

LEONARDO GUEDES

**SISTEMA DE LOCALIZAÇÃO E ORIENTAÇÃO PARA
DEFICIENTES VISUAIS**

São Paulo

2013

LEONARDO GUEDES

**SISTEMA DE LOCALIZAÇÃO E ORIENTAÇÃO PARA
DEFICIENTES VISUAIS**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Departamento de Engenharia de
Sistemas Eletrônicos da Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo.

Orientadores:

Prof. Dr^a. Fátima Salete Corrêa

Eng. Wesley Becari

São Paulo

2013

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus orientadores, a professora Dr^a Fátima Salete Correra e ao Eng^o. Wesley Becari pelos conhecimentos, direcionamentos e esclarecimentos necessários para o desenvolvimento do projeto. Agradeço ao professor Sergio Takeo por ter disponibilizado os módulos XBees que foram utilizados no projeto. Agradeço também ao técnico Jair, do LME, que me auxiliou na montagem dos módulos.

Lista de Abreviaturas e Siglas

- AHP – Analytic Hierarchy Process
- AOA – Angle of Arrival
- CID – Cluster Identifier
- CLH – Cluster Head
- DSSS – Direct Sequence Spread Spectrum
- ED – Energy Detection
- FFD – Full Function Device
- GPS – Global Positioning System
- HF – High Frequency
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers
- ISM – Industrial, Scientific and Medical
- ITU – International Telecommunication Union
- LF – Low Frequency
- PDU – Protocol Data Units
- PHY – Physical Layer
- RC – Razão de Consistência
- RF – Radio Frequência
- RFD – Reduced Function Device
- RFID – Radio Frequency Identification
- RSSI – Received Signal Strength Indicator
- TDOA – Time Difference of Arrival
- TOA – Time of Arrival

UHF – Ultra High Frequency

UWB – Ultra Wide Band

WiFi – Wireless Fidelity

Lista de Figuras

Figura 1 – Angle of Arrival – Exemplo Genérico.....	9
Figura 2 – Time of Arrival – Exemplo Genérico.....	10
Figura 3 – Time Difference of Arrival – Exemplo Genérico.....	11
Figura 4 – Received Signal Strength Indicator – Exemplo Genérico	12
Figura 5 – Determinação da posição de um objeto (T1) utilizando triangulação (CHUAN-CHIN PU et al., 2011).....	13
Figura 6 - Determinação de um objeto (T1) utilizando trilateração (CHUAN-CHIN PU et al., 2011).....	14
Figura 7 – Pilha do protocolo ZigBee.....	16
Figura 8 - Bandas de frequência.....	17
Figura 9 – Formato da PDU.....	18
Figura 10 - Exemplo de rede ZigBee.....	20
Figura 11 – Representação de uma rede em árvore	21
Figura 12 – Representação de uma rede em estrela	22
Figura 13 – Representação de uma rede mesh.....	22
Figura 14 - Diagrama de blocos do módulo móvel.....	27
Figura 15 – Shield de conexão do XBee com o Arduino.....	28
Figura 16 - Diagrama de blocos do módulo fixo.....	28
Figura 17 – Placa de interface da MaxStream	30
Figura 18 – Diversos modelos de Arduinos.....	31
Figura 19 – Placa Arduino UNO.....	33
Figura 20 – Módulos XBee utilizados na prova de conceito. À esquerda, módulo RX e à direita, módulo TX.....	35
Figura 21 – Interface do programa VB Terminal.....	36
Figura 22 – Gráfico de RSSI em função da distância para as antenas monopólos de RX e TX montadas na vertical.....	37
Figura 23 - Gráfico de RSSI em função da distância para as antenas monopólos de RX e TX montadas na horizontal.....	38

Figura 24 - Gráfico de RSSI em função da distância para as antenas monopólo de RX e TX montadas na vertical com obstáculo entre as mesmas	39
Figura 25 - Gráfico de RSSI em função da distância para a antena monopólo de RX na vertical e TX na horizontal.....	40
Figura 26 - Vista lateral de uma antena de microfita com substrato multicamada constituído por ar e substrato FR4.	42
Figura 27 - Vista em perspectiva da antena de 2,45 GHz.....	43
Figura 28 - Fotografia da antena direcional.....	43
Figura 29 - Perda de retorno da antena versus frequência	44
Figura 30 - Gráfico de RSSI em função da distância para a configuração TX – Monopólo e RX - Direcional.....	45
Figura 31 - Gráfico de RSSI em função da distância para a configuração TX e RX - Direcional.....	46
Figura 32 - Gráfico de RSSI em função da distância para a configuração TX e RX – Direcional defasadas de 90°.....	47
Figura 33 - Configuração dos módulos XBee, à esquerda a configuração dos módulos fixos, à direita a configuração do módulo móvel.....	50
Figura 34 - Módulo fixo construído	51
Figura 35 - Módulo móvel construído	52
Figura 36 - Pontos seleccionados no corredor do bloco C.....	54
Figura 37 - Gráfico de RSSI em função da distância para a todos módulos com antenas monopólo.....	55
Figura 38 - Gráfico de RSSI em função da distância para módulos fixos com antenas diretivas e módulo móvel com antena monopólo	56
Figura 39 - Gráfico de RSSI em função da distância para a todos módulos com antenas monopólo, com módulo móvel junto ao corpo	57

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Números do Censo de 2010 do IBGE mostrando número de deficientes visuais no Brasil	1
Tabela 2 - Comparação entre as tecnologias (BENAVENTE-PECES et al., 2009) ...	8
Tabela 3 – Bandas de frequência e taxas de dados	17
Tabela 4 – Dados técnicos das tecnologias	24
Tabela 5 - Critérios de escolha do método AHP	25
Tabela 6 - Comparação entre as tecnologias no critério de alcance indoor	25
Tabela 7 - Comparação entre as tecnologias no critério de custo	25
Tabela 8 - Comparação entre as tecnologias no critério de potência consumida.....	26
Tabela 9 – Resultado do método AHP	26
Tabela 10 – Especificações dos módulos XBee.....	29
Tabela 11 – Dados do Arduino UNO.....	33
Tabela 12 – Valores de RSSI passados ao Arduino.....	58

RESUMO

Este projeto de formatura visa apresentar a concepção de um sistema de localização e orientação em ambientes internos para pessoas com deficiência visual utilizando a tecnologia ZigBee. Para tal, esse sistema utilizará a indicação do nível do sinal recebido (RSSI - *Received Signal Strength Indicator*) para a guiagem através de ambientes internos. O sistema consistirá de um módulo móvel, que o deficiente visual carregará, e módulos fixos instalados nas proximidades de locais de interesse desse deficiente, como salas ou banheiros. O usuário escolherá através do módulo móvel um local de interesse e à medida que for se aproximando do local de interesse, este usuário será avisado por um comando sonoro. Este projeto busca o desenvolvimento de uma tecnologia assistiva que contribua para a independência dessas pessoas.

Palavras chave: tecnologia assistiva, deficiência visual, ZigBee, localização indoor

ABSTRACT

This graduation project aims to present the design of a system for location and guidance in indoor environments for people with visual impairment using ZigBee technology. To this end, this system uses to indicate the received signal strength (RSSI - Received Signal Strength Indicator) level for guidance through indoor environments. The system consists of a mobile module that loads the visually impaired, and fixed modules installed nearby places of interest such as rooms or bathrooms. The user chooses via the mobile module a place of interest and as you approach the site of interest, the user is warned by an audible command. This project seeks to develop an assistive technology that contributes to the independence of these people.

