a antena e a etiqueta fora em torno de 3,5cm.

5.2 Precisão

Para saber quão precisa fora a estimativa, foi necessário obter valores confiáveis. Assim considerar-se-á as detecções instáveis no sistema e buscar uma maneira de solucionar este problema. Em seguida, pode-se encontrar uma distribuição de probabilidade para os erros e com isto obter um conjunto de valores correspondentes aos erros de cada iteração sendo N o número de iterações.

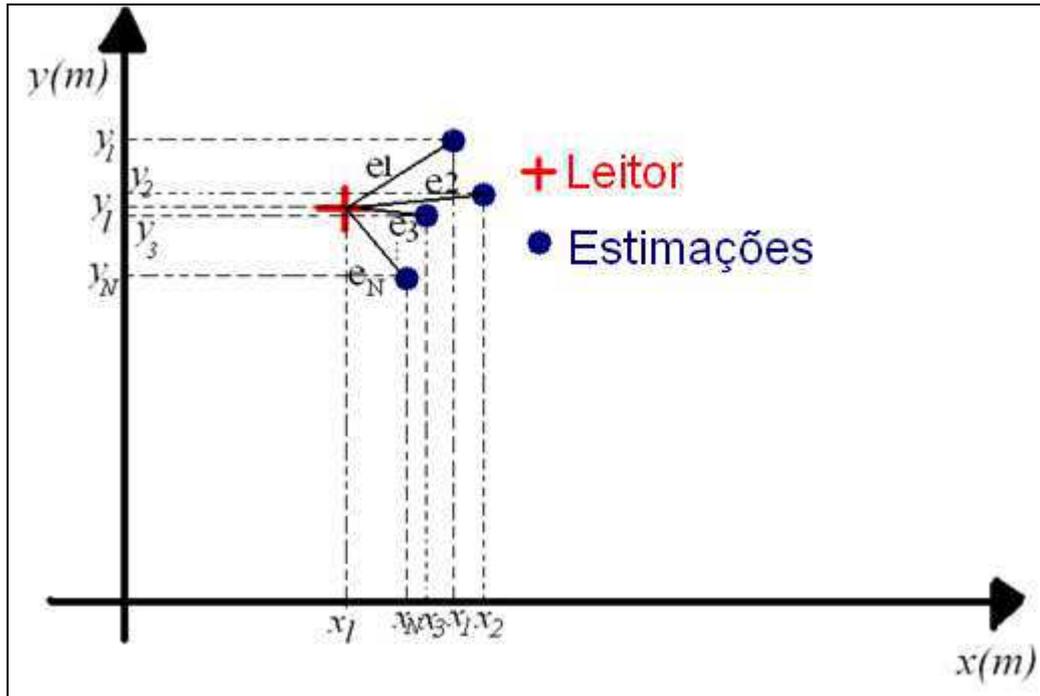


Figura 5.1: Efeito dos erros de estimativa.

Tem-se então a cada tempo de detecção, sendo (d) o número máximo de detecções:

$$\begin{array}{l} \Delta x_1 = |x_l - x_1|; \Delta y_1 = |y_l - y_1| \\ \vdots \\ \Delta x_d = |x_l - x_d|; \Delta y_d = |y_l - y_d| \end{array} \quad (5.5)$$

Portanto, ter-se-á erros a partir da distância euclidiana:

$$\begin{array}{l} e_1 = \sqrt{(\Delta x_1)^2 + (\Delta y_1)^2} \\ \vdots \\ e_d = \sqrt{(\Delta x_d)^2 + (\Delta y_d)^2} \end{array} \quad (5.6)$$

Logo, por fim pode-se usar o erro médio quadrático (EMQ) para estimar o erro sobre um número N de instantes de detecção.

$$\sigma = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N e_i^2 \quad (5.7)$$

Sendo possível ter uma função de distribuição normal (gaussiana) e representar os erros como uma variável gaussiana, pode-se utilizar a expressão seguinte, função de densidade de probabilidade:

$$n(x) = \frac{n}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (5.8)$$

5.3 Testes com antena do kit SkyeTek

Na primeira parte do estudo das antenas, optou-se pela antena do kit SkyeTek M9, ver em anexo, esta consiste de uma antena bem diretiva fabricada para operar na banda UHF, com uma eficiência maior em torno de 910 MHz (padrão americano). De fato, observando-se em anexo, tem-se que para uma frequência de 910 MHz:

$$VSWR = 1,1$$

$$G_{LB} = 6,5dB$$

Assim, de acordo com as especificações, ajustaram-se os parâmetros conforme o padrão americano. Na figura 5.2 tem-se uma esquematização de como o sistema foi montado para realização dos testes.

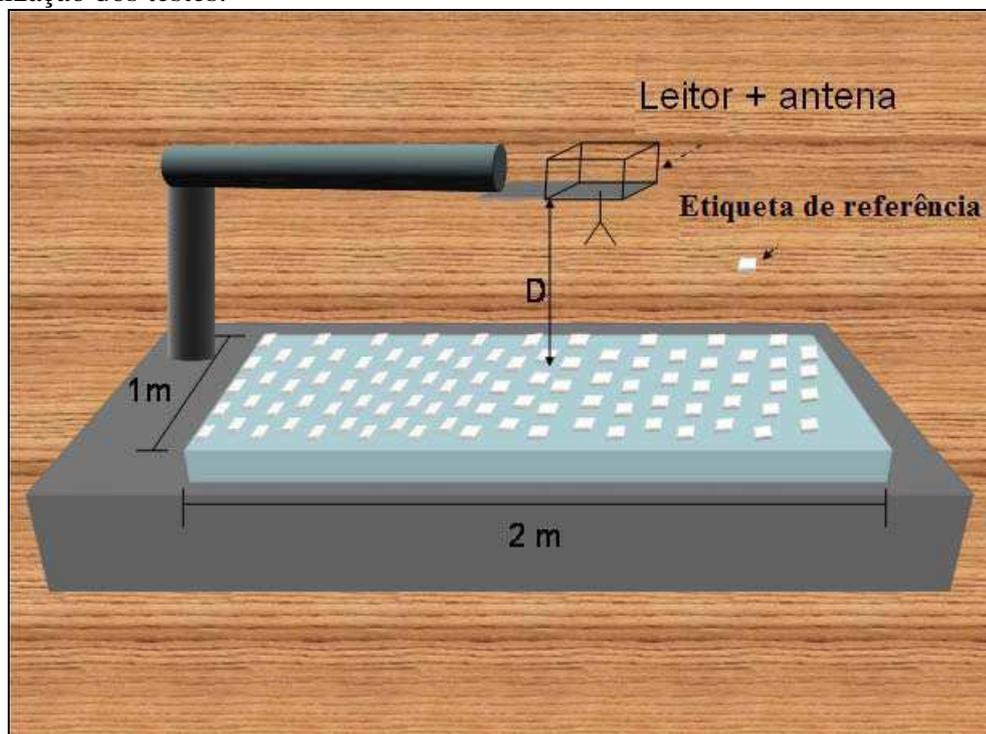


Figura 5.2: Sistema em teste com antena banda larga (diretiva) ou yagi.

5.3.1 Procedimento

- Ajustaram-se os parâmetros de acordo com a tabela 5.1;
- Inicializou-se o código no visual C/C++ (ver em anexo);
- Salvaram-se os dados;
- Em seguida, deu-se início ao algoritmo no Matlab (ver em anexo);
- Por fim obtiveram-se as posições estimadas e os erros.

Tabela 5.1 Parâmetros ajustados.

Potência emitida (dBm)	Número de iterações	Frequência (MHz)
27	100	910

5.3.2 Resultados

Com os parâmetros da tabela 5.1, pode-se obter uma posição estimada na figura 5.3. De fato, [15] mostrou que o erro máximo de estimação com uma distribuição triangular equilateral fora em torno de $0,559 \cdot (d_{\text{etiquetas}})$ e no caso em estudo as etiquetas são espaçadas em 20 cm. Logo, tem-se:

De acordo com [15]:

$$e_{\text{est_max}} = 11,18\text{cm}$$

A tabela 5.2, mostra o resultado encontrado para uma estimação final. De fato, a princípio não se sabe qual é a distribuição dos erros, assim não se pode calcular os erros mediante uma distribuição gaussiana, pois não se tem certeza se os dados seguem uma distribuição normal. O estudo da distribuição será discutido posteriormente.

O cálculo da posição estimada foi feito utilizando a expressão (3.8), assim a cada iteração obteve-se uma posição estimada, mas no final, isto é, quando o sistema foi desligado, levaram-se em consideração as estimações antigas e recalculou-se uma posição final estimada, sempre fazendo recorrência a equação (3.8). O erro foi determinado utilizando as expressões (5.5) e (5.6).

Tabela 5.2 Resultados obtidos com a antena banda larga.

Posição do leitor		Posição estimada		Erro (cm)		
$X_l(\text{cm})$	$Y_l(\text{cm})$	$X_{\text{est}}(\text{cm})$	$Y_{\text{est}}(\text{cm})$	máximo	mínimo	médio
70	37,5	71,96	40,95	18,03	3,97	6,49

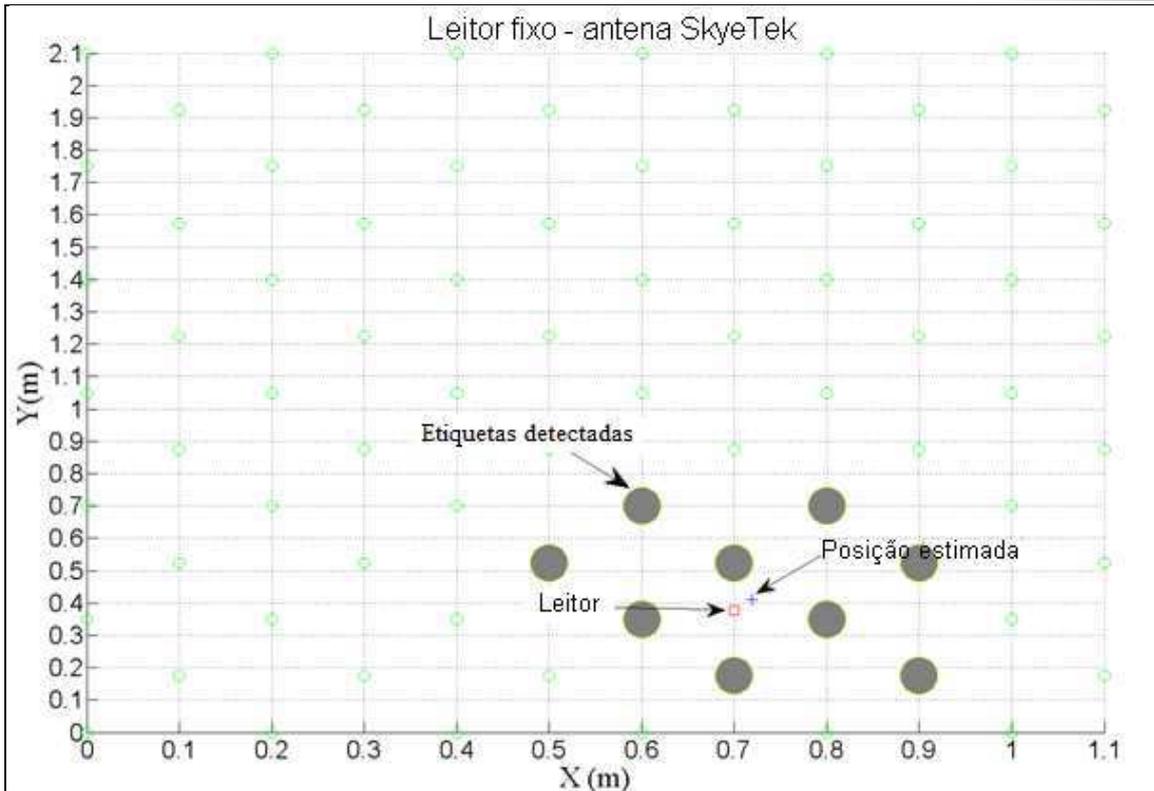


Figura 5.3: Posição estimada com antena banda larga (SkyeTek).

