



MINISTÉRIO DA DEFESA
EXÉRCITO BRASILEIRO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA
(Real Academia de Artilharia Fortificação e Desenho - 1792)

CEZAR VINICIUS DE SOUZA
MATHEUS PENA AFONSO
RICARDO GOULART ROCHA

SISTEMA DE POSICIONAMENTO POR RFID

Rio de Janeiro

2014

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

CEZAR VINICIUS DE SOUZA
MATHEUS PENA AFONSO
RICARDO GOULART ROCHA

SISTEMA DE POSICIONAMENTO POR RFID

Monografia de Projeto Final de Curso apresentada ao Curso de
Graduação em Engenharia Elétrica do Instituto Militar de Engenharia
Orientador: Sandro Santos de Lima – Maj M Sc

Rio de Janeiro

2014

2

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA
Praça General Tibúrcio, 80 – Praia Vermelha
Rio de Janeiro - RJ CEP: 22290-270

Este exemplar é de propriedade do Instituto Militar de Engenharia, que poderá incluí-lo em base de dados, armazenar em computador, microfilmado ou adotar qualquer forma de arquivamento.

É permitida a menção, reprodução parcial ou integral e a transmissão entre bibliotecas deste trabalho, sem modificação de seu texto, em qualquer meio que esteja ou venha a ser fixado, para pesquisa acadêmica, comentários e citações, desde que sem finalidade comercial e que seja feita a referência bibliográfica completa.

Os conceitos expressos neste trabalho são de responsabilidade do autor e do orientador.

621.384197	Souza, Cezar Vinicius de
S729s	Sistema de Posicionamento por RFID / Cezar Vinicius de Souza, Matheus Pena Afonso, Ricardo Goulart Rocha; orientados por Sandro Santos de Lima - Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 2014.
	xp. : il.
	Monografias (Projeto Final de Curso) - Instituto Militar de Engenharia: Rio de Janeiro, 2014.
	1. Curso de Engenharia de Comunicações – monografias (PFC). 2. Radiofrequência (RFID). I. Afonso, Matheus Pena. II. Rocha, Ricardo Goulart III. Título IV. Instituto Militar de Engenharia

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

**CEZAR VINICIUS DE SOUZA
MATHEUS PENA AFONSO
RICARDO GOULART ROCHA**

SISTEMA DE POSICIONAMENTO POR RFID

Monografia de Projeto de Final de Curso apresentada ao Curso de
Graduação do Instituto Militar de Engenharia

Orientador: Sandro Santos de Lima – Maj M Sc

Aprovada em 16 de junho de 2014 pela seguinte Banca Examinadora:

Sandro Santos de Lima – Maj M Sc

Leandro Teixeira Dornelles – Cap M Sc

Thiago Henrique Sanches Bossa – 1° Ten M Sc

Rio de Janeiro

2014

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES	7
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	8
RESUMO.....	9
ABSTRACT	10
1 INTRODUÇÃO	11
1.1 OBJETIVO.....	12
1.2 ORGANIZAÇÃO DO TEXTO	12
2 IDENTIFICAÇÃO POR RADIOFREQUÊNCIA (RFID)	13
2.1 FUNCIONAMENTO DA TECNOLOGIA.....	13
2.2 COMPONENTES.....	14
2.2.1 TIPOS DE TAGS.....	14
2.2.2 READERS.....	15
2.2.3 ANTENAS	15
2.2.4 MIDDLEWARE.....	16
2.3 ORGANIZAÇÕES DE PADRONIZAÇÃO PARA RFID	16
2.4 EPC E ESTRUTURA DE CLASSES.....	17
3 PRINCÍPOS DE POSICIONAMENTO UTILIZADOS EM AMBIENTES <i>indoor</i> ...20	
3.1 ESTIMATIVA DA DISTÂNCIA	20
3.1.1 INTENSIDADE DO SINAL RECEBIDO.....	21
4 TÉCNICAS DE LOCALIZAÇÃO DE TAGS RFID	24
4.1 TRILATERAÇÃO COM ESTIMATIVA DA DISTÂNCIA.....	24
5 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS	27
5.1 TAG ATIVA.....	27
5.2 READER.....	28
6 RESULTADOS.....	30

7	CONCLUSÃO	36
	APÊNDICE A – Códigos e funções utilizadas no trabalho	37
8	BIBLIOGRAFIA	45

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Sistema RFID (GLOVER e BHATT, 2006).....	13
Figura 2 - Classes EPCGlobal e a relação entre as tecnologias fundamentais de RFID.....	17
Figura 3 - Formato do EPC	18
Figura 4 - Gráfico de conversão da RSSI (Volts x dBm)(ANANIAH, 2014)	21
Figura 5 - Trilateração com estimativa da distância	22
Figura 6 - Posicionamento por Trilateração de uma <i>tag</i> por três receptores (<i>Antenna</i>) com medição RSSI e estimação de distância (KO, 2010).....	25
Figura 7 - Mapeamento 2D do Lab Maq Ele	25
Figura 8 - RF40315T (ANANIAH, 2014).....	27
Figura 9 - RF9315R (ANANIAH, 2014)	28
Figura 10 - Potência média recebida da Tag a 1.5 metros em um cômodo vazio.....	30
Figura 11 - Potência média recebida da Tag a 3 metros em um cômodo vazio.....	30
Figura 12 - Histórico das distâncias encontradas no primeiro teste	31
Figura 13 - Histograma das distâncias encontradas (15cm margem de tolerância)..	32
Figura 14 - Histórico das distâncias encontradas no segundo teste	32
Figura 15 - Histograma das distâncias encontradas (15cm margem de tolerância)..	33
Figura 16 - Histórico das distâncias encontradas no terceiro teste	33
Figura 17 - Histograma das distâncias encontradas (15cm margem de tolerância)..	34

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

2D	Duas Dimensões
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
dB	Decibel
DNS	Domain Name Service (Serviço de domínio de nomes)
DOMPSA	Batalhão de Dobragem, Manutenção de paraquedas e Suprimento pelo Ar
EPC	Electronic Product Code (Código Eletrônico de Produto)
Gen	Generation (Geração)
HF	High Frequency (Alta Frequência)
ID	Identification (Identificação)
IFF	Identify Friend or Foe (Identificação Amigo ou Inimigo)
IME	Instituto Militar de Engenharia
ISSO	International Organization for Standardization (Organização Internacional de padronização)
Lab Maq Ele	Laboratório de Máquinas Elétricas
MMQ	Método dos Mínimos Quadrados
NOS	Object Naming Service (Serviço nomeador de objeto)
RF	Radiofrequência
RFID	Radio Frequency Identification (Identificação por radiofrequência)
RMS	Root mean square (raiz quadrada da média)
RSSI	Received Signal Strength Indication (Intensidade do Sinal Recebido)
UHF	Ultra High Frequency (Ultra Alta Frequência)

RESUMO

Identificação por Rádio Frequência (RFID) é uma forma de identificação que possibilita não somente caracterizar um determinado objeto com suas informações próprias, como caracterizar com informações espaciais. Desta forma, através de algoritmos e teoria de dimensionamento de sistemas rádio, essa tecnologia proporciona formas de localização de qualquer artigo, previamente etiquetado, em sua zona de atuação. Esta identificação espacial tem se tornado cada dia mais importante no que tange a logística, o que traz como consequência um aumento de investimentos nesta tecnologia. Estes investimentos têm se tornado um gasto constante nas mais diversas áreas empresariais; do distribuidor, necessitando de um controle contínuo de suas mercadorias em seu depósito, ao tribunal que precisa de um enorme controle de seus documentos sigilosos. No presente trabalho, encontram-se os algoritmos escolhidos para a determinação do posicionamento, que foram escolhidos de acordo com o equipamento RFID que nos foi fornecido. Após uma breve explanação sobre a tecnologia, e a técnica de posicionamento adotada, serão apresentados os resultados obtidos e a conclusão do projeto.

Palavras-chave: RFID, Localização, Posicionamento.

ABSTRACT

Radio Frequency Identification (RFID) is a form of identification that not only allows to characterize a given object with its own information, such as characterize spatial information. Thus, through algorithms and theory of dimensioning of radio systems, this technology provides ways for the location of any item previously tagged in their area of influence. This spatial localization has become increasingly more important with respect to logistics, which consequently has increased investment on this technology. These investments have become a constant spending in several business areas; from distributor, requiring a continuous control of its merchandise in your deposit, until the court, which need a huge control your sensitive documents. In this project, will encounter the algorithms chosen to determine the positioning, which were chosen according to the RFID device that has been provided. After a brief explanation of the technology, and positioning technique adopted, will be presented the results and conclusion of the project.

Keywords: RFID, Tracking, positioning techniques.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, o posicionamento de pessoas e objetos é um tema de pesquisa de grande interesse tanto em nível acadêmico como industrial. Várias aplicações hoje em dia necessitam ou fazem uso da informação de localização de pessoas ou objetos tais como segurança, automóvel, navegação área ou marítima, controle de *stocks* de mercadorias, controle estatístico de preferência dos clientes, ativação de eventos através da proximidade de pessoas, entre outros (BRÁS, 2009).

Os sistemas de localização referem-se a um conjunto de equipamentos, técnicas, algoritmos e aplicações que permitem estimar o posicionamento de pessoas ou objetos em um determinado ambiente.

Nos últimos anos, o desenvolvimento de dispositivos móveis e redes sem fios de curto alcance levaram a um desenvolvimento de sistemas de localização *indoor* baseados em sinais de radiofrequência (BRÁS, 2009).