Keywords: assistive technology, visual impairment, ZigBee, indoor location

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Motivação.....	1
1.2 Objetivos.....	2
1.3 Estrutura da Dissertação.....	2
2 SISTEMAS DE LOCALIZAÇÃO	4
2.1 Caracterização do comportamento do sinal.....	5
2.2 Efeitos de Propagação de sinais.....	6
2.3 Tecnologias disponíveis.....	7
2.4 Parâmetros medidos e utilizados para localização interna.....	9
2.5 Métodos de localização interna.....	12
3 TECNOLOGIA ZIGBEE	15
3.1 Padrão 802.15.4.....	16
3.2 Camada Física.....	16
3.3 Camada de Enlace (MAC).....	18
3.4 Tipos de dispositivos em uma rede ZigBee.....	19
4 MATERIAIS E MÉTODOS	23
4.1 Método AHP.....	23
4.1.2 Decisão pelo método AHP.....	24
4.2 Arquitetura do sistema.....	27
4.2.1 Módulo móvel.....	27
4.2.2 Módulo fixo.....	28
4.3 Módulo XBee.....	29
4.3.1 Modos de operação do módulo XBee.....	30
4.4 A plataforma Arduino.....	31
4.4.1 <i>Hardware</i>	31
4.4.2 <i>Software</i>	32
4.4.3 O Arduino Uno.....	33
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	34
5.1 Prova de Conceito.....	34
5.1.1 Antenas monopólos de RX e TX montadas na vertical.....	36
5.1.2 Antenas monopólos de RX e TX montadas na horizontal.....	37
5.1.3 Antenas monopólos de RX e TX montadas na vertical com obstáculo entre as mesmas.....	38
5.1.4 Antena monopólo de RX na vertical e TX na horizontal.....	39
5.1.5 Análise dos resultados.....	41
5.2 Caracterização do corredor com antenas diretivas.....	42
5.2.1 Antenas Diretivas utilizadas.....	42
5.2.2 Antena diretiva em RX e antena monopolo em TX.....	44
5.2.3 Antenas diretivas em RX e TX alinhadas.....	45

5.2.4 Antenas diretivas em RX e TX defasadas de 90°.....	47
5.2.5 Análise dos resultados.....	48
5.3 Sistema desenvolvido.....	48
5.3.1 Rede ZigBee.....	48
5.3.2 Módulo fixo implementado.....	51
5.3.3 Módulo móvel implementado.....	52
5.3 Caracterização do corredor com os módulos produzidos.....	53
5.4.1 Antenas monopólo em todos os módulos.....	55
5.4.2 Antena monopólo no módulo móvel e antenas diretivas nos módulos fixos....	56
5.3.3 Antenas monopólo em todos os módulos com o módulo móvel junto ao corpo	56
5.4.4 Análise dos resultados.....	57
5.5 Testes finais.....	58
6 CONCLUSÕES	60
6.1 Trabalhos Futuros	61
REFERÊNCIAS	63
ANEXO 1 – PLANTA DO CORREDOR DO BLOCO C.....	65
APÊNDICE 1 – CÓDIGO DO PROGRAMA VB TERMINAL.....	66
APÊNDICE 2 – ESQUEMA ELÉTRICO DO MÓDULO FIXO.....	71
APÊNDICE 3 – ESQUEMA ELÉTRICO DO MÓDULO MÓVEL.....	72
APÊNDICE 4 – SOFTWARE DO MÓDULO FIXO.....	73
APÊNDICE 5 – SOFTWARE DO MÓDULO MÓVEL	75

1 INTRODUÇÃO

1.1 Motivação

Nos dias atuais é crescente a necessidade de localização de pessoas e objetos em determinados ambientes internos. Podemos citar como exemplos de aplicação os casos de localização de objetos expostos ao público em lojas, a localização de médicos em um conjunto hospitalar, ou mesmo a localização de crianças em um determinado ambiente.

Daqui também surge outra necessidade para a sociedade, que é a guiagem de pessoas em ambientes internos, necessária quando não conhecemos o ambiente ou mesmo para deficientes visuais.

Segundo o Censo do IBGE de 2010, existem no Brasil cerca de 500 mil cegos e cerca de seis milhões de pessoas com grande dificuldade de enxergar. Há um grande número de pessoas que precisam do desenvolvimento de tecnologias que as auxiliem no seu deslocamento e sua guiagem em ambientes. A Tabela 1 apresenta o número de deficientes visuais no Brasil de acordo com o Censo de 2010 do IBGE.

Tabela 1 - Números do Censo de 2010 do IBGE mostrando número de deficientes visuais no Brasil

População residente, por tipo de deficiência, segundo a situação do domicílio, o sexo e os grupos de idade - Brasil - 2010			
Situação do domicílio, sexo e grupos de idade	Visual		
	Não consegue de modo algum	Grande dificuldade	Alguma dificuldade
Total	506.377	6.056.532	29.211.482
Homens	237.538	2.437.397	12.244.750
Mulheres	268.839	3.619.135	16.966.732

Essas tecnologias voltadas para as pessoas que possuem algum tipo de deficiência são denominadas tecnologias assistivas: equipamentos, recursos, serviços, estratégias e práticas desenvolvidas para proporcionar ou ampliar as habilidades funcionais de pessoas com deficiência e, com isso, proporcionar maior independência em suas vidas.

A idéia inicial do projeto é diminuir a dependência destes deficientes de outras pessoas para sua locomoção e localização, contribuindo assim para o aumento da autoestima desse deficiente.

Neste projeto trataremos de um ambiente interno (*indoor*), portanto neste caso não poderemos fazer o uso de uma tecnologia como GPS (*Global Positioning System*), pois em um ambiente fechado o nível do sinal proveniente dos satélites é muito baixo, impossibilitando seu uso. No caso de um ambiente externo (*outdoor*) poderíamos fazer o uso dessa tecnologia.

Para a implementação de tal idéia, será necessário o desenvolvimento de uma tecnologia de baixo custo e baixo consumo de energia que atenda as necessidades do usuário.

1.2 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um sistema de localização para ambientes internos utilizando a tecnologia ZigBee. O sistema será constituído de pontos fixos de interesse, como salas, banheiros, etc., e um módulo móvel, que ficará com o deficiente visual.

O objetivo é identificar o ponto de interesse que será selecionado pelo deficiente visual no módulo móvel utilizando somente a informação da potência do sinal recebido do módulo fixo que estará nas proximidades de ponto selecionado.

1.3 Estrutura da Dissertação

Esta monografia é composta de seis capítulos. O presente capítulo faz uma introdução ao problema, mostrando a motivação para solucionar o problema abordado e os objetivos a serem alcançados.

O capítulo 2 consiste numa análise dos sistemas de localização, os fundamentos teóricos da propagação de sinais, as tecnologias disponíveis para a solução, os métodos de localização e os parâmetros utilizados para estes métodos.

O capítulo 3 consiste no estudo da tecnologia que será utilizada para a solução do problema.

O capítulo 4 apresenta os materiais e os métodos utilizados no projeto. Inicialmente é mostrada a escolha da tecnologia que será utilizada para a implementação do sistema, bem como explicar o método que foi utilizado para fazer esta escolha. Depois são apresentadas as arquiteturas dos módulos que serão construídos e por fim serão apresentados os componentes utilizados e as justificativas para a escolha desses componentes.

No capítulo 5 são descritos os diversos testes realizados e os resultados alcançados. Também é apresentado o sistema desenvolvido e os testes e resultados obtidos com esse sistema.

O capítulo 6 apresenta as conclusões referentes ao desenvolvimento da pesquisa e propõe sugestões para novos projetos e indica possíveis melhorias.

2 SISTEMAS DE LOCALIZAÇÃO

Nos últimos anos os sistemas de localização em ambientes internos têm recebido uma grande atenção dos campos de pesquisa e desenvolvimento. Esta área ganhou uma grande atenção, principalmente após a popularização dos sistemas de GPS e também após a redução de custos dos equipamentos utilizados para a implementação desses sistemas.