Observa-se o comportamento dos erros de acordo com cada detecção, bem como o número de detecções a cada instante de detecção, os resultados na figura 5.4 mostram os problemas relacionados às detecções instáveis no sistema RFID UHF em uso.

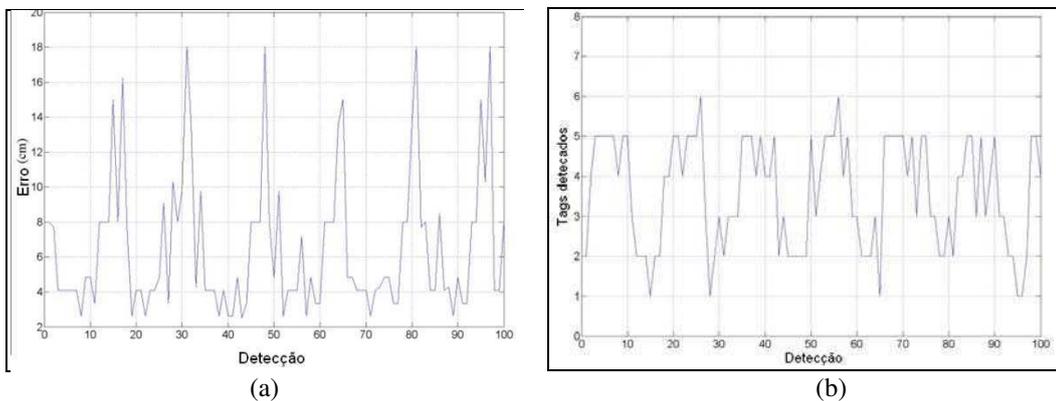


Figura 5.4: Resultados dos erros vs detecção (a) e número de etiquetas detectadas vs detecção (b).

5.4 Testes com antena Yagi

Buscando uma antena direcional, obteve-se a antena Yagi. Formalmente conhecida por antena Yagi-uda. Esta antena consiste numa antena direcional composta por elemento refletor, um dipolo e elemento diretor. Em geral, o ganho encontra-se em torno de 6-8 dBi. Da mesma forma como fora com a antena banda larga, têm-se as especificações da antena Yagi em anexo.

5.4.1 Procedimento

- Os parâmetros predefinidos foram ajustados de acordo com a tabela 5.3;
- Foram seguidas as mesmas etapas feitas com a antena banda larga (SkyeTek).

Tabela 5.3 Parâmetros ajustados.

Potência emitida (dBm)	Número de iterações	Frequência (MHz)
27	100	869

5.4.2 Resultados

Com os parâmetros utilizados na tabela 5.3, obteve-se a posição estimada conforme a figura 5.5. De forma análoga à antena banda larga, tem-se na tabela 5.4, o resultado obtido para uma estimação final com a antena Yagi.

Com a equação (3.8), em cada instante de detecção tem-se uma posição estimada e no final do teste têm-se todas as posições estimadas para calcular uma estimação final. De maneira semelhante como foi feito com a antena banda larga, os erros foram calculados a partir das expressões (5.5) e (5.6).

Tabela 5.4 Resultados obtidos com a antena Yagi.

Posição do leitor		Posição estimada		Erro (cm)		
$X_l(\text{cm})$	$Y_l(\text{cm})$	$X_{est}(\text{cm})$	$Y_{est}(\text{cm})$	máximo	mínimo	médio
71	46	69,85	39,01	11,05	5,26	7,19

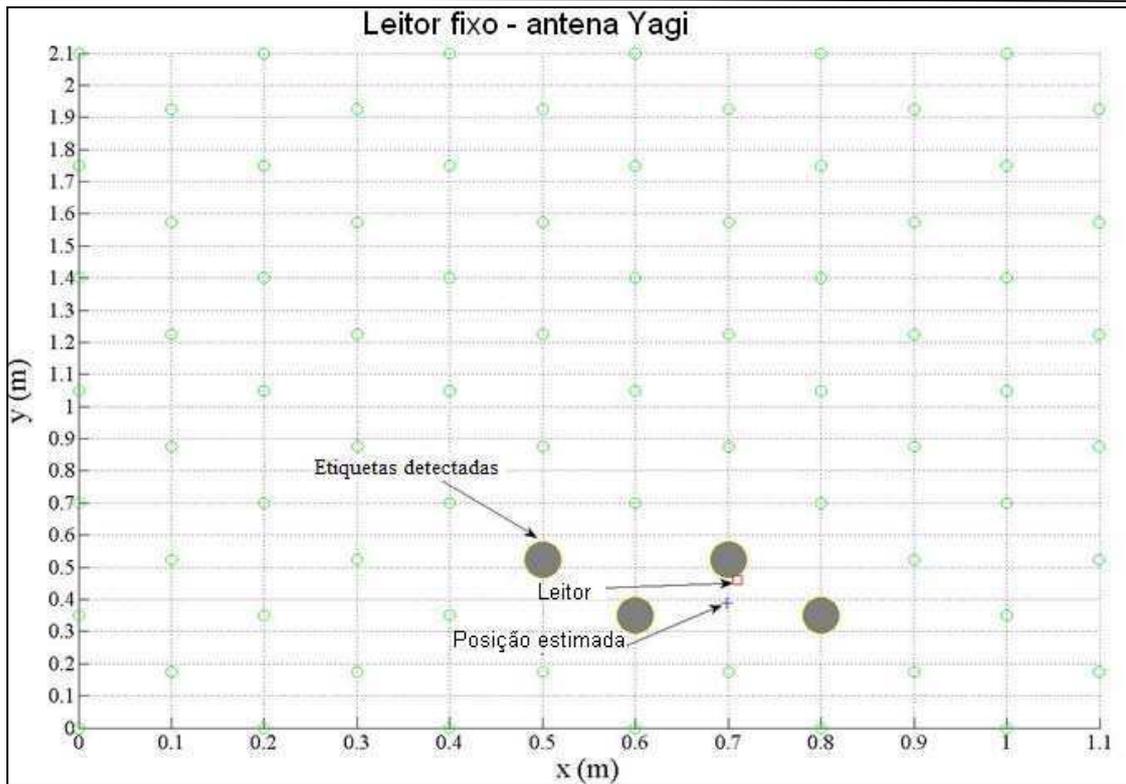
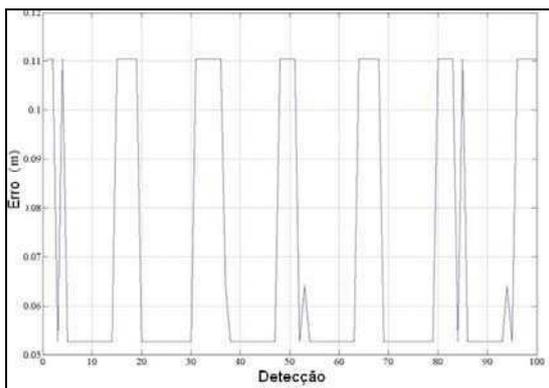
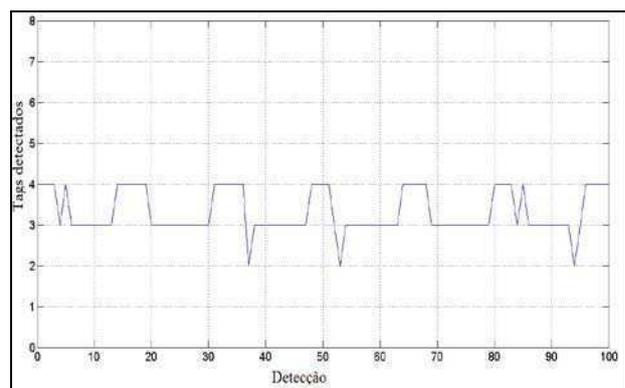


Figura 5.5: Posição estimada com antena Yagi.



(a)



(b)

Figura 5.6: Resultados dos erros vs detecção (a) e número de etiquetas detectadas vs detecção (b).

5.5 Comparação entre as duas antenas

5.5.1 Com relação à distância entre a antena e a maquete (D)

Para conhecer o comportamento das estimações com relação à distância entre a etiqueta e a antena utilizaram-se os parâmetros das tabelas 5.1 e 5.3, com diferentes distâncias assim observam-se os resultados na figura 5.7.

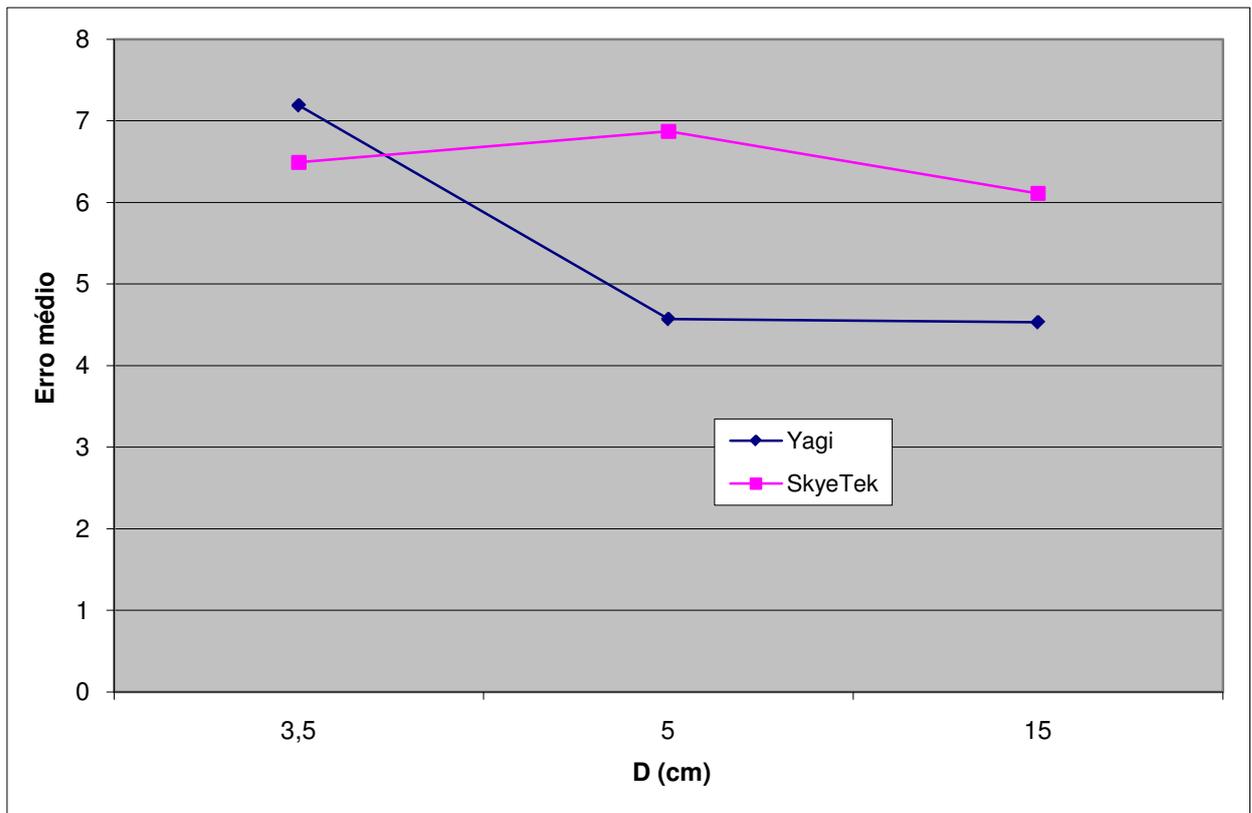


Figura 5.7: Resultado do erro médio vs a distância D.