A identificação por radiofrequência (RFID) é uma tecnologia sem fio que permite a identificação remota de objetos e que, por conceito, utiliza ondas eletromagnéticas para envio destas informações. O sistema RFID é composto pela etiqueta RFID (*tag*), pelo leitor RFID (*readers*) e um meio de comunicação entre o *readers* e o sistema para armazenamento dos dados chamado de *Middleware* (SWEENEY, 2005).

A tecnologia RFID é resultado da pesquisa e desenvolvimento da identificação amigo ou inimigo (IFF) utilizada na Segunda Guerra Mundial pela aviação inglesa e sua invenção é atribuída ao físico escocês Sir Robert Alexander Watson-Watt.

Nos dias atuais, com a evolução da eletrônica e barateamento dos *microchips*, esta tecnologia está presente em grandes cadeias comerciais para controle de estoque e rastreamento de mercadorias como WALLMART e FEDEX (GLOVER e BHATT, 2006). Na área militar o RFID é utilizado no controle de estoque pelo Departamento de Defesa dos EUA (SWEENEY, 2005), e no EB, na identificação e manutenção de paraquedas pelo Batalhão de Dobragem, Manutenção de paraquedas e Suprimento pelo Ar (DOMPSA) (SANTOS, 2006). Também é empregado na identificação remota de contêineres, controle de pedágio e estacionamentos (GLOVER E BHATT, 2006).

1.1 OBJETIVO

Este trabalho tem por objetivo a utilização da tecnologia RFID na aquisição de dados de posicionamento empregando *tags* em objetos fixos no Laboratório de Máquinas Elétricas (Lab Maq Ele) do Instituto Militar de Engenharia (IME).

1.2 ORGANIZAÇÃO DO TEXTO

Esta monografia encontra-se estruturada em 7 capítulos. Neste capítulo é realizada a introdução e o objetivo deste trabalho. No capítulo 2 é abordado o funcionamento da tecnologia RFID, seus componentes, as organizações que regulam seu funcionamento e o código eletrônico de produto (EPC) que torna única a identificação (ID) de cada *tag*.

No capítulo 3 é realizado um estudo dos princípios de posicionamento utilizados em ambientes fechados (*indoor*), abordando as características da estimativa de distância e descrevendo a técnica de intensidade de sinal recebido (RSSI).

O capítulo 4 trata de técnicas de localização de *tags* RFID, especificando a método de trilateração com estimativa da distância e a técnica SPOTON que utiliza a intensidade do sinal recebido.

No capítulo 5 encontra-se uma descrição técnica dos equipamentos utilizados neste trabalho. Enquanto que o capítulo 6 aborda os resultados obtidos da modelagem do canal feita para relacionar a RSSI do receptor RFID e a distância até o transmissor. Por fim, no capítulo 7 apresenta-se a conclusão deste trabalho.

2 IDENTIFICAÇÃO POR RADIOFREQUÊNCIA (RFID)

2.1 FUNCIONAMENTO DA TECNOLOGIA

O sistema de identificação por radiofrequência (RFID) permite recuperar, à distância, sem fio (*wireless*), informações armazenadas em um pequeno objeto preso ou incorporado a bens, produtos ou seres vivos. O objeto identificador é capaz de reconhecer e responder a um sinal recebido do sistema de identificação (GUTIERREZ et al, 2005). Dessa forma, a função básica de um sistema RFID é recuperar automaticamente as informações que tenham sido previamente inseridas em circuitos integrados específicos (LOZANO-NIETO, 2011).

Os dois componentes mais conhecidos de um sistema de RFID são as etiquetas (*tags*), que é o dispositivo de identificação anexado ao item que deseja acompanhar, e o leitor (*reader*), que é um dispositivo que pode reconhecer a presença de *tags* RFID e ler as informações armazenadas. O *reader* pode então informar a outro sistema sobre a presença dos itens etiquetados. O sistema com o qual o *reader* se comunica normalmente executa um *software* que fica entre os *readers* e as aplicações. Este *software* é chamado *middleware* RFID (GLOVER e BHATT, 2006).

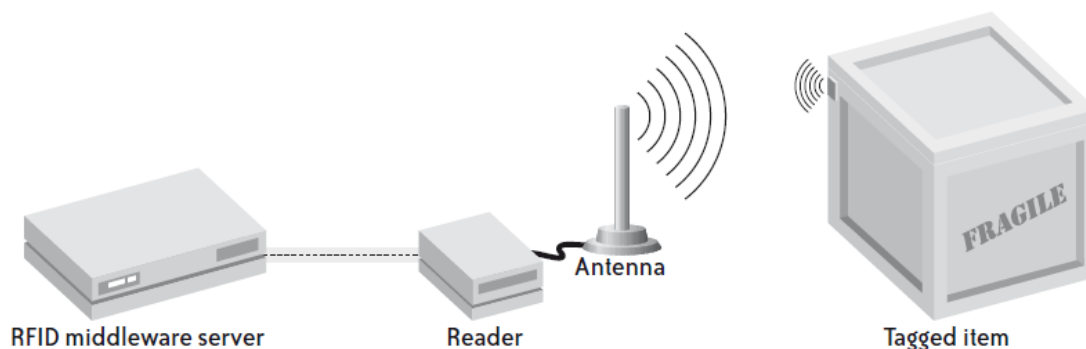


Figura 1- Sistema RFID (GLOVER e BHATT, 2006)

A Figura 1 (GLOVER e BHATT, 2006) apresenta o funcionamento do sistema RFID. Uma onda modulada (portadora) transmitida pelo *reader* é recebida pela *tag* que responde com as informações armazenadas em seu microchip. Este sinal de resposta é recebido pelo *reader* e processado pelo *middleware* de modo a

obter as informações desejadas. O espaço livre, que é o canal de comunicação, é compartilhado por outros dispositivos, portanto há necessidade de protocolos que regulem esta comunicação.

2.2 COMPONENTES

2.2.1 TIPOS DE TAGS

A *tag* é constituída por um chip, uma fonte geradora de energia, a antena e um invólucro protetor. Pode ser classificada de acordo com a frequência de operação, a fonte de energia utilizada e o método de comunicação com o *reader*. Pode armazenar desde um *bit* até uma grande quantidade de dados, sendo o preço diretamente proporcional à complexidade destes circuitos. Algumas *tags* tem um uso ainda mais específico, pois podem ser dotadas de sensores térmicos, barométricos, de movimento, de batimento cardíaco, frequencímetros, sensores de presença, etc. (PARET, 2009).

A fonte de energia é uma forma comum de classificar as *tags* que podem ser passivas, semi-passivas ou ativas. As *tags* passivas obtém toda a sua energia através de algum método de transmissão do *reader* (GLOVER e BHATT, 2006), dessa forma a quantidade de dados armazenada e o alcance de utilização limitam seu emprego. As *tags* ativas, que têm fonte de energia própria, podem desempenhar as mais variadas funções (BOLIC, 2010), limitadas apenas pela necessidade do usuário. Elas possuem bateria, processador, memória e podem conter sensores. Para Glover e Bhatt (2006) *tags* que usam a energia da bateria para algumas funções, mas ainda permitem que o *reader* forneça energia para comunicação são conhecidas como semi-passivas. Enquanto que um tipo adicional de *tag* não só é capaz de fornecer energia para si, mas também é capaz de iniciar comunicações com outras *tags* de sua própria espécie, sem intervenção de um *reader*. Estas *tags* são chamadas de *tags* de duas-vias.

As *tags* também podem ser classificadas quanto à existência de circuitos integrados. As *chip tags* possuem CI's que fornecem certa capacidade computacional e não somente armazenam dados. Já as *chiplless tags* não utilizam

qualquer tecnologia de CI, elas refletem parte da portadora e este sinal de resposta é utilizado pra identificá-la.

A determinação do tipo de *tag* a ser utilizada em um projeto envolve fatores como custo, capacidade de armazenamento e alcance de utilização. Nesse trabalho são utilizadas *tags* ativas que transmitem um sinal cuja potência recebida pelo *reader* é suficientemente alta pra estabelecer uma relação entre a mesma e a distância entre o transmissor e o receptor.

2.2.2 READERS

Os *readers* têm duas funções básicas: gerar e transmitir sinal de radiofrequência utilizado para energizar as *tags* e para decodificar o sinal refletido pelas mesmas. Além disso, alguns *readers* também podem transmitir comandos específicos para as *tags*. O *reader* também lida com a comunicação bidirecional com um computador hospedeiro utilizado para processar a informação a partir das *tags* e para enviar comandos para o *reader* (LOZANO-NIETO, 2011).

Os *readers* geram sinais de radiofrequência que alimentam a antena e são por ela emitidos em diversas direções, desde alguns centímetros até alguns metros, dependendo da saída e da frequência utilizada. A resposta do *tag* captada pela antena é transferida ao *reader*, que filtra os dados de identificação do objeto e os envia a um computador, por fio ou remotamente por rádio.

2.2.3 ANTENAS

As antenas são equipamentos que transmitem e recebem sinais de radiofrequência para escrever ou acessar dados nas *tags*. Podem variar de tamanho conforme as especificações de aplicação. Estes equipamentos não trabalham de forma independente, dessa forma são acopladas aos *readers* e estes manipulam as ondas transmitidas e recebidas pela antena.