Em ambientes externos o sistema GPS possui uma grande eficiência para determinar a posição de um objeto. Porém em ambientes internos não é possível utilizar essa tecnologia, pois o nível do sinal proveniente dos satélites é muito baixo ou praticamente nulo.

A transmissão de sinal de RF em ambientes internos é caracterizada por baixa probabilidade de obter uma linha de visada entre o transmissor e o receptor. Diversos fenômenos interferem na propagação de sinais deste tipo. Sistemas de localização que utilizam ondas de rádio estão sujeitos a essas influências muitas vezes prejudiciais, por esse motivo é necessária uma análise teórica da propagação de sinais.

Existem muitas tecnologias que podem ser utilizadas para a elaboração dos sistemas de localização interna, como Bluetooth, WiFi (*Wireless Fidelity*), RFID (*Radio Frequency Identification*), ultrassom, UWB (*Ultra Wide Band*), ZigBee, dentre outras. Cada uma destas tecnologias possui características específicas como consumo de potência, área de cobertura, tamanho, preço, dentre outras.

Para a determinação da posição do objeto existem técnicas de localização que utilizam: as magnitudes ângulo de chegada (AOA – *Angle of Arrival*), o tempo de chegada (TOA – *Time of Arrival*), a diferença do tempo de chegada (TDOA – *Time Difference of Arrival*) e o indicador do nível de sinal recebido (RSSI – *Received Signal Strength Indicator*) para a determinação da localização do objeto.

2.1 Caracterização do comportamento do sinal

A propagação de ondas eletromagnéticas em ambientes fechados apresenta comportamentos estocásticos e nem sempre possíveis de serem caracterizados. Diversos efeitos afetam a propagação dessas ondas, sendo os principais: dependência com a distância, variabilidade de larga escala e variabilidade de pequena escala (NAJNUDEL, 2004).

Qualquer sinal tem seu nível de potência atenuado à medida que se propaga. Este fato se dá devido ao espalhamento do sinal no espaço, reduzindo a sua densidade de potência. No caso de um sinal se propagando no espaço livre (sem obstruções ou reflexões), esta atenuação tem uma relação quadrática com a distância percorrida pelo sinal. Em ambientes em que o relevo e a morfologia (ou obstáculos, como móveis, no caso de ambientes fechados) obstruem o caminho do sinal propagante, esta atenuação em relação à distância acentua-se podendo atingir uma dependência com a quarta ou quinta potência com a distância (NAJNUDEL, 2004).

A variabilidade de larga escala, também conhecida como efeito de sombreamento, está associada a flutuações do nível de potência do sinal em torno do seu valor médio, em razão das características do relevo e da morfologia do ambiente. Esta variabilidade é bem modelada por uma distribuição log-normal (ou distribuição Gaussiana, se utilizada escala logarítmica) (NAJNUDEL, 2004).

A variabilidade de pequena escala é causada por raios provenientes de um transmissor que chegam ao receptor por caminhos diferentes (efeito de múltiplo percurso). Estes diferentes caminhos implicam que os sinais cheguem ao receptor com amplitudes e fases diferentes. A fase dos raios é mais sensível a pequenos deslocamentos quanto maior a frequência do sinal transmitido. Este fenômeno também é chamado de desvanecimento (ou fading, que é descrito como a flutuação instantânea do nível de sinal). Nas faixas de 2,4 e 5,2 GHz, em que o comprimento de onda é próximo de um centímetro, pequenos deslocamentos no transmissor ou no receptor podem levar a uma configuração tal que causa profundos desvanecimentos no sinal recebido. Ao mesmo tempo, a duração destes desvanecimentos é muito curta, diferentemente dos desvanecimentos de larga escala (NAJNUDEL, 2004).

2.2 Efeitos de Propagação de sinais

Em ambientes internos é comum que o sinal emitido tenha que atravessar obstáculos como paredes, móveis, portas ou até pessoas. Os modelos de propagação mais simples desconsideram essas obstruções ao admitir que sempre há visada direta entre os pontos de comunicação. Entretanto, ao encontrar um obstáculo, a propagação do sinal pode ser afetada pelos efeitos de difração, espalhamento, reflexão e refração.

A reflexão é o efeito que ocorre quando uma onda eletromagnética incide sobre um objeto de dimensões muito maiores do que o comprimento de onda do sinal incidente. Este efeito pode implicar em uma reflexão da onda para diferentes direções e em uma atenuação na potência do sinal (JUNIOR, 2011).

A refração é o efeito que ocorre quando uma onda atravessa um meio de densidade diferente do meio em que se propagava. Por exemplo, quando uma onda no ar incide sobre a água ou uma superfície de vidro, a direção da onda incidente muda. Uma parte do sinal é refletida e outra é refratada, continuando o percurso através do obstáculo, mas em uma direção diferente (JUNIOR, 2011).

A difração é o efeito que ocorre quando o percurso de uma onda é obstruído por um obstáculo de superfície irregular ou pela extremidade de um obstáculo. Na difração cada ponto numa frente de onda se comporta como uma fonte isolada, dessa forma, haverá a formação de ondas secundárias atrás do obstáculo, mesmo que não haja linha de visada entre o transmissor e o receptor. Isso pode explicar como em ambientes fechados mesmo que um usuário não veja o outro eles mesmo assim podem se comunicar (NAJNUDEL, 2004).

O espalhamento é o efeito que ocorre quando uma onda eletromagnética incide sobre um objeto cujo tamanho é muito pequeno em relação ao comprimento de onda do sinal incidente. Este efeito obedece aos mesmos princípios físicos da difração espalhando a energia do sinal do transmissor em muitas direções (JUNIOR, 2011).

O efeito de multipercurso é causado pelos fenômenos de reflexão, difração e espalhamento. Estes fenômenos fazem com que um sinal atinja um destino por

diferentes caminhos, além do percurso em visada direta (LoS – *Line of Sight*), quando este existe. A interseção destes raios faz com que o sinal em um dado ponto no espaço seja composto pelos diversos sinais, de modo construtivo, isto é, aumentando o nível de potência do sinal, ou de modo destrutivo, diminuindo o nível de potência do sinal (NAJNUDEL, 2004).

2.3 Tecnologias disponíveis

A seguir estão listadas, sucintamente, as possíveis tecnologias que podem ser utilizadas para implementar o projeto proposto.

- Bluetooth

É uma tecnologia de comunicação sem-fio utilizada para pequenas distâncias, padronizada de acordo com o padrão IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) 802.15.1, operando de 2,4 até 2,48 GHz, sendo esta faixa pertencente à banda ISM. A cobertura desses dispositivos vai até 100 metros. Possui baixo consumo de energia para aplicações de pequenas distâncias e alto consumo para grandes distâncias.

- WiFi

Tecnologia amplamente utilizada para sistemas de localização interna. Opera segundo o padrão IEEE 802.11. Contudo, essa tecnologia possui alto consumo de energia e alto custo de implementação.

- RFID

Tecnologia amplamente utilizada para sistemas de localização interna utiliza *tags* que podem ser ativos, passivos ou passivos assistidos por bateria. Essa tecnologia utiliza algumas faixas específicas de frequência, para cada qual existe uma distância máxima. Além disso, o RFID se caracteriza pelo seu baixo custo de implementação.

- Ultrassom

Essa tecnologia utiliza sinal com frequência acima de 25 kHz, não apresenta problemas de interferência com as outras tecnologias devido a sua frequência de utilização. Possui alta precisão na determinação da posição, na casa de centímetros, porém tem alto custo de implementação.

- UWB

Tecnologia de comunicação que opera na faixa de 3,1 até 10,6 GHz, cada canal ocupa 500 MHz de banda. Com esta banda é possível ter uma resolução na casa de centímetros. Possui baixo consumo de energia. Possui alto custo de implantação.

- ZigBee

Tecnologia criada para dispositivos que utilizam uma baixa taxa de comunicação, ordem de 100 kbit/s. Pode ser operado em 2,4 GHz, ou em 868 MHz (Europa) ou em 915 MHz (EUA). Baixo consumo de energia. Custo baixo de implantação.