Pode-se dizer que para uma potência de emissão em 27 dBm, a antena Yagi possui um funcionamento melhor ao se aumentar a distância entre a maquete e a antena, isto é, com D=15cm por exemplo, e de fato uma distância menor não é bem coerente para aplicação na banda UHF, uma vez que [16] mostra que a zona reativa de propagação, zona de fresnel, é satisfatória para aplicações na banda UHF.

5.5.2 Com relação à potência de emissão

No intuito de observar o comportamento do erro de acordo com a potência de emissão do leitor fixou-se a distância entre as etiquetas e a antena (D) em 15 cm e efetuaram-se medidas para diferentes níveis de potência, os limitantes de potência se encontram entre 10 e 27 dBm de acordo com as especificações do fabricante.

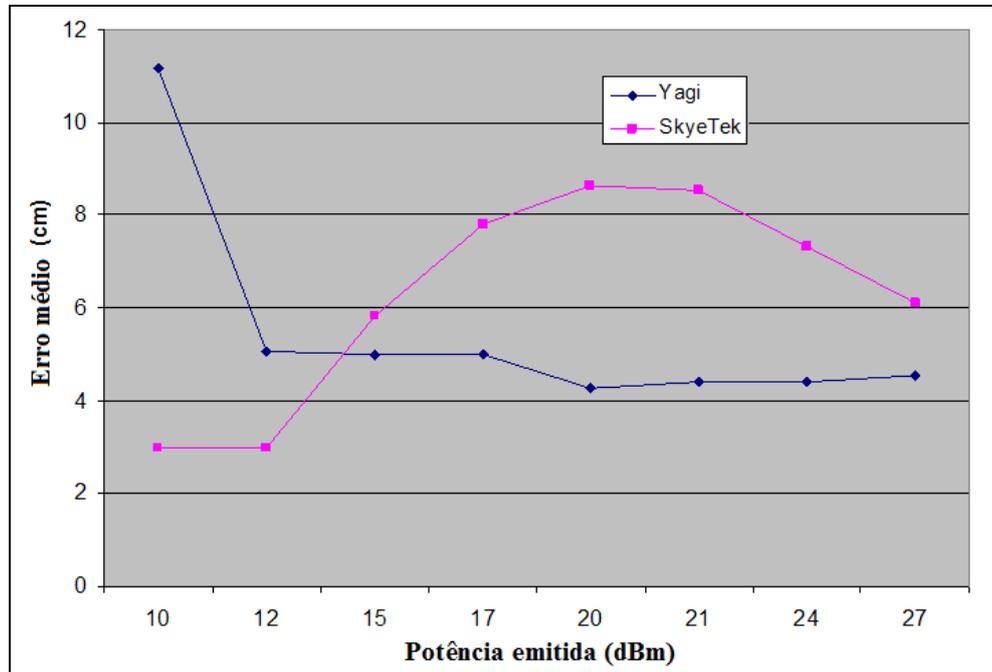


Figura 5.8: Resultado do erro médio vs potência emitida.

Assim observa-se que a antena Yagi mantém melhores resultados com relação à antena do kit SkyeTek.

5.6 Incerteza das medidas

Nesta etapa, observar-se-á o resultado obtido com um determinado número de iterações, elevado, isto implica que, manteve-se o sistema em funcionamento por um tempo elevado em relação às etapas precedentes.

5.6.1 Diferentes números de iterações

Inicialmente, usou-se a antena do fabricante, SkyeTek, e fixou-se os parâmetros de acordo com a tabela 5.5, o procedimento foi o mesmo descrito nas etapas anteriores. O resultado encontra-se num primeiro momento na figura 5.9, observa-se bem que a cada instante o número de iterações aumenta o erro médio o qual se aproxima de um valor constante.

Tabela 5.5 Parâmetros fixos.

Potência emitida (dBm)	D (cm)	Posição do leitor		Frequência (MHz)
		X _l (cm)	Y _l (cm)	
27	70	75,5	41,25	910

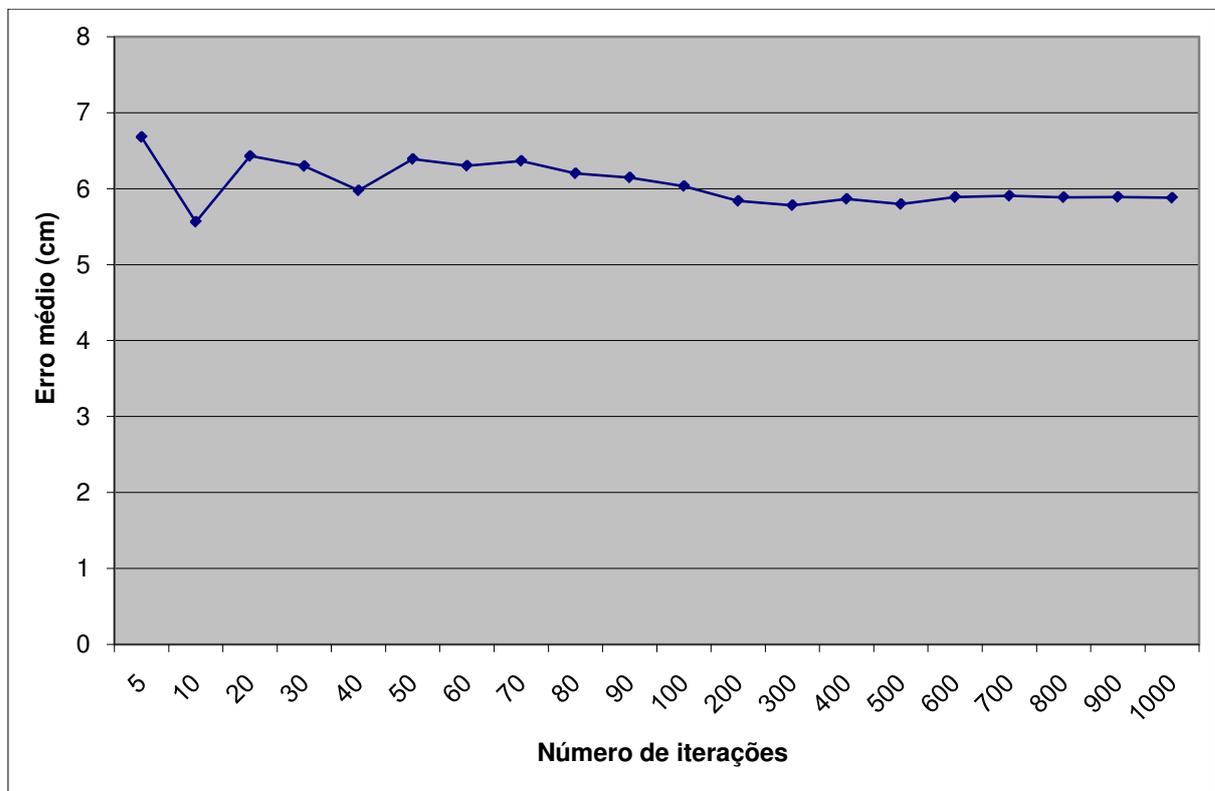


Figura 5.9: Resultado do erro médio vs número de iterações.

Em seguida, observam-se as estimações obtidas e os números de etiquetas detectados com mil iterações. De início, pode-se esperar que como o número de iterações aumenta, os erros serão acumulados e com um sistema de detecção bem instável, estes efeitos serão ainda mais relevantes. No entanto, pode-se obter uma determinada função de densidade de probabilidade. Assim, não se deve esquecer os efeitos de interferências no sistema. Como exemplo, certas interferências considerando a banda GSM 900 MHz, reflexões do solo, os materiais utilizados, etc. Pois estes efeitos podem modificar um pouco a distribuição.

A figura 5.10 mostra que se pode conhecer exatamente qual a distribuição correspondente às variáveis das posições estimadas em 2D (x, y) e o erro. É necessário levar em consideração o número de iterações, isto é, para conhecer a distribuição deve-se manter o sistema em funcionamento por mais horas, buscando um número consideravelmente grande, visto que o objetivo fora de encontrar alguma maneira de aperfeiçoar o algoritmo, considerar-se-á $N=1000$ como um valor satisfatório.

O resultado para a variável y é bem semelhante, de fato pode-se dizer que x_{est} e y_{est} são variáveis independentes, mas quando observa o erro tem-se uma afirmação diferente, porque, realmente, o erro depende das posições estimadas.

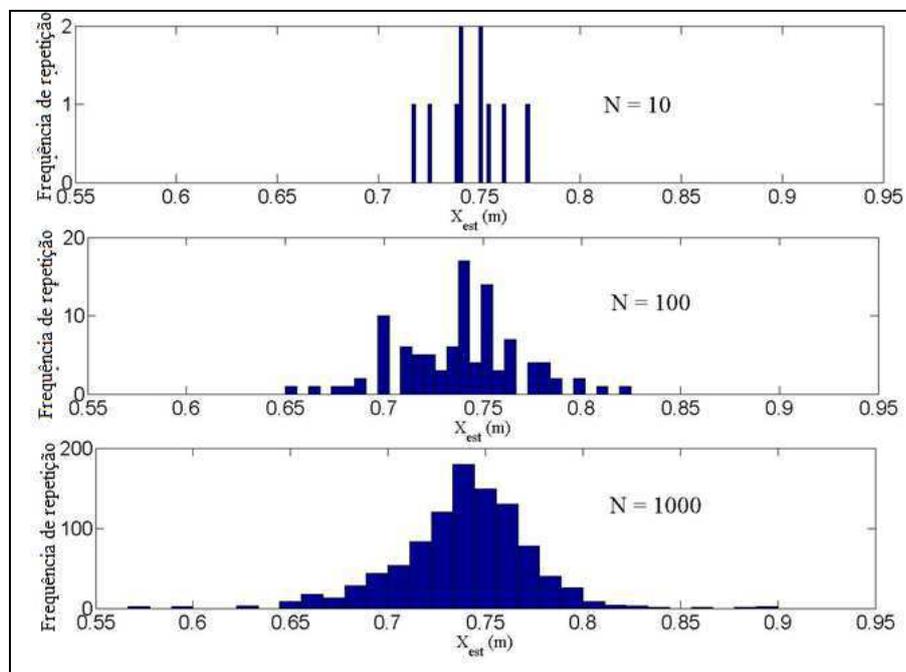


Figura 5.10: Histograma da posição X estimada para diferentes N.