2.2.4 MIDDLEWARE

Camada de *software* responsável pelo controle de funções diretamente ligadas ao RFID como o gerenciamento da rede de captura de dados e do fluxo de informações gerado. É função *middleware*, também, o envio dessas informações ao sistema de gestão do processo, seja ele de produção, estoque, logística ou outro (GUTIERREZ et al, 2005).

2.3 ORGANIZAÇÕES DE PADRONIZAÇÃO PARA RFID

A tecnologia RFID é regulada por duas organizações que visam manter a autenticidade, disponibilidade e integridade desses sistemas. A EPCGlobal, que regula a numeração dos ID's das *tags* a nível mundial através do EPC, enquanto que a ISO determina padrões técnicos como protocolos anti-colisão, faixa de frequência a ser utilizada e tipo de codificação.

A EPCGlobal criou uma arquitetura para controlar mundialmente os ID's de todas *tags* fabricadas tornando-os únicos. A partir de 2006 foram realizados ajustes de modo que as padronizações estabelecidas pela ISO e pela EPCGlobal passassem a ser compatíveis. Foi submetido o padrão Classe 1 Gen2 da EPCGlobal para inclusão na ISO 18000, que se tornou compatível com o padrão ISO 18000 tipo 6.

Na figura 2 mostra-se o padrão ISO 18000, que é dividido em 7 faixas de frequências, e as classes EPCGlobal correspondentes. Podemos ver também a padronização e utilização do protocolo anti-colisão e da codificação a ser utilizada.

EPCGlobal	Frequência		ISO 18000	Protocolo Anti-colisão:			
Classe 1	-		1				
Classe 2	135 kHz (LF)		2				
Classe 3	13,56 MHz (HF)		3				
Classe 3	2,45 GHz (UHF)		4				
Classe 4	5,8 GHz (SHF)		5				
Classe 1 Gen2	860 - 930 MHz (UHF)		6				
	Tipo:	EPCGlobal	6	Controlador	Multiplex	Algoritmo	Codificação
	A	-	6	Tag	TDMA	Aloha	PIE
	B	-	6	Leitor	TDMA	B. Free	Manchester
	C	Gen 2	6	Leitor	TDMA	Random Slotted Collision Arbitration	PIE
	433,92 MHz (UHF)		7				

Figura 2 – Classes EPCGlobal e a relação entre as tecnologias fundamentais de RFID

No Brasil, a ANATEL regula as frequências utilizadas pela tecnologia RFID, através da norma nº 365/04, alinhando o padrão Brasileiro ao Norte-Americano. A faixa de frequência que os dispositivos UHF RFID devem utilizar são de 902 à 907,5 MHz ou de 915 à 928 MHz.

O principal padrão da EPCGlobal é o EPC que tem como objetivo unificar a identificação. Esse padrão é destinado principalmente aos recursos de logística, recebendo como apoio o ONS, dessa forma é possível localizar informações sobre determinado produto vinculado a *tag*. Esse serviço assemelha-se ao fornecido pelo DNS na internet.

2.4 EPC E ESTRUTURA DE CLASSES

O código eletrônico de produto (EPC) é definido pelo EPCGlobal como um esquema de identificação para identificar universalmente objetos físicos (por exemplo, itens comerciais, ativos e locais) através de etiquetas RFID e outros meios. Os dados padronizados EPC consistem em um EPC (ou EPC *Identifier*) que identifica um objeto individual, bem como um valor de filtro opcional quando consideradas necessárias para permitir a leitura eficaz e eficiente das etiquetas EPC (GS1 GENERAL SPECIFICATIONS, 2014).

O EPC é formado por uma sequência de bits separados logicamente em quatro campos: Cabeçalho – define o tamanho do código que será usado, variando

de 64 até 256 bits; Fabricante EPC Manager – informa o fabricante do produto; Classe do objeto – refere-se ao tipo exato de produto em uma unidade de estoque; e Número série – identificador individual de unidade, permitindo a alocação de até 296 produtos diferentes dentro de uma mesma classe de objeto. Na Figura 3 mostra-se a estrutura do EPC na qual os bits que identificam a *tag* estão em número hexadecimal.

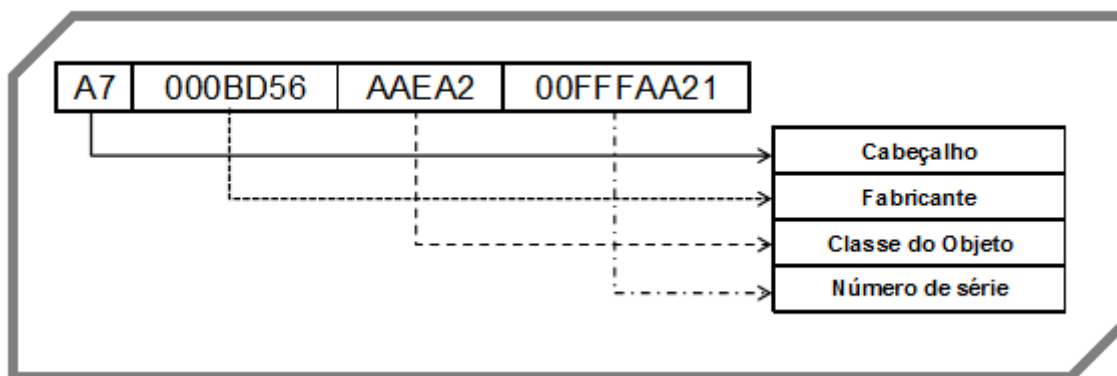


Figura 3 – Formato do EPC

Segundo Cho Man (2013) as particularidades de cada classe de *tags* são:

- Classe 0 – Apenas leitura e programação em fábrica. É o tipo mais simples de *tag*. Geralmente contém apenas um número de série EPC e não tem memória no chip. É o tipo utilizado em sistemas antifurto de supermercados, lojas de conveniências, livrarias etc;

- Classe 1 – Apenas leitura, mas permite uma única gravação de dados. Deste modo, pode vir de fábrica programada ou o usuário pode programá-la. Pode conter uma memória que armazene dados referentes ao produto onde será anexada, tornando a informação sobre eles mais completa, como a configuração de um computador, por exemplo;

- Classe 2 – Leitura e escrita, permitindo a gravação de dados a qualquer momento. É o tipo mais flexível de *tag*, uma vez que pode ser regravada várias vezes e acompanhar as ações que foram feitas no produto. Um exemplo de aplicação é em uma linha de produção de equipamentos, em que a cada etapa mais peças são agregadas até formar o produto final. A cada etapa as *tags* recebem informações sobre o que foi feito e é possível levantar um histórico sobre tudo que ocorreu durante a montagem;

- Classe 3 – Leitura e escrita, com bateria e sensores. Além de conter informações sobre o produto, pode interagir com ele, coletando dados como

temperatura, pressão, tensão elétrica, etc. Esses dados são gravados na memória da etiqueta e enviados toda vez que solicitado;

– Classe 4 – Leitura e escrita com transmissores integrados. Acabam funcionando como minirrádios, podendo se comunicar não apenas com os *readers*, mas também com outras etiquetas. Formam redes inteligentes de logística.

3 PRINCÍPOS DE POSICIONAMENTO UTILIZADOS EM AMBIENTES INDOOR

O RFID é um sistema de identificação sem fio, mas, recentemente, o rastreamento e o posicionamento de produtos, objetos e pessoas em áreas cobertas por *readers* recebeu especial atenção na literatura científica e na indústria (OKTEM et al, 2008). Para utilização da tecnologia RFID para posicionamento, a escolha do método deve-se levar em consideração as características técnicas do transmissor e receptor, a distância entre os mesmos e suas características de mobilidade. Além disso, a propagação de sinais de radiofrequência em ambientes *indoor* esta sujeita a propriedades que dificultam a localização do seu emissor, tais como o efeito multipercurso, a absorção, a difração, a reflexão e, em alguns casos, a não existência de linha de visada.

Os algoritmos de posicionamento podem ser divididos em estimativa da distância, análise de cena e proximidade. Neste trabalho opta-se pela estimativa da distância por se adequar melhor as características dos equipamentos utilizados.

3.1 ESTIMATIVA DA DISTÂNCIA

A estimativa da distância utiliza as propriedades geométricas dos triângulos e pode se basear na distância (*lateration*) ou na diferença angular (*angulation*) entre dispositivos.

Através da medição do tempo de propagação do sinal entre o emissor e vários receptores, e conhecendo previamente a velocidade de propagação deste, é possível estimar a distância do dispositivo localizável a vários pontos de referência. Do mesmo modo, medições do nível de potência recebido (RSSI), permitem calcular a distância percorrida do sinal relacionando a potência de emissão e recepção com um modelo de perdas de propagação. Através da obtenção de pelo menos três distâncias é possível estimar a posição do dispositivo. Ambos estes casos se enquadram na técnica *lateration*. Na técnica *angulation*, é efetuado o cálculo posicional baseado numa medição angular, onde se estima a posição relacionando a direção de propagação entre o objeto e vários pontos de referência (BRÁS, 2009).

Essas técnicas de localização em redes de sensores utilizam, em geral, observações relacionadas a uma ou mais grandezas do sinal de radiofrequência transmitido por um terminal e recebido por outro terminal. As grandezas tipicamente empregadas são a *potência* do sinal recebido, o *tempo de chegada* do sinal recebido e o *ângulo de chegada* do sinal recebido (MOREIRA, 2007). Por se adequar melhor as características do equipamento utilizado neste trabalho, utilizou-se a RSSI discutida a seguir.