A Tabela 2 apresenta uma breve comparação entre as tecnologias citadas anteriormente.

Tabela 2 - Comparação entre as tecnologias (BENAVENTE-PECES et al., 2009)

Classificação/ Tecnologia	Bluetooth	WiFi	RFID	Ultrassom	UWB	ZigBee
<i>Técnica de Localização</i>	Trilateração	Trilateração	Trilateração	Multilateração	Trilateração	Trilateração/ Triangularização
<i>Variável Medida</i>	RSSI	RSSI	RSSI	TOA, TDOA	AOA, TDOA	RSSI
<i>Precisão</i>	1 - 10 m	5 - 10 m	1 m	1 cm	15 cm	1 - 10 m
<i>Distância Máxima</i>	10 m	100 m	6 m	3 m	-	75 m
<i>Custo de Implantação</i>	Baixo	Alto	Baixo	Alto	Alto	Baixo

2.4 Parâmetros medidos e utilizados para localização interna

A seguir são listados os parâmetros que cada tecnologia descrita anteriormente mede.

- AOA (Angle of Arrival)

Parâmetro que mede o ângulo de chegada de um sinal, comparando a direção do sinal recebido com uma referência. O receptor deve ter uma melhor orientação para a medida desse ângulo. Para tanto é utilizado um *array* de antenas.

A Figura 1 ilustra o parâmetro AOA.

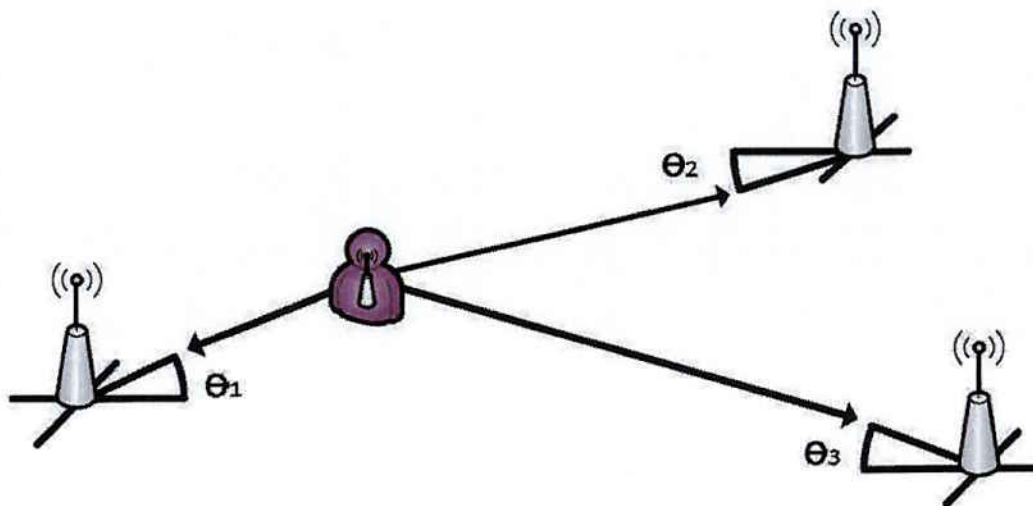


Figura 1 – Angle of Arrival – Exemplo Genérico

- TOA (Time of Arrival)

Parâmetro que mede o tempo de chegada entre um sinal emitido por um transmissor e um receptor. Duas abordagens podem ser utilizadas neste método. Uma primeira abordagem utiliza um transmissor para enviar o sinal a vários receptores e então os receptores informam o instante de chegada do sinal para um sistema central. Outra abordagem é o envio de sinais de vários transmissores para um receptor. Nesta abordagem os transmissores devem estar sincronizados e pode haver perdas de informação. É utilizado transdutor ultrassônico para a medida deste parâmetro.

A Figura 2 ilustra o parâmetro TOA.

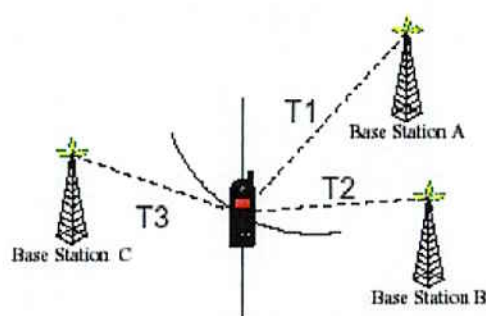


Figura 2 – Time of Arrival – Exemplo Genérico

- TDOA (Time Difference of Arrival)

Parâmetro que é um avanço do anterior, neste o problema da sincronização e da perda de informações é resolvido, pois o transmissor envia dois sinais de diferentes velocidades de propagação. Quando estes dois sinais chegam ao receptor é determinada a diferença de tempo entre eles. Para tanto é utilizado um transdutor ultrassônico para a medida deste parâmetro.

A Figura 3 ilustra o parâmetro TDOA.

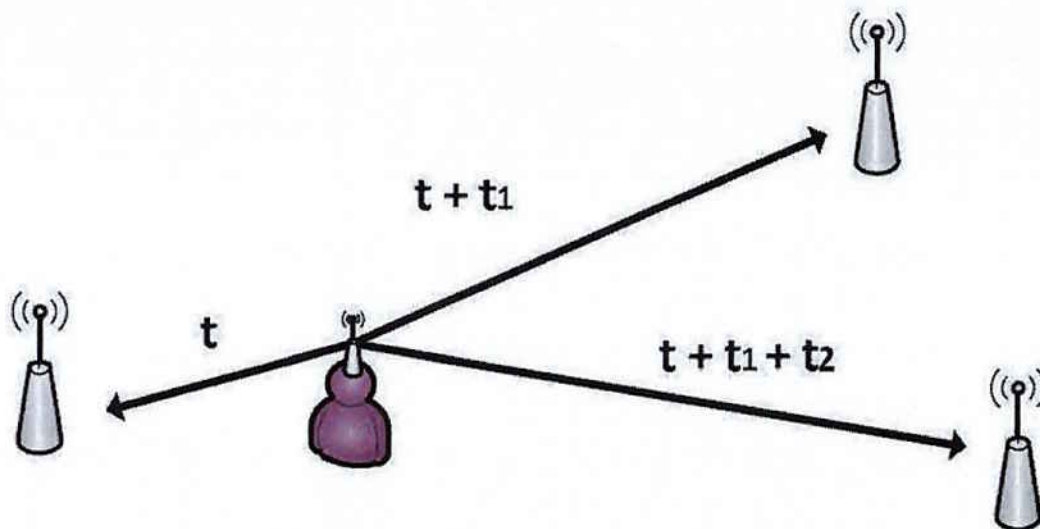


Figura 3 – Time Difference of Arrival – Exemplo Genérico

• RSSI (Received Signal Strength Indicator)

Parâmetro utilizado para determinar a distância através da perda de percurso que o sinal sofre pelo meio físico. Como a potência de transmissão é conhecida, é possível determinar a atenuação do sinal subtraindo-se a potência recebida, a qual também é sabida, da potência transmitida. Para este método é necessário caracterizar o decaimento da potência com a distância "d" no ambiente de propagação do sinal. Em ambientes externos temos a seguinte relação entre potência e distância:

$$P_r \propto \frac{1}{d^2} \quad (1)$$

Porém em ambientes internos a relação entre potência recebida, potência transmitida e distância é a seguinte:

$$P_r = \frac{P_{(d_0)}}{(d/d_0)^n} \quad (2)$$

onde P_r é a potência recebida à distância "d" do transmissor, P_{d_0} é a potência recebida à distância "d₀" e "n" é um parâmetro, de 2 a 6, que depende das

características do ambiente, sendo necessário determinar esse valor experimentalmente.