5.6.2 Estudo da distribuição

Considerando-se as posições x_{est} e y_{est} como variáveis aleatórias independentes, espera-se, então, uma distribuição gaussiana destas posições, mas, sobretudo não se sabe se a distribuição segue a lei normal. Os efeitos de interferência, e do número de iterações elevados são duas justificativas para mudar o comportamento da lei.

De toda forma, pode-se tomar a definição como verdadeira para o caso em que $N \gg 1000$, espera-se assim que a distribuição tome forma semelhante a uma distribuição gaussiana, então, observando-se a figura 5.11, sabe-se que por definição: $R \sim \text{Rayleigh}(\sigma)$ se, e somente se:

$$R = \sqrt{X^2 + Y^2} \quad (5.9)$$

Em que:

$X \sim N(0, \sigma^2)$ e $Y \sim N(0, \sigma^2)$ são distribuições gaussianas normais;

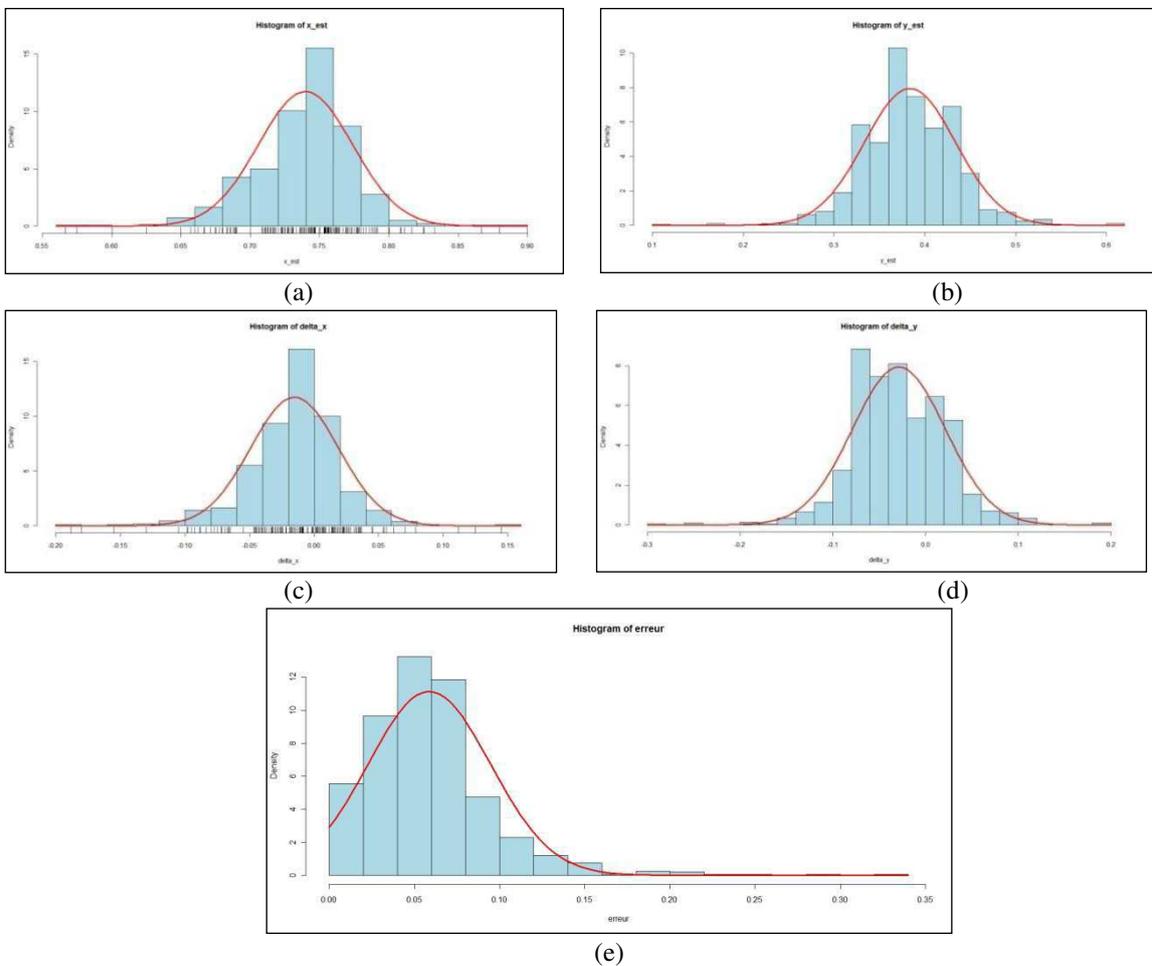


Figura 5.11: Histograma das variáveis no algoritmo de estimação: x_{est} (a), y_{est} (b), Δx (c), Δy (d) e erro (e).

Através das equações (5.5) e (5.6) tem-se a definição descrita anteriormente, pois as posições (x_{est}, y_{est}) seguem a lei normal, Δx et Δy terão uma distribuição normal também, assim o erro encontrado consiste em uma distribuição de Rayleigh.

Vale salientar que a afirmação não é muito exata, para se conhecer precisamente seriam necessárias várias medidas e observar os resultados em forma de histograma para N bem elevado. A distribuição pode seguir os casos de distribuições de Weibull, Rice, que são casos generalizados da distribuição de Rayleigh.

Na figura 5.12, observa-se a relação da probabilidade seguida, dos dados para as estimativas das posições x_{est} e y_{est} com a distribuição normal e os dados dos erros para uma distribuição de Rayleigh. A figura 5.13, mostra as distribuições juntos com seus respectivos parâmetros estimados.

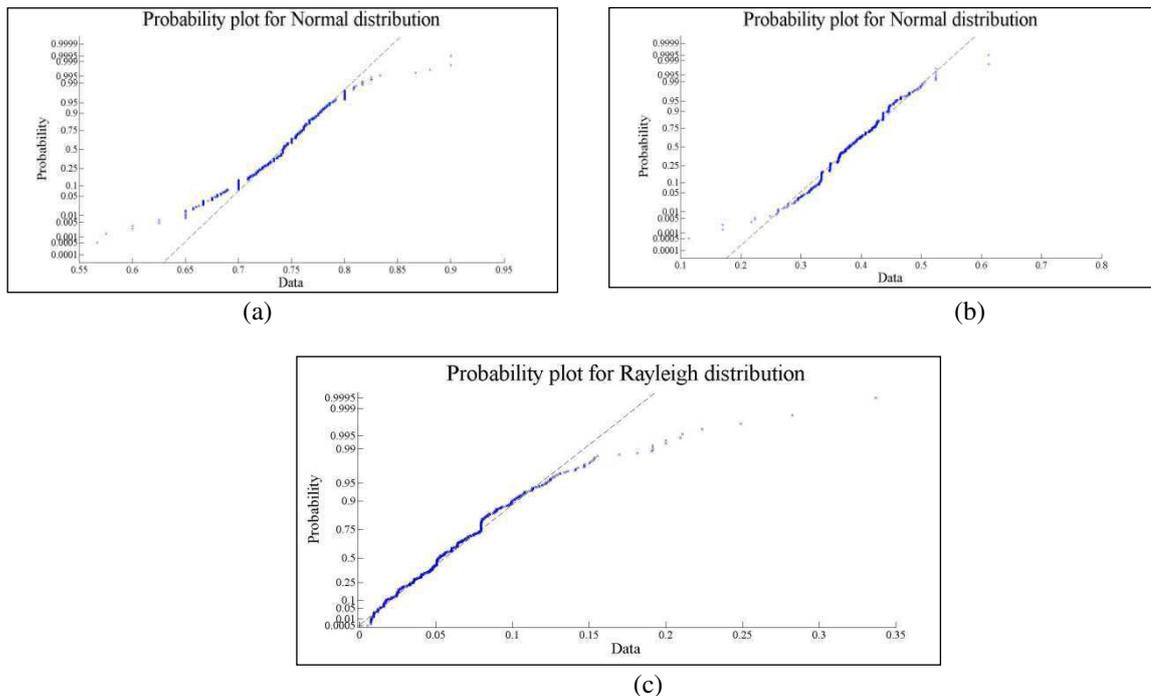


Figura 5.12: Probabilidade dos dados com a reta teórica (tracejada): x_{est} (a), y_{est} (b) e o erro (c).

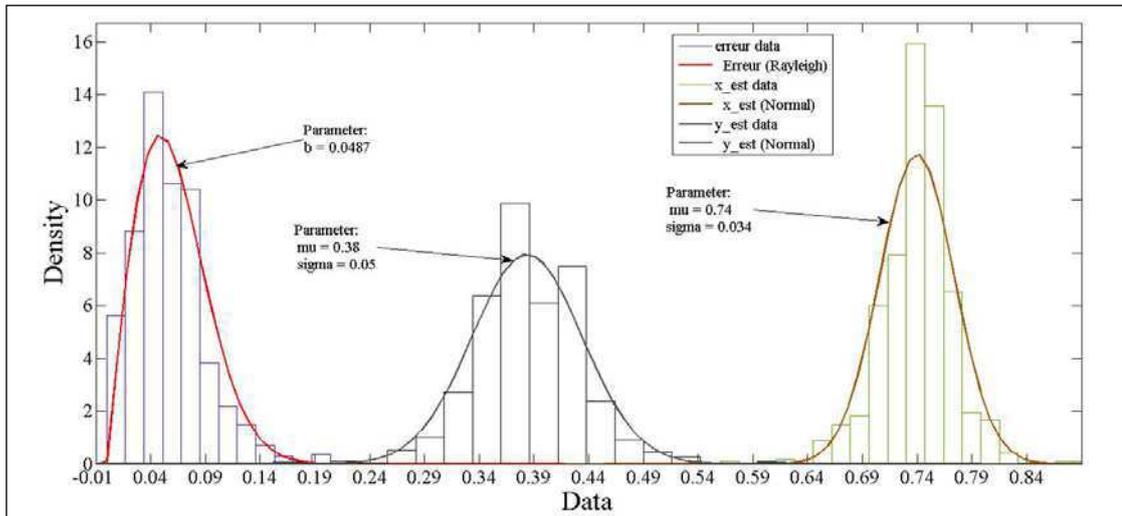


Figura 5.13: Funções de densidade de probabilidade estimadas.