3.1.1 INTENSIDADE DO SINAL RECEBIDO

Este método recorre à análise da intensidade do sinal recebido, RSSI, no receptor e a um modelo que descreve como esta varia com a distância. Existem vários modelos de aproximação para estimar as perdas de propagação da intensidade do sinal. Estes podem ser subdivididos em modelos empíricos (estatísticos) ou teóricos (determinísticos), caso se baseiem em medições efetuadas no ambiente de localização ou nos fundamentos de propagação de ondas (BRÁS, 2009).

O *reader* utilizado no projeto executa as leituras de *RSSI* em volts, que são convertidos em dBm com o uso de um gráfico de conversão (Figura 4) fornecido pelo fabricante (ANANIAH, 2014).

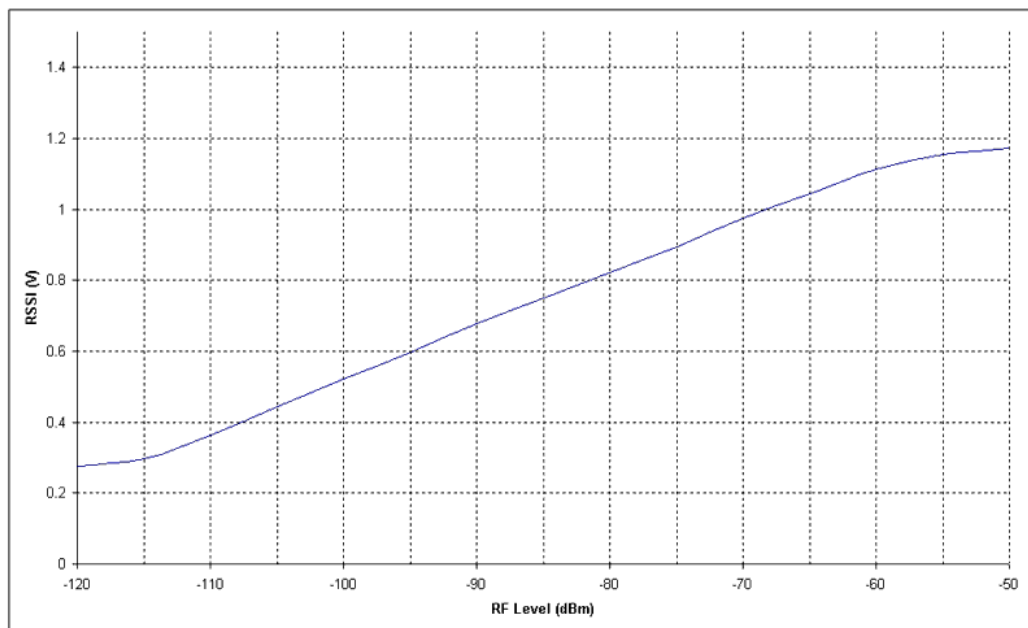


Figura 4 - Gráfico de conversão da RSSI (Volts x dBm)(ANANIAH, 2014)

Neste trabalho, efetuaram-se medições no ambiente de localização para determinar como este influencia a RSSI. Deste modo, é realizada uma calibração prévia do sistema onde, através da análise do ambiente de localização, são estimados os parâmetros que melhor o descrevem. Na Figura 5 mostra-se a topologia básica para a localização de um terminal desconhecido O através da técnica de trilateração que utiliza a RSSI.

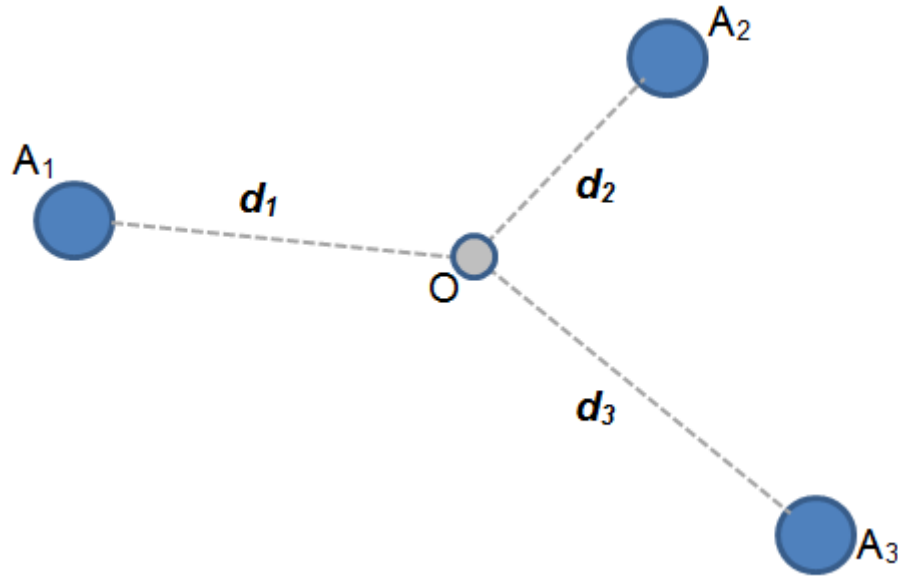


Figura 5 - Trilateração com estimativa da distância

A potência recebida (P_R) por cada antena é dada pela potência transmitida (P_T) menos a perda de percurso (PL) na distância d entre a antena e a *tag* do objeto. Tem-se a equação em decibéis (dB):

$$P_R = P_T - PL(d) [dB]$$

A perda de percurso em dB é dada por:

$$PL(d) = PL(d_0) + 10\beta \log\left(\frac{d}{d_0}\right) [dB]$$

Onde $PL(d_0)$ é a perda de percurso em uma distância de referência d_0 e β é o fator de propagação do canal que representa as características do mesmo em cada ambiente no modelo adotado.

Podemos reescrever a potência recebida:

$$P_R = \alpha - 10\beta \log(d) [dB]$$

Onde:

$$\alpha = P_T + 10\beta \log(d_0) - PL(d_0) [dB]$$

No processo de calibragem do sistema são encontrados valores de α_i e seu correspondente β_i . Para chegar a um valor de α e β que represente o ambiente de localização com o mínimo de erro é efetuado o método dos mínimos quadrados (MMQ).

O principal problema das técnicas de localização baseadas na potência recebida está relacionado com os erros de estimação das distâncias d_i causados pelos efeitos de desvanecimento impostos pelo canal de propagação. Por exemplo, devido ao desvanecimento de larga escala, causado por obstáculos entre o transmissor e o receptor, o valor da potência recebida pode variar, levando a uma estimação imprecisa da distância entre o transmissor e o receptor (MOREIRA, 2007). O efeito do desvanecimento na potência do sinal é geralmente modelado como uma variável aleatória X de distribuição gaussiana, com média nula e variância σ^2 , somada à perda de percurso em (3.1), resultando em:

$$PL(d) = PL(d_0) + 10\beta \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X \text{ [dB]}$$

4 TÉCNICAS DE LOCALIZAÇÃO DE TAGS RFID

As técnicas de localização são baseadas em: Tempo de Chegada ou *Time of Arrival* (TOA); Diferença entre os Tempos de Chegada do sinal ou *Time Difference of Arrival* (TDOA); ângulo de recepção do sinal ou *Angle/Direction of Arrival* (A/DOA); medição da intensidade do sinal ou *RSSI* (KONG et al, 2004; BHATIA et al, 2009).

O sólido conhecimento dos princípios de posicionamento em ambiente *indoor* permitiu que diversos pesquisadores desenvolvessem novas formas de localizar um alvo (objeto ou pessoa). Entretanto, a tecnologia RFID apresentou desafios, pois, diferentemente de tecnologias com Ad-Hoc, Bluetooth e Zig Bee, seu controle de localização deve ser centralizado devido as *tags* carregarem poucos dados e possuírem baixa capacidade de processamento.

A revisão da literatura sobre técnicas de localização forneceu uma gama de algoritmos de posicionamento propostos por pesquisadores em livros, teses, dissertações e artigos. Este trabalho se atém aos métodos que utilizam a trilateração com estimativa da distância.

4.1 TRILATERAÇÃO COM ESTIMATIVA DA DISTÂNCIA

Trilateração é um método geométrico que permite calcular a posição de um ponto cuja posição não é conhecida utilizando-se as distâncias entre esse ponto e outros três pontos conhecidos (RODRIGUES, 2011).

No capítulo anterior discutiu-se a estimativa da distância, que foi obtida através da intensidade do sinal recebido, permitindo a utilização do algoritmo de trilateração.

A Figura 6 (KO, 2010) apresenta uma situação onde são utilizados três receptores (*antenna*) que fazem a leitura *RSSI* do transmissor (*tag*) com estimação de distância para cada referência, executando-se assim o algoritmo de trilateração para o cálculo da posição estimada do *tag*.