A Figura 4 ilustra o parâmetro RSSI.

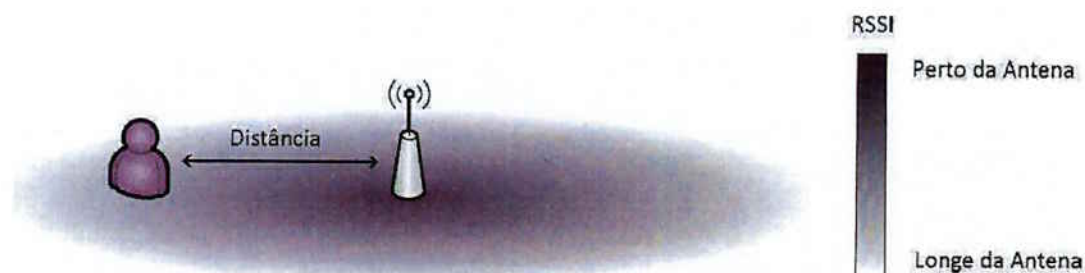


Figura 4 – Received Signal Strength Indicator – Exemplo Genérico

2.5 Métodos de localização interna

A seguir são descritos os métodos possíveis utilizados para a localização.

- Triangulação

Este método baseia-se nas propriedades do triângulo. Na aplicação deste método à prática, cada vértice do triângulo seria um transceptor com sua posição conhecida e escolhida no ambiente. Utilizando a magnitude AOA e as distâncias entre os pontos fixos é possível determinar a posição do objeto (CHUAN-CHIN PU et al., 2011).

A Figura 5 mostra um esquema do método de triangulação.

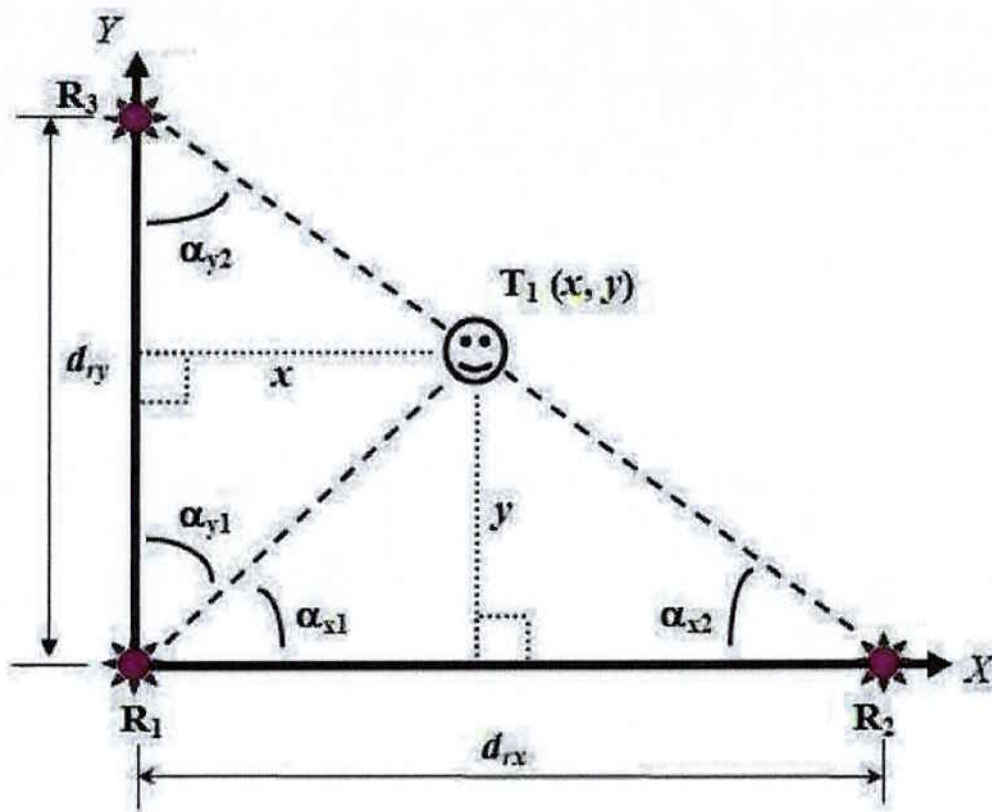


Figura 5 – Determinação da posição de um objeto (T_1) utilizando triangulação (CHUAN-CHIN PU et al., 2011).

- Trilateração

Método que consiste na determinação da posição através da distância entre o objeto e os pontos fixos, que podem ser os trancetores. Estas distâncias devem ser calculadas através de algum dos parâmetros mostrados anteriormente, sendo que comumente é utilizado RSSI para a determinação das distâncias.

São necessários pelo menos três pontos fixos para a determinação da posição do objeto. A técnica consiste no traçado de três circunferências, em que os raios são as distâncias entre o objeto e os pontos fixos. A intersecção destas circunferências determina uma região onde o objeto está.

A Multilateração é uma generalização deste método, utilizando maior número de pontos fixos (CHUAN-CHIN PU et al., 2011).

A Figura 6 apresenta o esquema do método de trilateração.

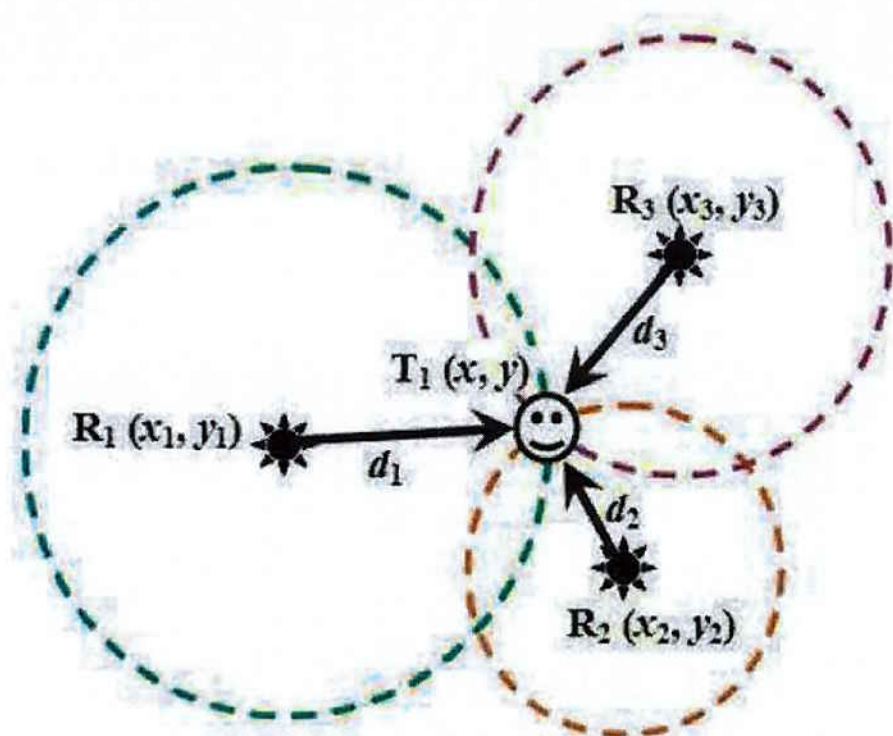


Figura 6 - Determinação de um objeto (T_1) utilizando trilateração (CHUAN-CHIN PU et al., 2011).

- Proximidade

Esta técnica obtém a localização por meio da proximidade do nó de posição desconhecida com os nós de referência em posições pré-definidas. Utiliza detecção por contacto físico ou detecção por sensores sem fio. Trata-se da técnica mais simples para sistemas de localização por não necessitar de hardware exclusivo nem algoritmos complexos para inferência de posição. Contudo, necessita da instalação de uma infra-estrutura com grande número de nós de referência, implicando geralmente, em elevada necessidade de manutenção (JUNIOR, 2011).