Em seguida, pode-se observar as funções de distribuição cumulativa, figura 5.14, e os quantis, figura 5.15.

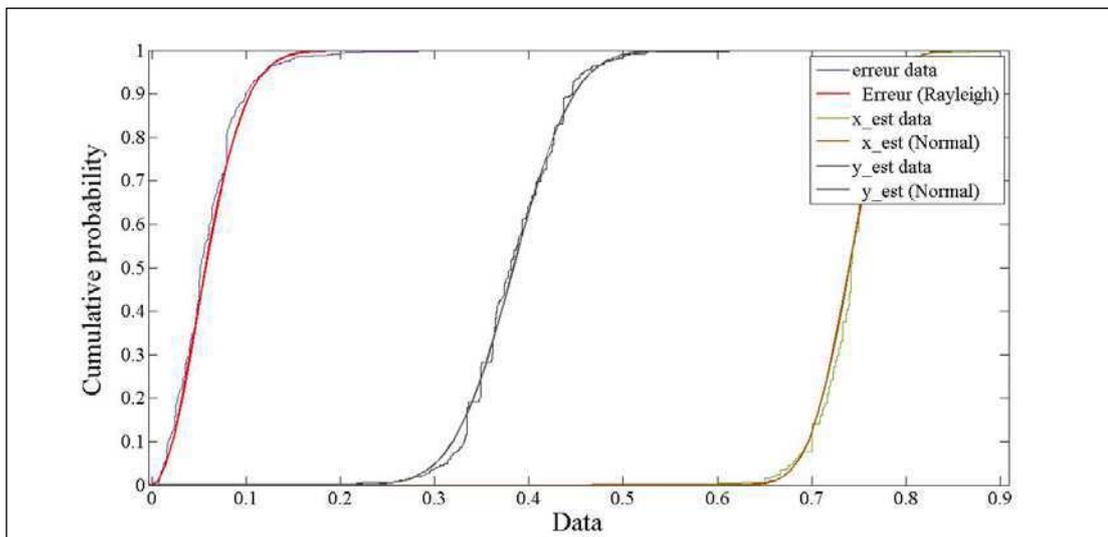


Figura 5.14: Funções de distribuição cumulativas para as estimativas.

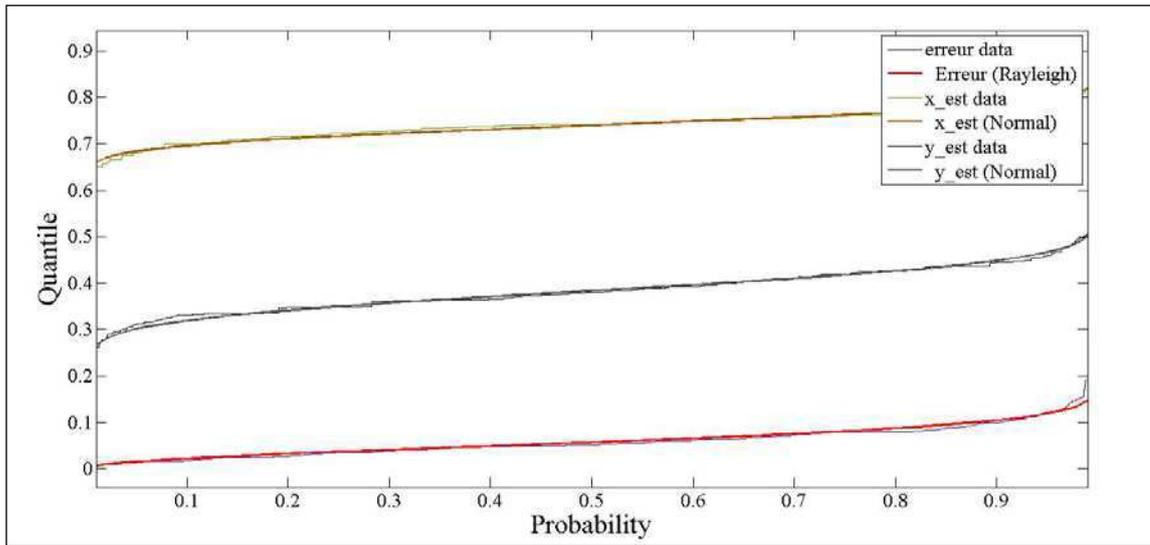


Figura 5.15: Quantis para as estimações.



6. Estudo de otimização da estimação

Com a proposta de obter algum parâmetro para adicionar no algoritmo e por consequência reduzir os erros de estimação. Será estudado um parâmetro que pode ajudar a tornar o sistema mais preciso.

6.1 Introdução

Com o intuito de otimizar a estimativa do algoritmo encontrou-se o parâmetro P_{op} “*OPTIMAL POWER C1G2*” o qual está disponível na função dentro o API do fabricante (SkyeTek) “*SKYETEK SYSTEM PARAMETER*”. Assim, para isso foram realizados alguns testes de medição com apenas um etiqueta, e com várias etiquetas, mas a análise foi feita apenas com uma etiqueta.

A fórmula de Friis¹ será utilizada como recorrência para observar como se dá a variação da distância com os parâmetros de potência (P_{op}) e estudar um modelo da potência mínima para ativar a etiqueta. Assim, através desta pode-se encontrar uma maneira de obter o sistema de localização mais preciso.

6.2 Medidas com apenas um etiqueta

Inicialmente utilizaram-se cartolinas, visto que a variação com a distância não é muito relevante [17], e no mais, pode-se evitar reflexões do solo e outros planos, especificamente na banda UHF. Um exemplo destas reflexões são sinais GSM presentes em telefones celulares e outros dispositivos móveis.

Assim, deu-se início ao teste colocando o leitor e a antena numa altura em torno de um metro, figura 6.1, em seguida ativou-se a conexão sem fio via Bluetooth então para frequência de 2,4GHz a qual não possui muita influência na banda UHF.

A antena utilizada foi a Yagi de três elementos, as suas especificações encontram-se em anexo. Fixou-se então a potência de emissão em dBm, e o número de iterações em 100. A etiqueta utilizada fora de referência AD-222, figura 4.4 (a).

De toda forma, no que diz respeito ao nível de medições perante as detecções focalizou-se no parâmetro “*OPTIMAL_POWER_C1G2*”, o qual consiste em informar qual é o melhor nível de potência emitida de acordo com alguns testes de detecções do fabricante. Em linhas gerais, ele impõe diferentes níveis de potência e o nível de potência que obtiver maior número de detecções durante o teste, terá potência associada a este nível como “potência ótima para ser emitida”

¹ Harald Trap Friis (Danemark, 27 de agosto de 1893 – Palo Alto, Estados Unidos, 28 de junho de 1976): *físico dinamarquês especialista em eletromagnetismo.*

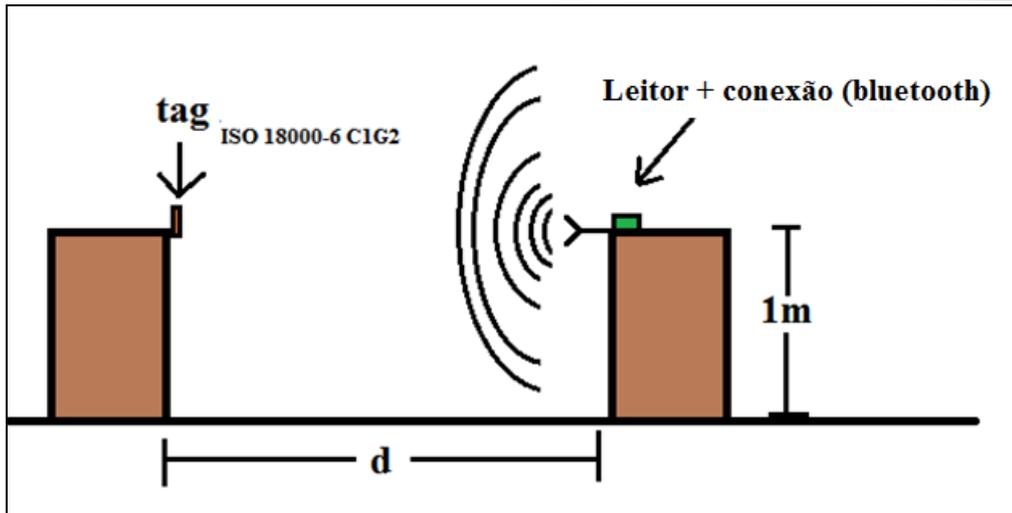


Figura 6.1 Esquema para o teste com apenas um etiqueta.

6.3 Resultados

Observou-se que o sistema detectou de forma insatisfatória com uma etiqueta, então levaram-se em conta várias medidas como fora feito nas etapas anteriores. Na figura 6.2 tem-se a eficiência de detecção.

Observando o parâmetro de potência ótima, tem-se na figura 6.3 o resultado sob forma de valor médio para cada distância. Porém, deve-se prestar atenção no fato de que a potência ótima varia também com a eficiência.

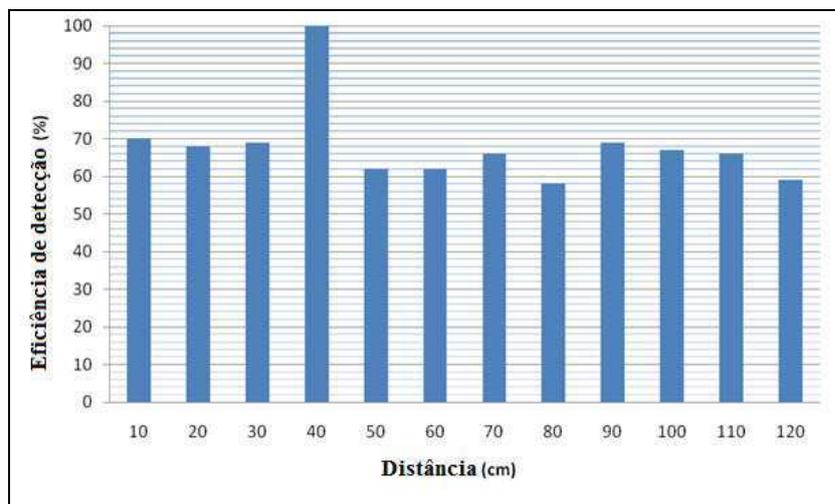


Figura 6.2 Eficiência das detecções.