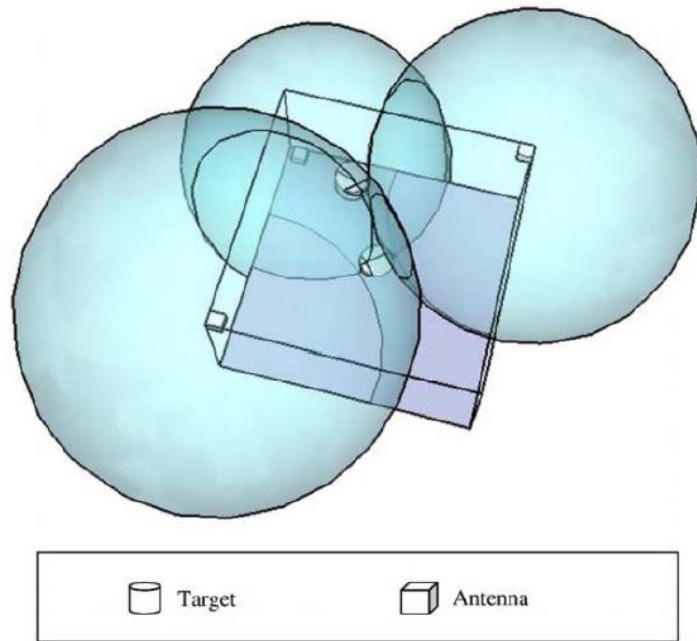


Figura 6 - Posicionamento por Trilateração de uma *tag* por três receptores (*Antenna*) com medição RSSI e estimação de distância (KO, 2010)

Dado o posicionamento das antenas receptoras no Lab Maq Ele visto na figura 7, pode-se encontrar as coordenadas (x,y,z) da *tag* resolvendo um sistema de equações de esferas representas no croqui em duas dimensões pelos círculos.

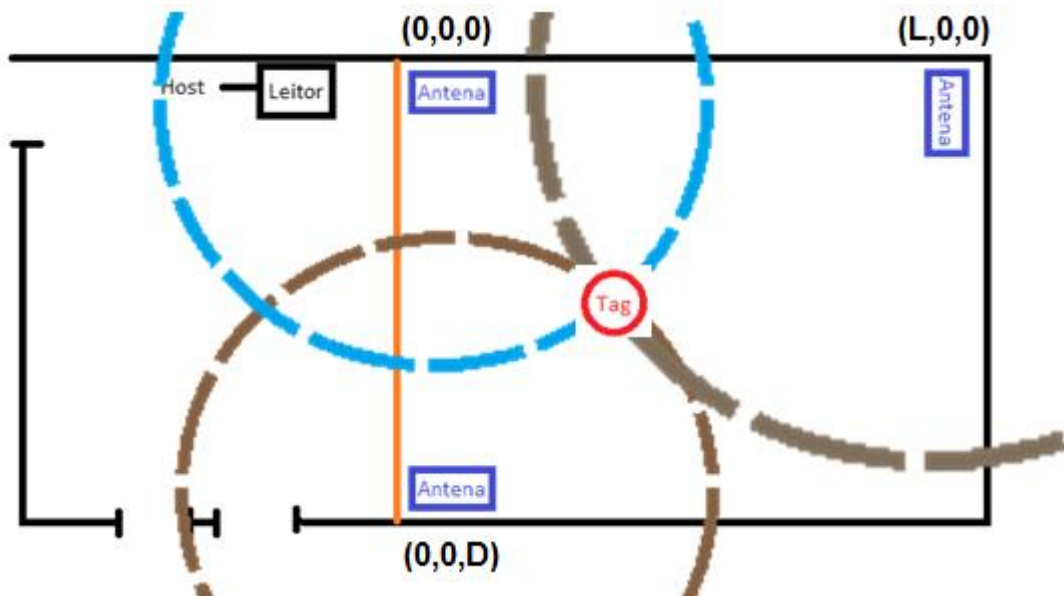


Figura 7 - Mapeamento 2D do Lab Maq Ele

Temos o seguinte sistema:

$$\begin{cases} x^2 + y^2 + z^2 = d_1^2 & (1) \\ x^2 + y^2 + (z - D)^2 = d_2^2 & (2) \\ (x - L)^2 + y^2 + z^2 = d_3^2 & (3) \end{cases}$$

Subtraindo (2) – (1), temos:

$$z = \frac{D^2 + d_1^2 - d_2^2}{2D}$$

Subtraindo (3) – (1), temos:

$$x = \frac{L^2 + d_1^2 - d_3^2}{2L}$$

Por fim, pode-se substituir os valores de x e z encontrados acima na primeira equação do sistema para determinar y, e assim encontrar a coordenada (x,y,z) da *tag*.

5 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

5.1 TAG ATIVA

Para o projeto foi utilizado a *tag* ativa de RFID, modelo RF40315T do fabricante Ananiah Eletronics apresentado na Figura 8.



Figura 8 - RF40315T (ANANIAH, 2014)

Esta *tag* envia 4 caracteres a cada 2,5 segundos e tem um alcance de 40 metros, apesar de sua potência RF ser muito baixa. O transmissor só será ligado quando estiver transmitindo, o que ocasionará o não congestionamento de dados para outros dispositivos que estão usando a mesma banda de frequência.

Pontos positivos:

- Baixo consumo de energia;
- Alcance útil de 40 metros, podendo chegar a 100 metros em ambientes ideais;
- Dimensão pequena;
- Não necessita de configuração;
- Emprego de algoritmo anti-colisão, podendo o receptor equivalente a esta etiqueta se comunicar com 160 transmissores ao mesmo tempo.

Especificações técnicas:

- Consumo de energia – 6mA quando transmitindo e 12uA quando ocioso;
- Temperatura de operação – 0 a 50 °C;

- Frequência de operação – 315 MHz;
- Dados de saída – 4 caracteres;
- Potência de saída RF – < 15 mW.

5.2 READER

Para o projeto também foi utilizado um módulo receptor com RSSI, modelo RF9315R do fabricante Ananiah Eletronics apresentado na Figura 9:



Figura 9 - RF9315R (ANANIAH, 2014)

Este módulo receptor com RSSI recebe os dados enviados a partir de etiquetas. Possui baixo custo, não requer fonte de alimentação externa (alguns computadores ou notebook's podem exigir entrada de alimentação externa de 9V). Os dados recebidos serão enviados para o computador via porta RS232. Esses dados podem ser lidos por um software padrão de comunicação, como o Hyperterminal. Para a utilização dos dados para a integração com sistemas ou para desenvolvimento de aplicações, passa a ser necessário programas personalizados que utilizam a porta COM para ler os dados.

Pontos positivos:

- Tecnologia Plug and play, isto é, não há necessidade de enviar comandos para controlar o receptor;
- Sem entrada de energia;
- São recebidos dados RSSI;
- Concepção superheterodina para máxima estabilidade;
- Proteção para potência reversa.

Especificações técnicas:

- Tensão de alimentação – 9 V, fornecimento de 4 mA típico;
- Temperatura de operação – 0 a 50 °C;
- Frequência de operação – 315 MHz;
- Capacidade – 80 ID ao mesmo tempo;
- Dados de saída – dados enviados pela etiqueta, além de dados RSSI (0 a 255) mais um espaço;
 - Porta Serial – tipo RS232, 9600 Baud, palavras de 8 bits, 1 stop bit, 1 bit de início, sem paridade.

6 RESULTADOS

O equipamento utilizado permite descobrir a potência recebida a cada ciclo de leitura das *tags*. Os gráficos das Figuras 10 e 11 abaixo mostram a média da potência recebida, feita a cada conjunto de quatro valores lidos pela antena receptora para duas *tags* fixas: a primeira (Fig. 10) a 1.5 metros do receptor e a segunda (Fig. 11) a 3 metros do mesmo.