3 TECNOLOGIA ZIGBEE

Neste capítulo será apresentado um aprofundamento na tecnologia utilizada, será apresentada a tecnologia utilizada para a solução do problema.

A *ZigBee Alliance* surgiu a partir de um consórcio de oito empresas fundadoras: *Chipcon, Ember, Freescale, Honeywell, Mitsubishi, Motorola, Philips e Samsung*, com o propósito de criação de um protocolo padrão para redes de sensores wireless baseado no padrão IEEE 802.15.4 (HEILE, 2005).

A tecnologia ZigBee foi desenvolvida especialmente para ser utilizada em aplicações de controle e acionamento de dispositivos. Dispositivos que utilizam a tecnologia Zigbee operam em frequências não licenciadas da banda ISM: 915 MHz na América do Norte, 868 MHz na Europa e 2.4 GHz no restante do mundo. As principais características dos dispositivos ZigBee são: baixo consumo de energia (apenas 50 mA de corrente quando ativo e menos de 50 μ A quando em modo *sleep*), baixo custo e alta versatilidade da topologia de rede (pode-se trabalhar com topologias árvore, estrela e malha).

O fator decisivo para a escolha de dispositivos ZigBee está no fato de os módulos permitirem acesso à informação de RSSI. Além disso, o protocolo ZigBee apresenta diversas outras vantagens como: possibilidade de configuração automática da rede, endereçamento dinâmico de módulos escravos, controle total por *handshaking* nas transferências de pacotes, garantindo maior integridade dos dados e possibilidade de utilização de criptografia AES de 128 bits (HEILE, 2005).

ZigBee é uma tecnologia que foi originalmente desenvolvida para aplicações que não necessitem de uma alta taxa de transferência de dados. Dentre umas das características, uma rede ZigBee pode incorporar facilmente novos nós transceptores (NOH et al., 2008).

Além dos fatores citados, o protocolo ZigBee possui a vantagem de a interferência causada por outras tecnologias wireless não ser vista como obstáculo para a tecnologia ZigBee.

3.1 Padrão 802.15.4

O padrão 802.15.4 do IEEE ficou responsável pela criação das duas camadas mais baixas da tecnologia ZigBee, enquanto que a ZigBee Alliance trabalhava nas camadas superiores.

A Figura 7 mostra a pilha do protocolo ZigBee.

Usuário	Aplicação
ZigBee Alliance	Suporte a Aplicação
	Rede (NWK) / Segurança (SSP)
IEEE 802.15.4	MAC
	PHY

Figura 7 – Pilha do protocolo ZigBee

3.2 Camada Física

A camada física (PHY) do ZigBee segue o protocolo 802.15.4 e é responsável por permitir a transmissão das PDUs (*Protocol Data Units*), unidades de dados, através de ondas de rádio. A PHY utiliza a modulação DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*) que incorpora em cada bit de dado um padrão de redundância e os espalha pela largura de banda utilizada. Essa redundância permite não só que o dado seja identificado como pertencente a um determinado nó, como facilita a detecção de erros.

Ao espalhar os dados em todas as frequências da banda, o sinal resultante se assemelha cada vez mais a um ruído, tornando-se mais robusto a interferências. Após ser feito a DSSS, o sinal é modulado em uma portadora para transmissão.

A Tabela 3 mostra os diferentes dados para as determinadas faixas de frequência de operação.

Tabela 3 – Bandas de frequência e taxas de dados

PHY (MHz)	Banda de Frequência (MHz)	Parâmetros dos Dados				Modulação
		Taxa de bit (kbits/s)	Taxa de símbolo	Número de canais	Símbolos	
868/915	868 - 868,6	20	20	1	Binário	BPSK
	902 - 928	40	40	10	Binário	BPSK
2450	2400 - 2483,5	250	62,5	16	16 símbolos	O-QPSK

As faixas de frequência utilizadas são as frequências livres de 2.4 GHz (global), 915 MHz (Américas) e 868 MHz (Europa). Cada uma das faixas implica em uma taxa de transmissão, número de canais e espectros diferentes.

A Figura 8 mostra as bandas de frequência e seus espectros.

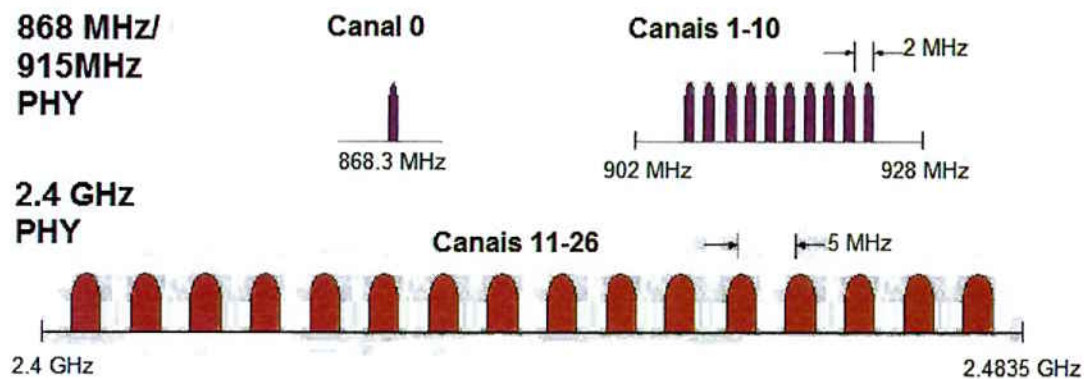


Figura 8 - Bandas de frequência

Outras responsabilidades da camada física são:

- **Indicar qualidade de conexão:** ao receber um pacote, o nó receptor envia de volta um pacote LQ (*Link Quality*) que determina qualidade do sinal de conexão. O valor desse pacote é calculado pelas camadas superiores de Rede e Aplicações de acordo com a relação sinal-ruído e o valor do pacote ED (*Energy Detection*).

- **Detectar potência dos canais:** a detecção e manipulação desse dado são feitas na camada de rede para definir algoritmos de escolha de canais. O ED representa em oito bits a relação em dB da potência recebida nos canais em relação a sua mínima sensibilidade. Dessa forma, os nós irão direcionar a informação por um bom caminho dentro da topologia.

- **Reportar canais livres (CCA - Clear Channel Assesment)**: a camada física determina se os canais estão ocupados de acordo com o *Carrier Sense* dos sinais em DSSS e/ou caso o parâmetro ED esteja acima do limite do canal.

O formato da PDU (*Protocol Data Units*) após a manipulação da camada física é, basicamente, um sinal de sincronismo (SHR), um bloco de informação (PHR), e um bloco de *payload* que representa a PDU vinda da camada superior de enlace.

A Figura 9 ilustra o formato da PDU.

Bytes	4	1	1	n
Camada Física	Sequência de Preâmbulo	Delimitador de início de quadro	Comprimento do quadro	MAC PDU
	SHR		PHR	
	6+n			
	PHY PDU			

Figura 9 – Formato da PDU

3.3 Camada de Enlace (MAC)

A camada MAC do padrão 802.15.4 é responsável pelo processo do encapsulamento dos dados vindo das camadas superiores preparando-os para serem transmitidos.

O modo de operação define a principal característica da rede com ZigBee: baixo consumo de potência.

Auxiliada pela baixa taxa de transmissão, a capacidade de reduzir seu *duty cycle* permanecendo inativo faz com que o dispositivo possa ser alimentado com baterias que acabam tendo uma grande vida útil.

Há dois modos de operação em uma rede ZigBee:

- **Modo Beacon**: neste modo os roteadores transmitem periodicamente uma sinalização (*beacon*), de modo a confirmar sua presença aos outros dispositivos da rede, deste modo, os dispositivos que "escutam" o *beacon* só devem estar ativos no momento da transmissão deste. Assim, é possível manter os dispositivos no modo

suspenso entre as sinalizações do *beacon*, aumentando a eficiência energética do sistema.