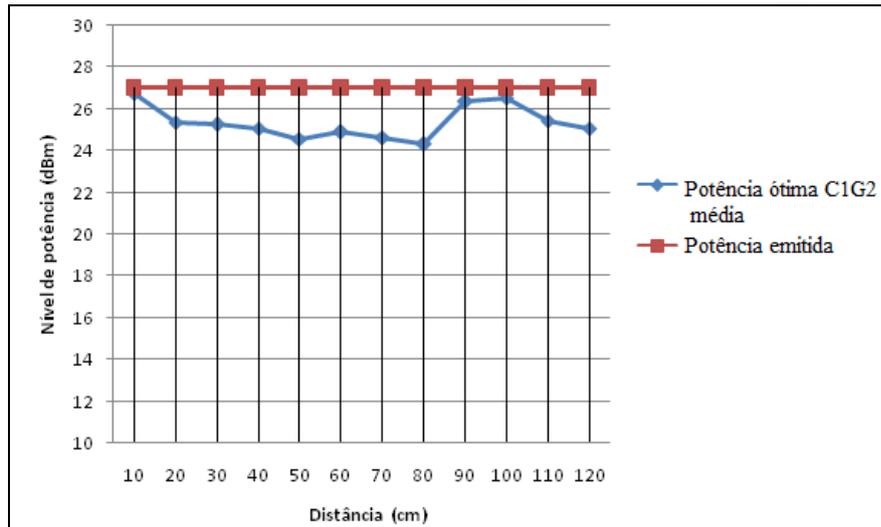


Figura 6.3 Valores do parâmetro de potência ótima.

6.3.1 Estimação da potência recebida

De acordo com [18], considerando as atenuações dos sinais numa via de transmissão com perdas, a fórmula de Friss é preferível. Então, a fórmula de Friss pode ser classificada de acordo com a potência de emissão (P_{leitor}), o ganho da antena Yagi (G_{yagi}), a distância de comunicação (d), comprimento de onda (λ), e o ganho da antena do etiqueta (G_{etiqueta}).

- **Potência de emissão (P_{leitor})**

Fixou-se a potência de emissão no nível máximo:

$$P_{\text{leitor}} = 27 \text{ dBm}$$

- **Ganho da antena Yagi - Uda (G_{yagi})**

Observando-se a diretividade obtida, em anexo, considerar-se-á uma eficiência (η) de 90%, então utilizando a equação (5.4), tem-se:

$$G_{\text{yagi}} = \eta \cdot D$$

$$G_{\text{yagi}} = (0,9) \cdot 12,44 \text{ dBi}$$

$$G_{\text{yagi}} = 11,2 \text{ dBi}$$

- **Distância de comunicação (d)**

Variou-se a distância entre o leitor e o etiqueta de 10 cm a 120 cm.

- Comprimento de onda (λ)

Seja o sistema na banda UHF, a uma frequência de 868 MHz, então tem-se:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (6.1)$$

$$\lambda = 34,56 \text{ cm}$$

- Ganho da antena da etiqueta (G_{etiqueta})

A etiqueta usada é do tipo ISO 18000-6C, C1G2, especificado em anexo, com referência AD-222. O ganho da antena não é especificado, mas [19] fez um trabalho para estudar os efeitos dos parâmetros do protocolo Gen2 sobre as performances das etiquetas RFID. Assim, encontrou-se o seguinte valor:

$$G_{\text{etiqueta}} = 1,5 \text{ dBi}$$

Assim tomam-se os valores obtidos, e faz-se recorrência a fórmula de Friss, para estimar a potência recebida. Fez-se esta recorrência para alguns níveis de potência emitida, assim os resultados podem ser analisados na figura 6.4.

$$P_{\text{recebida}} (\text{dBm}) = P_{\text{leitor}} (\text{dBm}) + G_{\text{yagi}} (\text{dBi}) + G_{\text{tag}} (\text{dBi}) + 10 \text{Log} \left[\left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \right] \quad (6.2)$$

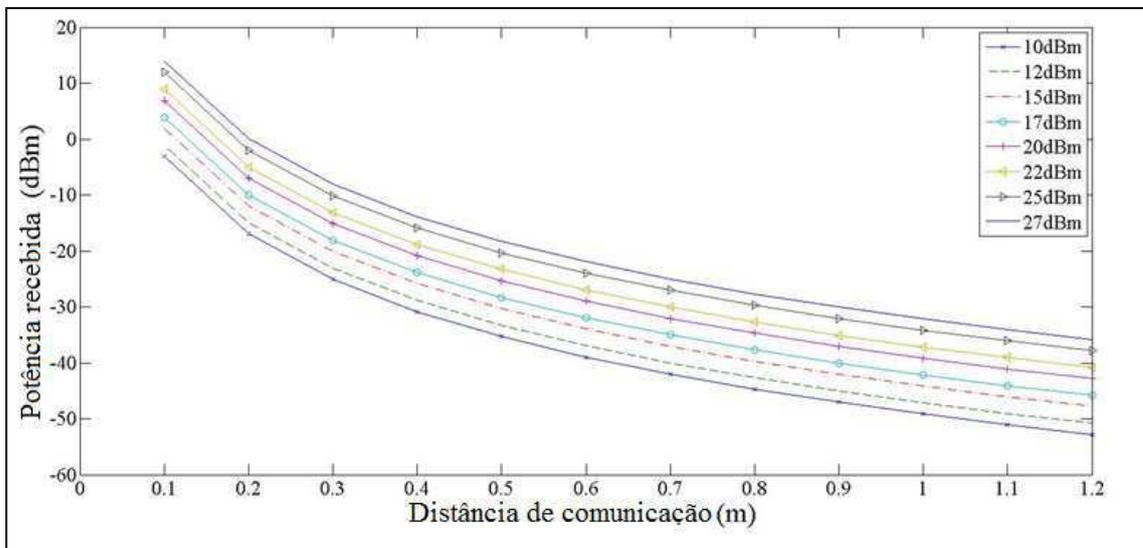


Figura 6.4 Diferentes níveis de potência emitida.



7. Conclusões e perspectivas

Mediante análise deste projeto observou-se certas instabilidades nas detecções do sistema utilizado, para as quais impossibilitaram o avanço do projeto, todavia consideraram-se os parâmetros e os efeitos que puderam influenciar numa explicação física para análise dos resultados obtidos e bem como tiveram influência na otimização do sistema de localização estudado.

Alguns resultados foram analisados e comparados com outros trabalhos tomados como referência, no mesmo ramo de pesquisa, ver o Capítulo 5, foi visto que a antena Yagi para um teste particular atingiu um erro máximo menor estimado por [15] num caso geral.

O algoritmo escolhido foi o mais simples em termos de implementação e análise visto que atendia ao objetivo global do projeto. Assim como sugestão de trabalhos futuros, seria interessante realizar o estudo e implementação do método FastSLAM em conjunto com o método de LandMarks. A associação destes dois métodos melhoraria o desempenho do sistema de localização tanto no cenário de objetos estacionários quanto de objetos em movimento.



Referências

- [1] Centre de recherche public Henri Tudor. « La technologie RFID ».
- [2] Landt, J., “The history of RFID”, IEEE Potentials, vol. 24, No 4, pp. 8 – 11, oct. – Nov. 2005.
- [3] A. GHIOTTO, « Conception d'antennes de tags RFID UHF, application a la réalisation par jet de matière », thèse de l'Institut polytechnique de Grenoble, Laboratoire de Conception et d'Integration des Systèmes, Le 26 novembre 2008.
- [4] Rong Peng and Mihail L. Sichittiu, “Angle of Arrival Localization for Wireless Sensor Networks”, in Proc. Of the Thrid Annual IEEE Communications Society Conference on Sensor and Ad Hoc Communications and Networks, (Reston, VA), Sep. 2006.
- [5] Anthony Ghiotto, Marcos Zurita, Smail Tedjini, « Objet communicant avec lien RFID », Décembre 2005.
- [6] Zhou, Junyi and Shi, Jing (2009), “Localization of stationary objets using passive RFID technology”, International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 22: 7, 717 – 726.
- [7] Lionel M. Ni, Yunhao Liu, Yiu Cho Lau et Abhishek P. Patil, “LANDMARC: Indoor Location Sensing Using Active RFID”, Proceedings of the first IEEE International Conference on pervasive computing and communications, pp 407-415, Avril 2003.
- [8] Jan Koch , Jens Wettach, Eduard Bloch , Karsten Berns, “Indoor Localisation of Humans, Objects, and mobile Robots with RFID Infrastructure”, Proceedings of the 7th International Conference on Hybrid Intelligent Systems, pages pp. 271-276, September 17-19, 2007, IEEE.
- [9] Sunhong Park, Shuji Hashimoto, “Indoor localization for autonomous mobile robot based on passive RFID”, Proceedings ot the 2008 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, February 2009.
- [10] Dieter Fox, Wolfram Burgard, Frank Dellaert et Sebastian Thrun, “Monte Carlo Localization: Efficient Position Estimation for Mobile Robots”, Proceedings of the Sixteenth National Conference on Artificial Intelligence, Orlando, Florida, 1999.
- [11] Dae-Sung Seo, Daeheui Won, Gwang-Woong Yang, Moo-Sung Choi, San-Ju Know, Joon Woo Park, “A Probabilistic Approach for Mobile Robot Localization Under RFID Etiqueta Infrastructures”, 2005 International Conference on Control, Automation, and Systems (ICCAS 2005), pages pp. 1917-1801, 2005.
- [12] Xiaotao Liu, Mark D. Corner and Prashant Shenoy, “Ferret: RFID Localization for Pervasive Multimedia”. In Ubicomp 2006, pages 442-440, 2006.
- [13] Michael Montemerlo and Sebastian Thrun, Daphne Koller and Ben Wegbreit,“

27/2/2011

Gregory Arthur de Almeida Carlos



FastSLAM: A Factored Solution to the Simultaneous Localization and Mapping Problem”, Eighteenth national conference on artificial intelligence, pages 593-598, 2002.

[14] Michael Montemerlo and Sebastian Thrum, Daphne Koller and Ben Wegbreit, “FastSLAM 2.0: An Improved Particle Filtering Algorithm for Simultaneous Localization and Mapping that Provably Converges”, Proceedings of the sixteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence IJCAI (2003), vol. 18, pages pp. 1151-1156, 2003.

[15] HyungSoo Lim, ByoungSuk Choi, JangMyung Lee. “An Efficient Localization Algorithm for Mobile Robots based on RFID System”, in SICE-ICASE International Joint Conference 2006.

[16] T. P. VUONG, A. GHIOTTO, E. PERRET, R. SIRAGUSA, A. POUZIN, S. TEDJINI. “Conception et miniaturisation des antennes pour les tags RFID UHF passifs”, in 19^{ème} Colloque Internationale Optique Hertzienne et Diélectrique, 2007.

[17] A. POUZIN, “Qualification des systèmes RFID en environnement opérationnel”, thèse de l'Institut polytechnique de Grenoble, Laboratoire de Conception et d'Intégration des Systèmes, Le 18 décembre 2009.

[18] YOUNG J joo Moon, Jae Hyun Bae, Bu-Won Jeon, Seon Mi Yeo, Hong-Goo Cho, Ha-Ryoung Oh, Yeong Rak Seong, Jun Seok Park, Myoung-Sub Joung, Yoon-Deock Lee. “Analysis of Interference Effects on UHF RFID Dense-Reader Environment”, in First International EURASIP Workshop on RFID technology, IEEE Austria Section, 2007, Vienna, Austria.

[19] PAVEL V. N., RAO, K. V. S. “Effect of Gen2 Protocol Parameters on RFID tag Performance”, in International Conference on RFID, IEEE, pages pp. 117- 122, 2009.