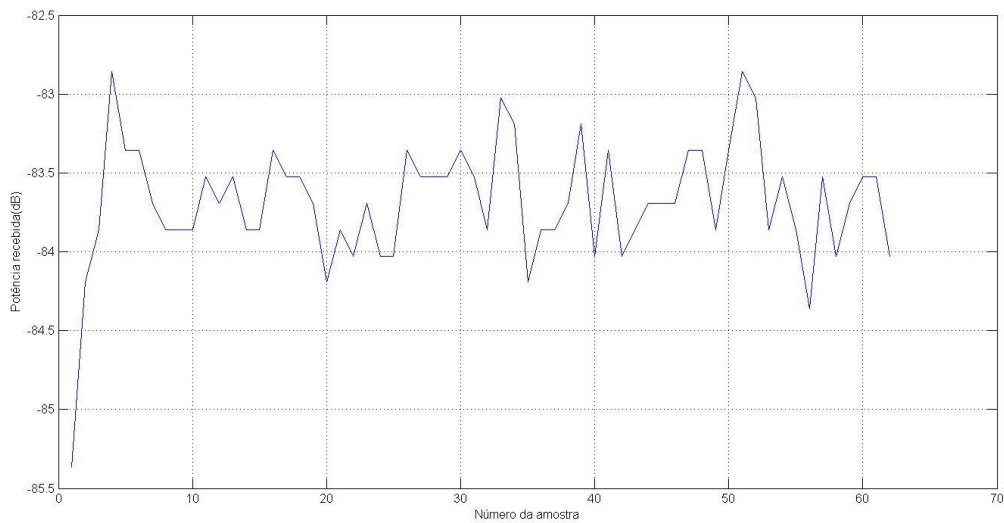


Figura 10 - Potência média recebida da tag a 1.5 metros em um cômodo vazio

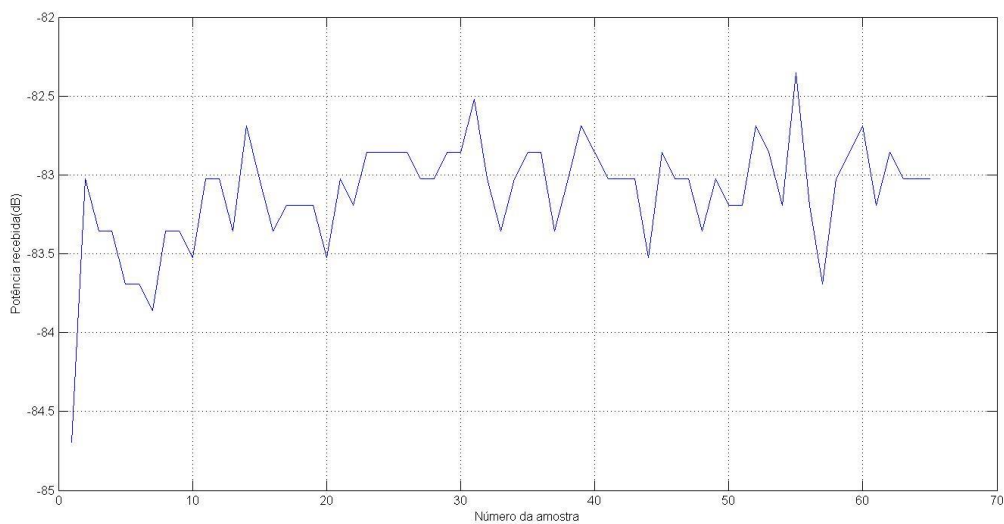


Figura 11 - Potência média recebida da tag a 3 metros em um cômodo vazio

As amostras foram coletadas em um intervalo de 15 minutos.

Para encontrar os valores de α e β descritos na seção 3.1.1, foram usadas três *tags* de referência: etiquetas cuja localização no cômodo é conhecida. Sendo assim, conhecendo a distância dessas etiquetas até o receptor e a potência recebida de cada uma, têm-se um conjunto de três equações do tipo:

$$P_{Ri} = \alpha - 10\beta \log(d_i) [dB]$$

Como d_i e P_{Ri} são conhecidos para cada uma das *tags* de referência, os valores de α e β foram então ajustados pelo Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) com o intuito de achar valores mais adequados para descrever o ambiente. Por fim, as constantes encontradas foram usadas para obter o posicionamento de *tags* cujas distâncias são desconhecidas.

Esse processo foi feito dinamicamente, dessa forma os valores de α e β atualizados acompanhariam possíveis nuances do ambiente. Também foi feita uma média a cada quatro valores de potência recebidos para tentar eliminar medidas bruscas causadas pela imprecisão do equipamento. Para avaliar o método usado, foram realizados três experimentos com posicionamentos diferentes tanto das *tags* de referência quanto da *tag* a ser rastreada.

Primeiro teste:

No primeiro teste, as *tags* de referência foram posicionadas a três, dois e um metro da antena. A *tag* a ser localizada foi posicionada a 2,4 metros de distância. As distâncias encontradas, eliminado os valores absurdos (distância maior que 10 metros ou menor que 1 metro), são apresentadas na Figura 12 abaixo:

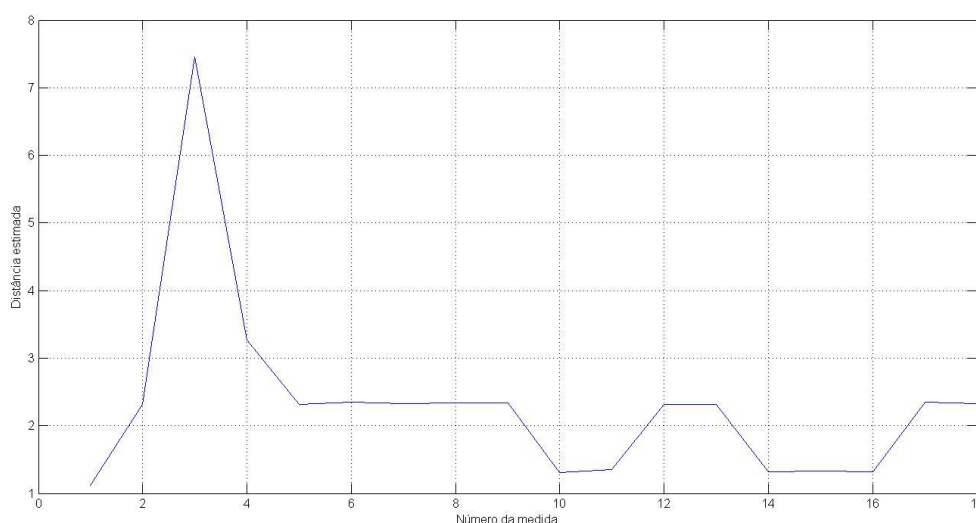


Figura 12 - Histórico das distâncias encontradas no primeiro teste

Com uma margem de tolerância de 15 centímetros, têm-se a seguinte ocorrência de medidas:

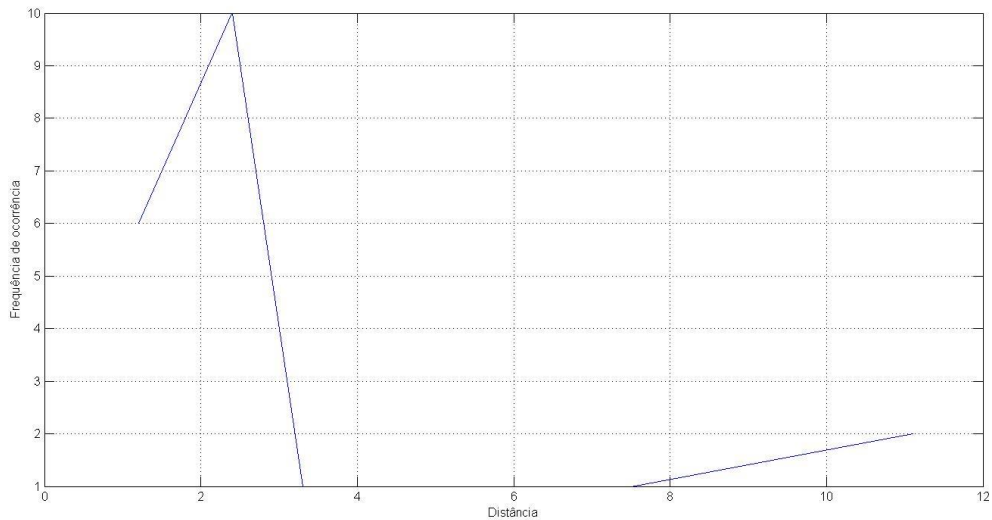


Figura 13 - Histograma das distâncias encontradas (margem de tolerância: 15 cm)

Foram tiradas 102 medidas de distância, sendo que 84(82,35%) delas foram descartadas. As distâncias encontradas possuem média de 2.31 metros e um erro absoluto médio de 0.73 metros (30,78%).

Segundo teste:

Para o segundo teste, a *tag* a ser localizada foi mantida a 2.4 metros de distância, enquanto as *tags* de referência foram deslocadas para 4, 3.5 e 3 metros de distância. Usando os mesmos critérios para a eliminação dos valores absurdos (distância maior que 10 metros ou menor que 1 metro), os resultados obtidos são apresentados na Figura 14:

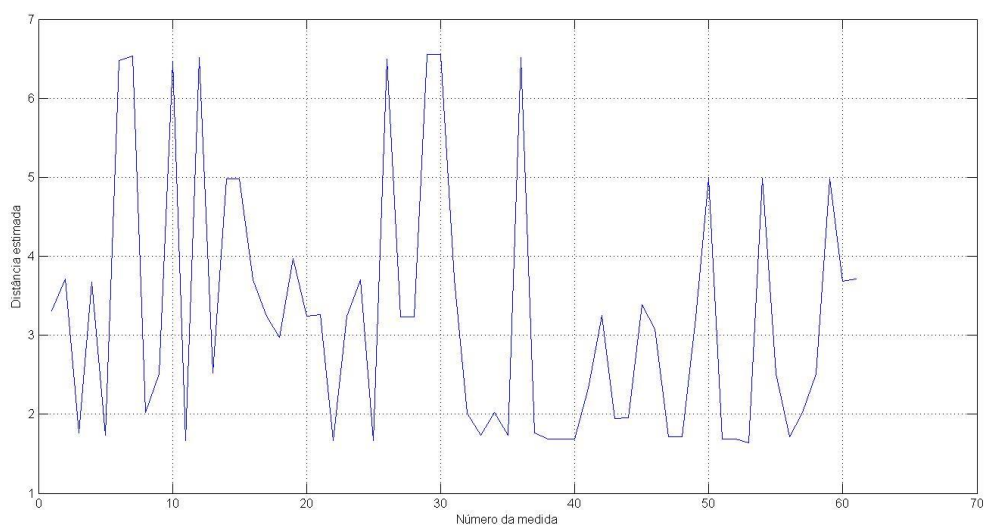


Figura 14 - Histórico das distâncias encontradas no segundo teste

Com margem de tolerância de 15 centímetros, têm a seguinte ocorrência de medidas:

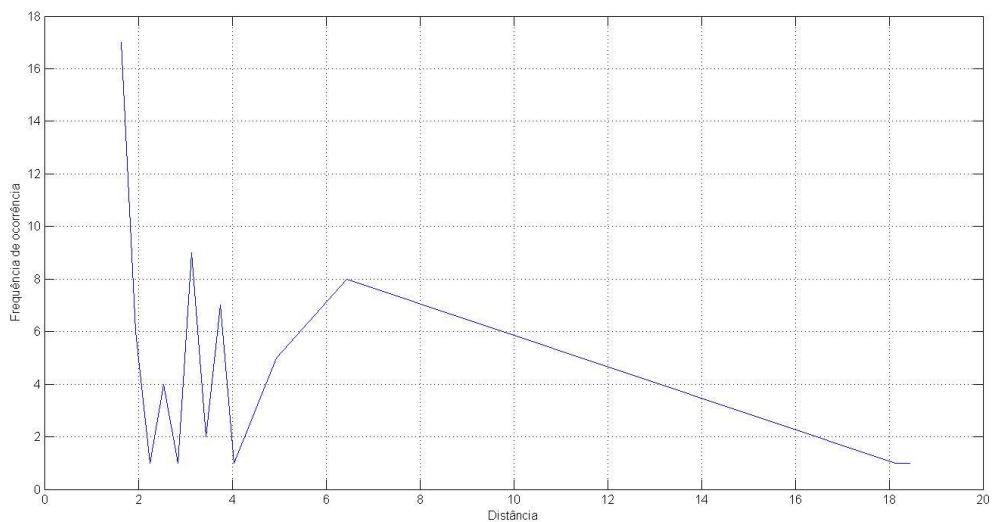


Figura 15 - Histograma das distâncias encontradas (margem de tolerância: 15 cm)

Foram tiradas 105 medidas, sendo 44(41.9%) delas descartadas. . As distâncias encontradas possuem média de 3.26 metros e um erro absoluto médio de 1.33 metros (55,45%).

Terceiro teste:

No último teste, as distâncias de todas as *tags* foram aumentadas de 1 metro. Ficando as *tags* de referência a distâncias de 5, 4.5 e 4 metros enquanto a *tag* a ser rastreada ficou a 3.4 metros da antena receptora. Os mesmos critérios

para eliminação de valores absurdos foram usados. O resultado é o apresentado na Figura 16:

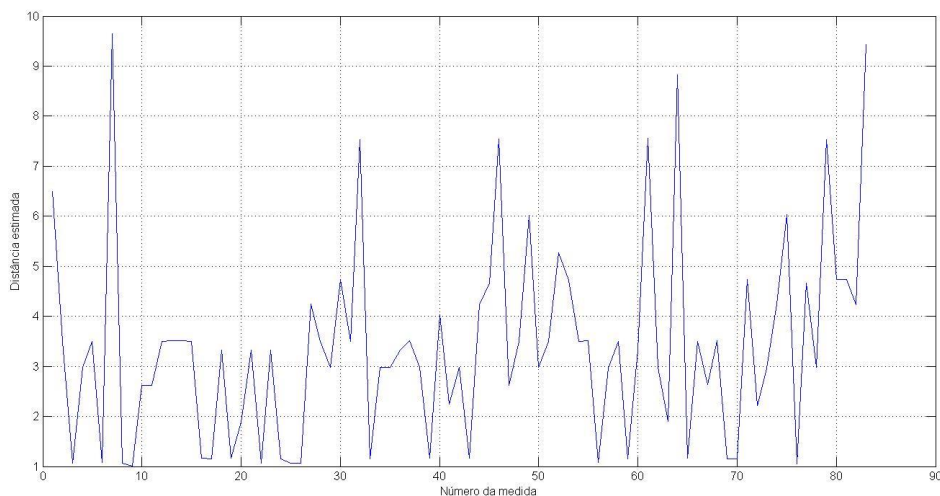


Figura 16 - Histórico das distâncias encontradas no terceiro teste

Com margem de tolerância de 15 centímetros, têm-se a seguinte ocorrência das medidas:

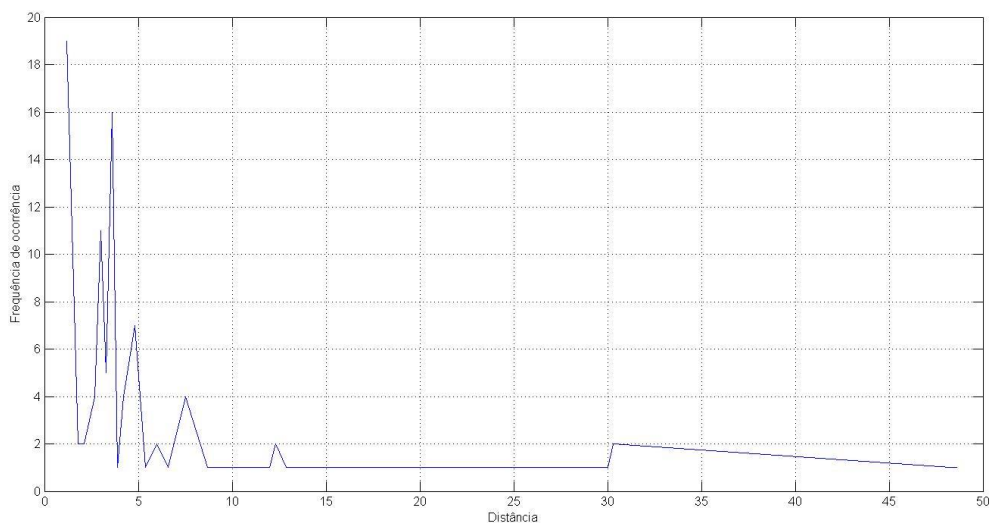


Figura 17 - Histograma das distâncias encontradas (margem de tolerância: 15 cm)

Foram tiradas 123 medidas, sendo 40(32,52%) delas descartadas. As distâncias encontradas possuem média de 3.4 metros e um erro absoluto médio de 1.42 metros (41,99%).

Embora a média das distâncias estimadas tenha sido próxima da distância real, as medidas variaram muito individualmente, gerando um erro médio absoluto alto. Com base nos dados acima apresentados, pode-se notar que as

inconsistências nos valores da potência recebida afetam a precisão das distâncias estimadas.

Os valores nas Figuras 10 e 11 foram tomados em um curto espaço de tempo e em um ambiente sem visíveis perturbações físicas, o que permite atribuir as variações à imprecisão equipamento. Este pode exibir tal imprecisão de duas formas: pela variação da potência transmitida nas *tags*; e pela baixa precisão no receptor.

A falta de refinamento na potência transmitida causaria uma inconstância maior no valor de α . Como tal variação é interna de cada antena e independente do meio, pode-se achar valores diferentes de α (e, por consequência, β) mesmo que o ambiente não tenha sofrido alterações.

O segundo problema vem da própria antena receptora que fornece a potência recebida com precisão de duas casas decimais. Tal valor precisa ser convertido para dB, o que pode gerar um erro de aproximação significativo para aplicações indoor.

O tempo entre duas transmissões das *tags* também poderia ser reduzido, o que permitiria pegar um maior número de amostras para se encontrar a potência média recebida.

7 CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho era o emprego da tecnologia de Identificação por Rádio Frequência(RFID) para a localização indoor.

Inicialmente foi feito um estudo da tecnologia RFID, para ambientação ao tema. Em seguida, as formas possíveis de localização via rádio frequência foram analisadas e então escolhida a mais adequada ao equipamento possuído. Por último, foi criado um algoritmo e testado em experimentos a fim de avaliar a viabilidade da técnica.

As distâncias estimadas pelo algoritmo tiveram um erro absoluto muito maior do que esperávamos. No entanto, a média destas ficou bem próximo da distância real. Dentre as possíveis explicações, a que sobressai como mais plausível foi a falta de precisão no equipamento utilizado. Por limitação temporal, este trabalho não abordou com profundidade formas de contorná-la e nem outras possíveis causas para o alto erro absoluto. Devido a imprecisão obtido nas medidas ser maior do que o esperado, não demos prosseguimento a última parte do trabalho que seria implementar um algoritmo de localização utilizando as distâncias encontradas.

Como sugestão de trabalhos futuros, indicamos a pesquisa de técnicas para superar a imprecisão do equipamento utilizado ou a pesquisa de equipamentos mais adequados para o uso proposto.

APÊNDICE A – CÓDIGOS E FUNÇÕES UTILIZADAS NO TRABALHO

Arquivo - Ler_antena:

```
global Ref Dist; %Lista dos IDs das tags de referencia e suas distancias

r=input('Quantas tags de referencia serao usadas?\n');
for i=1:r
    fprintf('Digite o identificador da tag numero %d e sua distancia a essa
antena\n',i);
    Ref{i}=input('Identificador:', 's');
    Dist(i)=input('Distancia:');
end

antena=actxcontrol('RFIDX.rfidAX',[0 0 800 500],gcf,'mrfidData');
%nome do controle activeX, tamanho da figura, figura usada
%e nome da funcao usada para tratar o metodo 1(no caso, mrfidData)

%Inicia aquisicao de dados e da ao usuario opcoes
abrirPorta(antena);
ctr=true;
while(ctr)
    fprintf('[1] - Mudar de porta\n'); %altera a porta de aquisicao
    fprintf('[2] - Fechar leitura\n'); %Termina a aquisicao da porta aberta
    fprintf('[3] - Sair\n');      %Sai do loop mas continua a aquisicao
    escolha=input("");
    switch escolha
        case 1
            if (fecharPorta(antena))
                abrirPorta(antena);
            else
                disp('Nao foi encontrada nenhuma porta aberta');
                ctr=false;
            close;
        end
    end
end
```

```

        end
    case 2
        if (fecharPorta(antena))
            disp('Leitura terminada');
            ctr=false;
            close;
        else
            disp('Nao foi encontrada nenhuma porta aberta');
            ctr=false;
            close;
        end
    case 3
        disp('Use o comando antena.ClosePort() para terminar a aquisição
de dados');
        ctr=false;
        otherwise
            disp('opcao invalida');
        end
    end
end
clear ctr escolha r;

%Com os comandos
%antena.invoke('OpenPort', numero_da_porta)
%antena.invoke('ClosePort')
%retornam true se a operação foi bem sucedida