- **Modo Non-Beaconing:** neste modo os receptores estão constantemente ativados. Este modo possui uma eficiência energética mais reduzida quando comparado ao modo *beacon*.

3.4 Tipos de dispositivos em uma rede ZigBee

O padrão IEEE define para as redes ZigBee dois tipos de dispositivos: os de função reduzida (RFD - *Reduced Function Device*), e os de função completa (FFD - *Full Function Device*).

Dispositivos FFD são aqueles aptos a funcionar em qualquer um dos modos de operação do padrão: coordenador, roteador ou dispositivo final. Podem se comunicar tanto com outros FFD quanto com dispositivos RFD.

Os dispositivos RFD, por sua vez, são dispositivos que só podem se comunicar com dispositivos FFD. Dessa forma fica claro que esses dispositivos poderão atuar apenas como elementos finais da rede. São dispositivos mais simples e de menor custo, visando um consumo de energia ainda mais reduzido.

De acordo com a disponibilidade de funções do dispositivo (FFD ou RFD) e sua posição na rede, os nós podem ser classificados como: coordenadores, roteadores ou dispositivos finais. Uma rede ZigBee pode ter 255 nós e podem ser alocados até 65535 dispositivos.

- **Coordenador:** dispositivo único na rede, que forma a raiz da rede e que pode conectar-se a outras redes. Armazena informações sobre a rede e como escolher um melhor canal.

- **Roteador:** executa a função do aplicativo e pode transmitir dados de outros dispositivos.

- **Dispositivo final:** apenas se comunica com um coordenador ou com um roteador. Não transmite dados de outros dispositivos. Possui modo *sleep*, o que possibilita economizar bateria.

A Figura 10 exemplifica um possível modelo de rede ZigBee.

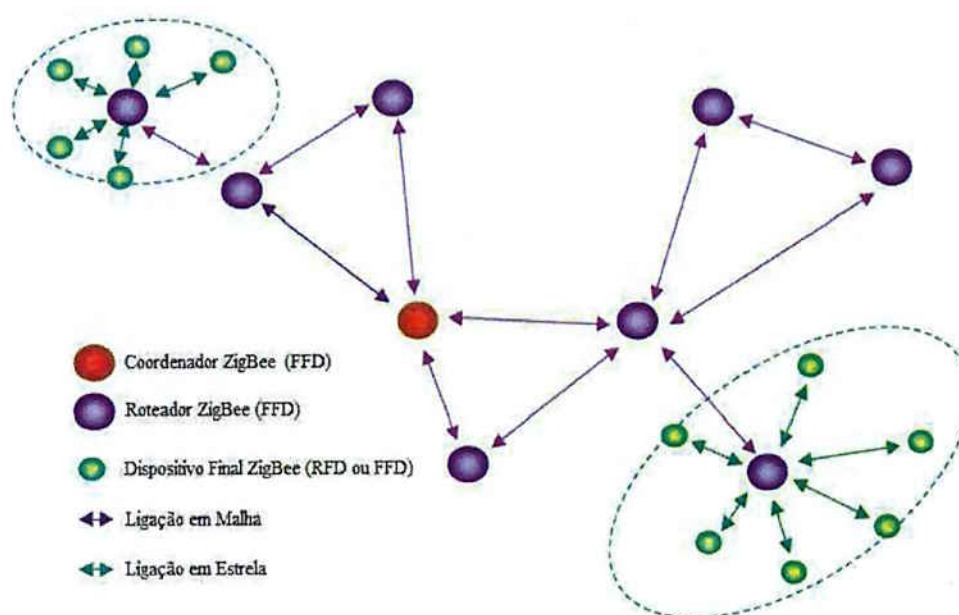


Figura 10 - Exemplo de rede ZigBee

Podem ser utilizadas as seguintes topologias de rede: árvore, estrela, *mesh* e formas híbridas.

- **Árvore:** Essa topologia pode ser exemplificada como um aglomerado de redes com topologia malha, ligados por um coordenador PAN, que ficará responsável pela rede.

O coordenador PAN formará o primeiro cluster se estabelecendo como um coordenador do aglomerado (CLH - *Cluster Head*), estipulando um identificador para esse *cluster* (CID - *Cluster Identifier*), através da escolha de um identificador PAN (PID) ocioso.

O dispositivo fará a transmissão do *beacon frame*, anunciando a existência da rede. Algum dispositivo que tenha recebido o *beacon frame* pode requisitar sua entrada na rede, no CLH em questão. Se o coordenador PAN permitir a entrada do

novo dispositivo ele será adicionado como um novo dispositivo filho em sua listagem de vizinhos. Os dispositivos recém adicionados irão se estabelecer, e, assim como seus "pais", enviarão *beacon frames* buscando novos candidatos a se juntarem a rede. O coordenador PAN pode instruir um dispositivo a se tornar o CLH de um novo aglomerado adjacente ao primeiro.

A principal vantagem dessa estrutura em árvore é aumentar a área de cobertura, pagando o custo de aumentar o atraso da mensagem.

A Figura 11 mostra um exemplo de representação de uma rede em árvore.

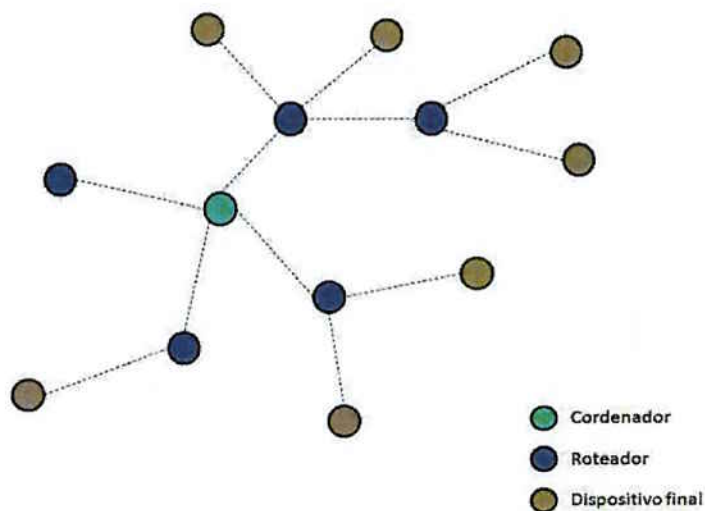


Figura 11 – Representação de uma rede em árvore

- **Estrela:** Na topologia estrela a conexão é realizada entre os dispositivos e um único coordenador central, que é chamado de coordenador PAN. Quando um FFD for ativado pela primeira vez ele pode estabelecer sua própria rede e se tornar o coordenador PAN. Cada rede vai funcionar com um identificador PAN, diferente dos usados por outras redes que estejam dentro da região de influência das ondas de rádio, permitindo que cada uma das redes opere individualmente.

A Figura 12 mostra um exemplo de representação de uma rede em estrela.

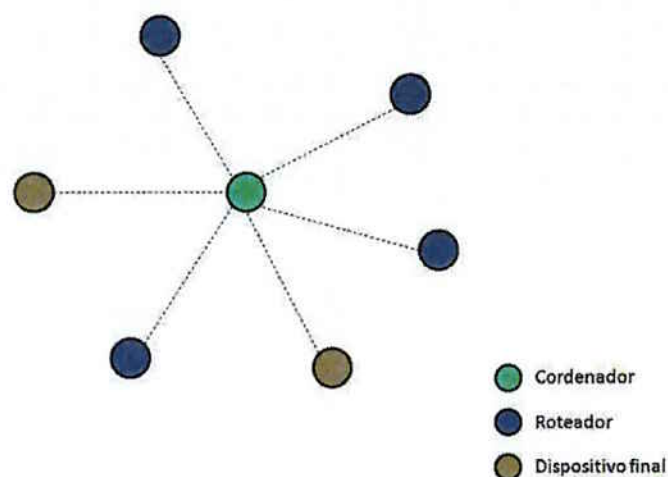


Figura 12 – Representação de uma rede em estrela

- **Mesh:** A topologia *mesh*, também conhecida como *peer-to-peer* ou em malha, também tem apenas um coordenador PAN. Nessa topologia todos os dispositivos podem se comunicar entre si desde que estejam dentro do alcance. Essa topologia pode ser considerada uma rede *ad hoc*, com capacidade de se auto-organizar e de se auto-estruturar.