Anexo

Anexo I – Especificações das antenas utilizadas


skyetek
Skyetek, Inc.
11030 Circle Point Rd., ste. 300
Westminster, CO 80020
U.S.A.

RFID Broadband UHF Antenna

Specifications:

Product Code: SP-AN-04-UF-BB6LP

Electrical:

Gain	6.5 dBi
Input Frequency	860 – 960MHz
VSWR	< 2:1
Polarization	Linear
Input Impedance	50 Ohm (nominal)

Mechanical:

Dimensions	127mm x 201mm x 73mm
Weight	0.7 lbs

1

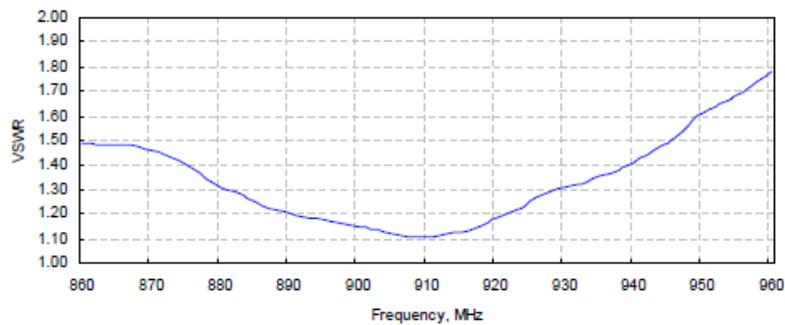
Copyright 2007 Skyetek, Inc. All Rights Reserved



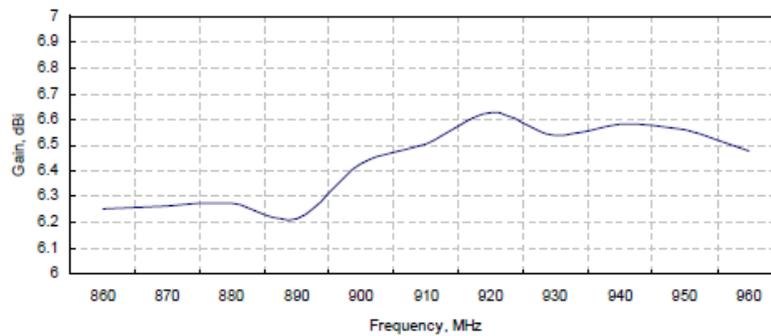
SkyeTek RFID Broadband Antenna

VSWR and Gain:

VSWR



Gain



More Information:

For additional information, please visit the SkyeTek website or contact SkyeTek:

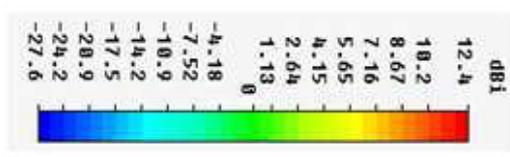
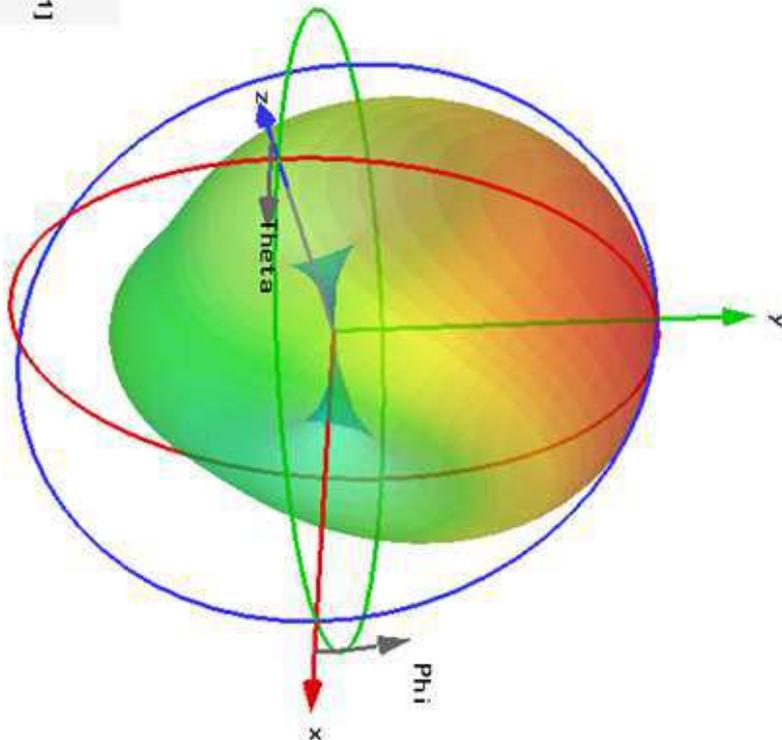
<http://www.skyetek.com>

Sales: sales@skyetek.com

Technical Support: techsupport@skyetek.com

Diagrama eletromagnético da antena Yagi (simulação no software CST)

Type	Far-field (Array)
Approximation	enabled (KR >> 1)
Monitor	far-field (f=0.869) [1]
Component	Abs
Output	Directivity
Frequency	0.869
Rad. efffic.	-0.3822 dB
Tot. efffic.	-0.4106 dB
Dir.	12.44 dBi





Anexo II – Especificações da etiqueta AD-222

RF Features		Dry Inlay Specifications		Part Number 600113	
Optimized frequency range	Global (860-960MHz)	Antenna dimensions (CD x MD)	3.741 in x .302 in [95.01 mm] x [7.68 mm]		
Mode of operation	Passive (battery free)	Standard pitch	0.625 in [15.88 mm]		
Protocol and Memory		Standard web width	4.75 in [120.65 mm] 3.875 in [98.43 mm]*		
Protocol	ISO/IEC 18000-6C EPCglobal C1G2	Inlay substrate material	Heat-treated PET		
EPC memory allocation	96 bit EPC Number	Thickness over chip (typical)	11 mils [279 microns]		
Inlay Roll Format/Finishing		Shelf life	2 years when stored at 72°F at 50%RH		
Un-wind direction		Quality assurance	100% read tested with out-of-tolerance inlay marked		
Core size with adaptor insert	3 in [76.2 mm] PN# 600115 6 in [152 mm] PN#600113/600114	Avg units per roll	20,000		
Maximum roll outer diameter (not to exceed)	13 in [330 mm]	Pressure-Sensitive Inlay Specifications		Part Number 600115	
Environmental Specifications		Die-cut dimensions (CD x MD)	3.885 in x .44 in [98.68 mm] x [11.18 mm]		
Operating temperature	-40°F to +149°F -40°C to +65°C	Standard pitch	0.625 in [15.88 mm]		
Recommended storage temperature and humidity	72°F [22.2°C] at 50%RH	Standard web width	4.125 in [104.78 mm]		
RoHS	EU Directive 2002/95/EC compliant	Inlay-to-liner adhesive	S490 (Fasson®)		
		Liner material	40# SCK (Fasson®)		
		Total thickness over chip (typical)	14 mils [356 microns]		
		Shelf life	1 year when stored at 72°F at 50% RH		
		Quality assurance	100% edit and replace		
		Avg units per roll	20,000		

Fonte: http://www.peacocks.com.au/PDF/Avery_AD222.pdf



Anexo III – Código C com API SkyeTek

```
/******\
GRENOBLE - INP
INSTITUTE DE MICROELECTRONIQUE ELECTROMAGNETISME ET PHOTONIQUE (IMEP)
LABORATOIRE D'HYPERFREQUENCES ET CARACTERISATION (LAHC)
/******\
CONCEPTION ET REALISATION D'UN SYSTEME DE LOCALISATION DES OBJETS DE DES
PERSONNES PAR LA TECHNOLOGIE RFID DANS LE MILIEU INDOOR

Stagiaire: Grégory Arthur DE ALMEIDA CARLOS
Maître: Tan Phu VUONG
Hien NGOC

REMARQUE:
Este código é baseado no exemplo do modo inventário e efetua a identificação de landmarks a partir do
módulo SkyeTek M9. Ele será utilizado para testar o algoritmo de localização (código no Matlab) utilizando uma
maquete de dimensão em torno de 2(m^2).

/******/

#include "stdafx.h"
#include "SkyeTekAPI.h"
#include "SkyeTekProtocol.h"
#include "stdlib.h"

// Globals
FILE *fp = NULL;
FILE *fptag = NULL;
FILE *fpid = NULL;

// Functions
void debug(TCHAR *msg);
void output1(TCHAR *sz, ...);
void output_tag(TCHAR *sz, ...);
SKYETEK_STATUS ReadtagData(LPSKYETEK_READER lpReader, LPSKYETEK_ETIQUETA lptag);

// main
int _tmain(int argc, TCHAR* argv[],TCHAR* id[128])
{
LPSKYETEK_DEVICE *devices = NULL;
LPSKYETEK_READER *readers = NULL;
LPSKYETEK_TAG *lptag = NULL;
LPSKYETEK_DATA lpData = NULL;
LPSKYETEK_READER lpReader = NULL;
LPSKYETEK_DEVICE lpDevice = NULL;
SKYETEK_STATUS st;
unsigned short count;
unsigned int numDevices;
unsigned int numReaders;
int loops = 101;
int totalReads = 0;
int failedReads = 0;
```

27/2/2011

Gregory Arthur de Almeida Carlos



```
int failedLoops = 0;
int ix=0;
unsigned int p = 0;
unsigned int f0 = 0;
unsigned int f1 = 0;
unsigned int f2 = 0;
unsigned int f3 = 0;

// Initialize debugging
fp = _tfopen(_T("debug.txt"),_T("w"));

if( fp == NULL )
{
    _tprintf(_T("ERROR: could not open debug.txt output1 file\n"));
    return 0;
}
output1(_T("SkyeTek API Inventory Example\n"));
SkyeTek_SetDebugger(debug);

// Check for loops
if( argc > 1 )
{
    loops = _ttoi(argv[1]);
    output1(_T("Using loop count from command line: %d\n"), loops);
}
if( loops < 1 )
{
    output1(_T("*** ERROR: Invalid loop count: %d\n"), loops);
    fclose(fp);
    return 0;
}

// Discover reader
output1(_T("Discovering reader...\n"));
numDevices = SkyeTek_DiscoverDevices(&devices);
//system("PAUSE");
if( numDevices == 0 )
{
    output1(_T("*** ERROR: No devices found.\n"));
    fclose(fp);
    return 0;
}
output1(_T("Discovered %d devices\n"), numDevices);
numReaders = SkyeTek_DiscoverReaders(devices, numDevices, &readers);
if( numReaders == 0 )
{
    SkyeTek_FreeDevices(devices,numDevices);
    output1(_T("*** ERROR: No readers found.\n"));
    fclose(fp);
    return 0;
}
//system("PAUSE");
output1(_T("Found reader: %s\n"), readers[0]->friendly);
output1(_T("On device: %s [%s]\n"), readers[0]->lpDevice->type, readers[0]->lpDevice->address);
```