```

Função – abrirPorta

```

function abrirPorta( antena )
%Esta funcao inicia a leitura de dados em uma dada porta
porta=input('Qual a porta a ser aberta?\n');
%Testa se existe dispositivo conectado na porta passada
if ~(isempty(porta))
    conf=antena.OpenPort(porta);

```

```

else
    conf=false;
end
%Alerta o usuario e pede nova entrada
while(conf==false)
    fprintf('porta invalida\n');
    porta=input('Qual a porta a ser aberta?\n');
    if ~(isempty(porta))
        conf=antena.OpenPort(porta);
    else
        conf=false;
    end
end
%Confirma a abertura da porta
fprintf('Porta %d aberta\n',porta);
end

```

Função – fecharPorta

```

function conf = fecharPorta( antena )
%Esta funcao termina a leitura da porta aberta
    conf=antena.ClosePort();
end

```

Função – time

```

function T = Time()
%Esta funcao devolve o tempo em segundos(excuindo-se dias, meses e
anos)
    c=clock;
    T=c(4)*3600+c(5)*60+c(6);
end

```

Função – desvio

```
function Var = desvio( Medidas)
%Esta funcao calcula o desvio(Var) das amostras coletadas
    Media=mean(Medidas);
    Medidas=Medidas-Media;
    Medidas=Medidas.^2;
    Var=sqrt(sum(Medidas)/(length(Medidas)-1));
End
```

Função – rssi2db

```
function dB = rssi2db(RSSI)
%Esta função faz a conversão dos valores RSSI para dB
%Aproximação linear feita visualmente para retas de equacao
y=alfa+beta*x
    RSSI=RSSI/100;
    if(RSSI>=0.27272 && RSSI<0.30909)
        alfa=0.0055944;
        b=0.32587;
    end
    if(RSSI>=0.30909 && RSSI<1.10909)
        alfa=0.01495;
        b=2.0062;
    end
    if(RSSI>=1.10909 && RSSI<1.16363)
        alfa=1.0909;
        b=1.76363;
    end
    if(RSSI>=1.16363 && RSSI<1.18181)
        alfa=0.0036363;
        b=1.36363;
    end
end
```



```

    dB=(RSSI-b)/alfa;
end

```

Função – mrfidData

```

function mrfidData(varargin)
%Esta funcao trata o evento da chegada de novos dados na antena
    global Ref Dist;
    amostras=5; %Numero de amostras para serem feitas a media
    Ref_tag=false;
    Id=varargin{3}(1:4); %Identificador da antena
    RSSI=str2num(varargin{3}(5:6)); %Valor RSSI lido
    tolerancia=15; %Usado para descartar medidas feitas espacadamente

%Verifica se a tag lida e uma tag de referencia
if(~isempty(find(ismember(Ref,Id),1)))
    n=find(ismember(Ref,Id),1);
    Id=['Ref' num2str(find(ismember(Ref,Id),1))];
    Ref_tag=true;
end

%Verifica se e a primeira leitura daquela tag
if exist([Id '.mat'],'file')==0
    Valores=[]; %Valores lidos para aquela antena
    Cont=1; %Variavel de controle
    Media=[]; %Media a cada 'amostras' valores
    Tempo=[]; %Usado para saber o momento da aquisicao do sinal
    Tempo2=[]; %Usado para calcular Alfa e Beta equivalentes

%Esses parametros so sao uteis para tags de referencia
if(Ref_tag)
    Id_original=varargin{3}(1:4); %Nome original da tag
    Var=[]; %Desvio padrao das amostras coletadas
    D=Dist(n); %Distancia dessa tag a esta antena

```

```

        end

    else
        load([Id '.mat']);
    end

    %Trata os dados coletados

    Valores(Cont)=rssi2db(RSSI);
    Tempo(Cont)=Time();

    if(Cont~=1) %Garante que as medidas nao ficarao muito espacadas
        if(Tempo(Cont)-Tempo(Cont-1))>tolerancia
            Tempo=Tempo(Cont);
            Valores=Valores(Cont);
            Cont=1;
        end
    end

    if Cont==amostras
        Cont=1;
        Media(size(Media,2)+1)=mean(Valores);
        Tempo2(size(Tempo2,2)+1)=Time();
        if(Ref_tag)
            Var(size(Var,2)+1)=desvio(Valores);
        end
    else
        Cont=Cont+1;
    end

    %Salva os dados
    if (Ref_tag)
        save([Id '.mat'],'Valores','Cont','Media', 'Var', 'D','Id_original','Tempo',
'Tempo2');

```

```

else
    save([Id '.mat'],'Valores','Cont','Media','Tempo', 'Tempo2');
end

end

```

Função – MMQ

```

function F = MMQ(instante)
%Esta funcao calcula o Metodo dos Minimicos Quadrados das antenas de
%referencia
global Ref;
X=[];
Y=[];

for i=1:size(Ref,2)
    %Descobre as medidas no instante mais perto do desejado
    load(['Ref' num2str(i) '.mat']);
    Tempo2=Tempo2-instante;
    Tempo2=abs(Tempo2);
    index=find(Tempo2==min(Tempo2));

    %Pega os valores para usar o MMQ
    Y(i,1)=Media(index);
    if(Var(index)==0)
        V=1;
    else
        V=Var(index);
    end
    X(i,1)=1/V;
    X(i,2)=-10*log10(D)/V;
end
A=X'*X;
A=inv(A);

```

```
A=A*X';  
A=A*Y;  
Alfa=A(1,1);  
Beta=A(2,1);  
F=[Alfa Beta];  
end
```

8 BIBLIOGRAFIA

ANANIAH ELETRONICS. **Especificações técnicas do reader RFID RF8315R e tag RF40315T**. Disponível: <http://www.ananiahelectronics.com/> [capturado em 03 jun de 2014].

BOLIC, Miodrag, SIMPLOT-RYL, David, STOJMENOVIC, Ivan. **RFID systems: research trends and challenges**, 1. ed. University of Ottawa. Canada. 2010. 577 p. ISBN 978-0-470-74602-8.

BRÁS, Luís Pedro Marques. **Desenvolvimento de sistema de localização indoor de baixo consumo**. Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 2009.

CHO MAN, Luk. **Utilização da tecnologia RFID nos processos de expedição em armazém**. Sinergia, Sao Paulo, v. 14, n. 1, p. 70-77, jan./abr. 2013

EPCGLOBAL. **Tag Class Definitions**. Documento de Padronização. EPC, 2008.

GLOVER, Bill, BHATT, Himanshu. **RFID essentials (Theory in practice)**. 1 ed. Published by O'Reilly Media, 2006. 227 p. ISBN 978-0-596-00944-1.

GOMES, Hugo Miguel Cravo. **Construção de um sistema de RFID com fins de localização especiais**. Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 2007.

GUTIERREZ, R., MONTEIRO, D., MARIA, N. **Complexo Eletrônico: Identificação Digital por Radiofrequência**, BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 22, p. 29-70, set. 2005.

ISO (International Organization for Standardization). **ISO/IEC 18000-6: Information technology – Radio frequency identification for item management – Part 6: Parameters for air interface communications at 860 MHz to 960 MHz**. Amendment 1 (2006-06-15): Extension with Type C and update of Types A and Bll. Documento de Padronização ISO, 2006.

KO, Chien-Ho. **RFID 3D location sensing algorithms**. National Pingtung University of Science and Technology, Taiwan, 2010. Automation in Cosntruction. Volume 19, Issue 5, August 2010, Pages 588-595.

KONG, H., KWON, Y. SUNG, T. (2004) **Comparisons of TDOA triangulation solutions for indoor positioning**, in: Papers presented at the 2004 International Symposium on GNSS, Sydney, Australia, 6-8 December,2004, 11 pgs.

LOZANO-NIETO, Albert. **RFID Design Fundamentals and Applications**, 1. ed. A CRC title. 2011. ISBN 978-1-4200-9125-0.

MOREIRA, Rafael Barbosa. **Análise de técnicas de localização em redes de sensores sem fio**. UNICAMP, Campinas, 2007.

OKTEM, R., AYDIN, E., CAGILTAY, N. (2008) **An RFID based location finding and tracking with guidance**, in Proc. Int. Conf. Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WiCOM), Oct., pp. 1–4.

PARET, Dominique. **RFID at ultra and super high frequencies : Theory and application** . 1. ed. John Wiley & Sons Ltd. United Kingdom. 2009. 527p. ISBN 978-0-470-03414-9 (cloth).

RODRIGUES, Moisés Lisboa. **Localização em ambientes internos utilizando múltiplas tecnologias sem fio**. UFMG, Belo Horizonte, 2011.

SANTOS, Leonardo Macedo dos. **Contribuição do uso da RFID na cadeia de suprimentos: aplicação na distribuição de Pára-quedas**. Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro. 2006.

SWEENEY, Patrick J. **RFID for dummies**. 1 edition (Abril 2005), 408pIMG_. Publisher For Dummies. ISBN-10 076457910X, ISBN-13 978-0764579103