27/2/2011

Gregory Arthur de Almeida Carlos



```
// Loop, discover etiquetas and read data
int maxCount = 0;
output1(_T("Looping %d times...\n"), loops);
for( int i = 0; i < loops; i++ )
{
    // Debug
    output1(_T("Loop %d\n"), i);

    // Discover all etiquetas
    lpTags = NULL;

    lpReader = *readers;
    lpData = SkyeTek_AllocateData(1);
    lpData->data[0] = 220;
    st = SkyeTek_SetSystemParameter(lpReader, SYS_POWER_LEVEL, lpData);
    SkyeTek_FreeData(lpData);
    lpData = NULL;

    count = 0;
    st = SkyeTek_Gettags(readers[0], AUTO_DETECT, &lpTags, &count);
    if( st == SKYETEK_TIMEOUT )
    {
        output1(_T("*** WARNING: SkyeTek_Gettags timed out: %s\n"), readers[0]->friendly);
        failedLoops++;
        continue;
    }
    else if( st != SKYETEK_SUCCESS )
    {
        output1(_T("*** ERROR: SkyeTek_Gettags failed: %s\n"), STPV3_LookupResponse(st));
        failedLoops++;
        continue;
    }

    // Loop through etiquetas and read each if it has data
    maxCount = max(count, maxCount);
    output1(_T("Discovered %d tags\n"), count);
    fclose(fp);

    for( unsigned short ix = 0; ix < count; ix++ )
    {
        fp = _tfopen(_T("debug.txt"), _T("a"));
        output1(_T("Discovered tag: %s [%s]\n"), lpEtiquetas[ix]->friendly,
        SkyeTek_GetEtiquetaTypeNameFromType(lpEtiquetas[ix]->type));
        fclose(fp);

        fpEtiquetas = _tfopen(_T("tag_ID.txt"), _T("a"));
        output1(_T("%s\t%d\n"), lpEtiquetas[ix]->friendly, ix);
        fclose(fpEtiquetas);

        lpData = NULL;
        lpReader = *readers;
    }
}
```

27/2/2011

Gregory Arthur de Almeida Carlos



```
st =
SkyeTek_GetSystemParameter(lpReader,SYS_OPTIMAL_POWER_C1G2,&lpData);
if( st != SKYETEK_SUCCESS )
{
    _tprintf(_T("error: could not get SYS_POWER_LEVEL: %s\n",
SkyeTek_GetStatusMessage(st));
    //system("PAUSE");
    goto failure;
}

// check value
if( lpData == NULL || lpData->size == 0 )
{
    _tprintf(_T("error: SYS_POWER_LEVEL is NULL or empty\n"));
    system("PAUSE");
    goto failure;
}

// print frequency value
p = .1*((lpData->data[0])+5;// << 8 | (lpData->data[1] ));// | (lpData-
>data[3]));

f0 = lpData->data[0] ;//(double)((double)p);
f1 = lpData->data[1] ;//(double)((double)p);
f2 = lpData->data[2] ;//(double)((double)p);
//f3 = lpData->data[3] ;//(double)((double)p);
//printf("current SYS_POWER_LEVEL is: %d (d) \n", i);
//system("PAUSE");
fpid = _tfopen(_T("IDs.txt"),_T("a"));

//output_etiquetas(_T("data[0]:%d\data[1]:%d\data[2]:%d\data[3]:%d\n"),f0,f1,f2,f3);
//output_etiquetas(_T("%s\t%d\n"), lpEtiquetas[ix]->friendly, p);
output_etiquetas(_T("%s\t%d\n"), lpEtiquetas[ix]->friendly,p);
fclose(fpid);

}
fp = _tfopen(_T("debug.txt"),_T("a"));
SkyeTek_FreeEtiquetas(readers[0],lpEtiquetas,count);

} // End loop

// Report result
double percent = 0.0;
percent = 100*((double)(loops-failedLoops))/((double)loops);
output1(_T("*** Loop success percenetiquetae: %.01f %%\n"), percent);

// Clean up readers
failure:
SkyeTek_FreeReaders(readers, numReaders);
SkyeTek_FreeDevices(devices, numDevices);
SkyeTek_FreeData(lpData); // do nothing if NULL

output1(_T("Done\n"));
fclose(fp);
return 0;
```

27/2/2011

Gregory Arthur de Almeida Carlos



```
}
```

```
SKYETEK_STATUS ReadEtiquetaData(LPSKYETEK_READER lpReader, LPSKYETEK_TAG lpTag)
{
    // Variables used
    SKYETEK_STATUS st;
    LPSKYETEK_DATA lpData = NULL;
    SKYETEK_ADDRESS addr;
    SKYETEK_MEMORY mem;
    unsigned char data[2048];
    bool didFail = false;
    unsigned char stat = 0;

    // Get memory info
    memset(&mem,0,sizeof(SKYETEK_MEMORY));
    st = SkyeTek_GetTagInfo(lpReader,lpTag,&mem);

    if( st != SKYETEK_SUCCESS )
    {
        output_tags(_T("*** ERROR: failed to get etiqueta info: %s\n"), STPV3_LookupResponse(st));
        return st;
    }

    // Initialize address based on tag type
    memset(&addr,0,sizeof(SKYETEK_ADDRESS));
    addr.start = 0x1007;//mem.startBlock;
    addr.blocks = 1;

    // Now we loop but lock and release each time so as not to starve the rest of the app
    unsigned char *ptr = data;

    // Read data
    st = SkyeTek_ReadTagData(lpReader,lpTag,&addr,0,0,&lpData);

    // Copy over data to buffer
    output_tags(_T("Page 0x%.2X -> (%s)\n"),
    addr.start,&lpData);
    SkyeTek_FreeData(lpData);

    // Return
    if( didFail )
        return SKYETEK_FAILURE;
    else
        return SKYETEK_SUCCESS;
}
```



```
void debug(TCHAR *msg)
{
    TCHAR *p = _tcsstr(msg,_T("\r"));
    if( p != NULL )
    {
        *p++ = _T('\n');
        *p = _T('\0');
    }
    _ftprintf(fp,msg);
}
```

```
void output1(TCHAR *sz, ...)
{
    va_list args;
    if( sz == NULL )
        return;
    TCHAR msg[2048];
    memset(msg,0,2048*sizeof(TCHAR));
    TCHAR str[2048];
    memset(str,0,2048*sizeof(TCHAR));
    TCHAR timestr[16];
    SYSTEMTIME st;

    GetLocalTime(&st);
    memset(timestr,0,16*sizeof(TCHAR));
    _stprintf(timestr, _T("%d %02d %02d.%03d"), st.wHour, st.wMinute, st.wSecond, st.wMilliseconds);

    va_start(args, sz);
    _vsntprintf(str, 2047, sz, args);
    va_end(args);

    _stprintf(msg,_T("%s %s"),timestr,str);
    _tprintf(msg);
    debug(msg);
}
```

```
void output_tags(TCHAR *sz, ...)
{
    va_list args;
    if( sz == NULL )
        return;
    TCHAR msg[2048];
    memset(msg,0,2048*sizeof(TCHAR));
    TCHAR str[2048];
    memset(str,0,2048*sizeof(TCHAR));
    TCHAR timestr[16];
    SYSTEMTIME st;
    va_start(args, sz);
    _vsntprintf(str, 2047, sz, args);
    va_end(args);
    _stprintf(msg,_T("%s"),str);
    _tprintf(msg);
    debug(msg);
}
```



}



Anexo IV – Algoritmo no Matlab

```
%-----  
%-----IDs des landmarks sur la carte-----  
%-----  
ID0=['3','0','0','8','3','3','B','2','D','D','D','9','0','4','8','0','3','5'  
' ','0','5','0','0','0','0'];  
.  
.  
.  
ID4E=['3','0','0','8','3','3','B','2','D','D','D','9','0','4','8','0','3',' '  
5','0','5','0','0','4','E'];  
%-----  
%-----  
%-----
```

```
n=1;  
while n<=dim(2)/24  
  
    k=0;  
    for k=1:24  
        ID(i,k)=A(1,j); %l'attribution des ID détectés sous une matrice  
        j=j+1;  
        %pause;  
    end  
    i=i+1;  
    n=n+1;  
end
```

Para conhecer quantas etiquetas são detectadas em cada instante de detecção

```
n=1; j=1; t=1; s=1; k=1; f=1;  
while n <= dim_count(1)  
  
    if n+1<= dim_count(1)  
        testa = contador (n+1,1);  
  
        if testa == 0  
            tags_d(f,1)=contador(n,1) + 1;  
            f=f+1;  
        end  
  
    else  
        tags_d(f,1)=contador(n,1) + 1;  
        f=f+1;  
    end  
    t=1;  
    n=n+1;  
end
```



```
%-----  
%-Pour générer les landmarks par la distribution triangulaire equilaterale-  
%-----  
v = 1;  
distribution(v);  
ref=ans;
```

```
while f <= 1001  
    for t=1: 1 :tags_d(f,1)  
        %-Là on a des tests les positions de référence aux etiquetas  
        défectés  
        end  
        x_est(f,1)=sum(x(j,1:tags_d(f,1)))/tags_d(f,1);  
        y_est(f,1)=sum(y(j,1:tags_d(f,1)))/tags_d(f,1);  
        j=j+1;  
        n=n+1;  
  
        if f<=1001  
            f=f+1;  
        end  
    end  
end
```

```
px_est=sum(x_est)  
py_est=sum(y_est)  
detec=(sum(tags_d))  
  
%position final estimée  
x_final_est=px_est/1001;  
y_final_est=py_est/1001;  
figure(1),scatter(x_final_est,y_final_est,100,'b'), grid on,hold on  
AXIS([0.6 .8 0 .5])  
  
%position du lecteur:  
px_lec=.755;  
py_lec=.4125;  
  
figure(1),scatter(px_lec,py_lec,100,'r'), grid on,hold on, %subplot(2,1,2)  
  
deltax=abs(px_lec - x_final_est);%/(px_lec);  
deltay=abs(py_lec - y_final_est);%/(py_lec);  
  
erreur = sqrt(deltax^2 + deltay^2)  
  
count=1;  
  
while count <= 1001  
    deltax_(count,1) = (x_est(count) - px_lec);
```

27/2/2011

Gregory Arthur de Almeida Carlos



```
deltay_(count,1) = (y_est(count) - py_lec);  
erreur_(count,1) = sqrt((deltax_(count,1))^2 + (deltay_(count,1))^2);  
  
deltax_rel(count,1) = (x_est(count) - px_lec)/px_lec;  
deltay_rel(count,1) = (y_est(count) - py_lec)/py_lec;  
erreur_rel(count,1) = sqrt((deltax_(count,1))^2 +  
(deltay_(count,1))^2);  
count = count + 1;  
end  
  
erreur_total = (1/1001)*sqrt(sum((erreur_(1:count-1,1)).^2))  
  
count=1;  
  
while count <= 1001  
    deltax_(count,1) = (x_est(count) - px_lec);  
    deltay_(count,1) = (y_est(count) - py_lec);  
    erreur_(count,1) = sqrt((deltax_(count,1))^2 + (deltay_(count,1))^2);  
    count = count + 1;  
end
```