Essa configuração permite também múltiplos caminhos ligando um dispositivo aos outros dispositivos da rede, de forma a permitir uma maior robustez na rede.

A Figura 13 mostra um exemplo de representação de uma rede *mesh*.

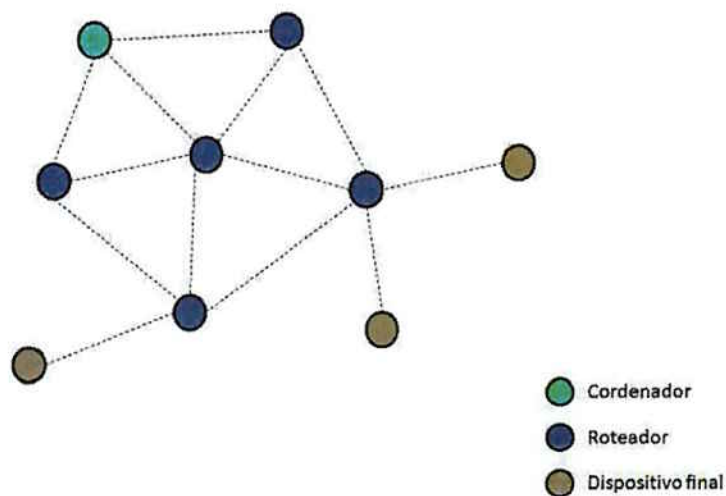


Figura 13 – Representação de uma rede *mesh*

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Nessa seção será apresentada inicialmente a metodologia utilizada para a escolha da tecnologia que será a utilizada na solução do problema. Na sequência, serão apresentadas as arquiteturas dos módulos fixos e do módulo móvel. Depois serão mostrados os componentes utilizados na produção desses módulos. Por fim, serão apresentadas as características desses materiais que serão utilizados para a produção dos módulos.

4.1 Método AHP

O AHP é um método de auxílio à tomada de decisão, foi desenvolvido por Thomas Saaty na década de 1970 com o objetivo voltado à tomada de decisões na área militar.

Seu objetivo é desenvolver modelos para a tomada de decisão com base multicriterial. O AHP fornece um procedimento compreensivo e racional para estruturar um problema, para representar e quantificar seus elementos, para relacionar estes elementos com as metas globais e para avaliar soluções alternativas. É utilizado pelo mundo todo em uma ampla variedade de situações de decisões, em campos como governo, negócios, indústria, saúde e educação.

Sua metodologia basicamente consiste em duas etapas: determinar os pesos relativos entre os critérios de decisão e determinar as prioridades entre as alternativas levantadas.

Para verificação da consistência dos critérios estabelecidos, é calculada a razão de consistência (RC) para determinar se os critérios são razoáveis. Caso RC for menor que 0,10 os critérios são razoáveis, se RC for maior que 0,10, os critérios devem ser revisados.

4.1.2 Decisão pelo método AHP

Para a escolha do módulo que será utilizado no projeto, utilizaremos o método AHP de decisão multicriterial. Deve-se então criar uma matriz com os critérios que balizarão a escolha do módulo a ser utilizado no projeto.

Deverão ser estabelecidos os critérios que serão responsáveis por balizar a escolha da tecnologia que será utilizada para o desenvolvimento do projeto. Os critérios escolhidos são: consumo de energia (potência consumida), custo de implantação e alcance *indoor*.

A Tabela 4 mostra os dados dos critérios escolhidos para as tecnologias disponíveis. Os dados foram obtidos de sites de fornecedores desses componentes. Não foram encontrados dados relativos à tecnologia UWB.

Tabela 4 – Dados técnicos das tecnologias

	Bluetooth	RFID	ZigBee	Ultrassom	WiFi
<i>Alcance máximo</i>	10 m	6 m	75 m	3 m	100 m
<i>Potência Consumida (valores aproximados)</i>	0,1 W	0,3 W	0,5 W	0,5 W	1,5 W
<i>Custo aproximado dos módulos</i>	R\$ 300,00	R\$ 120,00	R\$ 100,00	R\$ 200,00	R\$ 150,00

O critério de alcance *indoor* foi escolhido porque é desejado que o módulo do usuário seja detectado pelos módulos fixos a uma distância razoável.

O critério de consumo de energia (potência consumida) foi escolhido porque este é um requisito do projeto. O sistema deverá ter um baixo consumo de potência, que possibilitará o seu funcionamento sem substituição de bateria por muito tempo.

O critério de custo de implantação foi escolhido porque o orçamento para o desenvolvimento do projeto é reduzido. Este critério será o de maior importância, pois poderá comprometer a compra dos outros materiais e, conseqüentemente, todo o desenvolvimento do projeto.

A Tabela 5 mostra os critérios escolhidos, bem como os pesos relativos entre esses critérios.

Tabela 5 - Critérios de escolha do método AHP

Atributo	A	C	PC	Peso dos Critérios		Autovetor
<i>Alcance (A)</i>	1,000	0,143	0,333	0,362	0,088	0,123
<i>Custo (C)</i>	7,000	1,000	3,000	2,759	0,669	0,933
<i>Potência Consumida (PC)</i>	3,000	0,333	1,000	1,000	0,243	0,338
$\lambda_{MAX} = 3,007$ RC = 0,0067				4,121	1,000	

Como o valor da razão de consistência (RC) ficou abaixo de 0,10, os julgamentos estão razoáveis.

A Tabela 6 mostra a comparação entre as tecnologias no critério de alcance *indoor*.

Tabela 6 - Comparação entre as tecnologias no critério de alcance *indoor*

Alcance	<i>Bluetooth</i>	<i>RFID</i>	<i>ZigBee</i>	<i>Ultrassom</i>	<i>WiFi</i>	Peso dos Critérios		Autovetor
<i>Bluetooth</i>	1,000	3,000	0,200	4,000	0,167	0,833	0,105	0,176
<i>RFID</i>	0,333	1,000	0,200	3,000	0,143	0,491	0,062	0,102
<i>ZigBee</i>	5,000	5,000	1,000	7,000	0,333	2,255	0,284	0,476
<i>Ultrassom</i>	0,250	0,333	0,143	1,000	0,111	0,266	0,034	0,056
<i>WiFi</i>	6,000	7,000	3,000	9,000	1,000	4,082	0,515	0,853
$\lambda_{MAX} = 5,3382$ RC = 0,0762						7,927	1,000	

Como o valor da razão de consistência (RC) ficou abaixo de 0,10, os julgamentos estão razoáveis.

A Tabela 7 mostra a comparação entre as tecnologias no critério de custo.

Tabela 7 - Comparação entre as tecnologias no critério de custo

Custo	<i>Bluetooth</i>	<i>RFID</i>	<i>ZigBee</i>	<i>Ultrassom</i>	<i>WiFi</i>	Peso dos Critérios		Autovetor
<i>Bluetooth</i>	1,000	0,143	0,111	0,333	0,200	0,254	0,036	0,062
<i>RFID</i>	7,000	1,000	0,333	3,000	2,000	1,695	0,239	0,414
<i>ZigBee</i>	9,000	3,000	1,000	5,000	4,000	3,519	0,496	0,861
<i>Ultrassom</i>	3,000	0,333	0,200	1,000	2,000	0,833	0,117	0,211
<i>WiFi</i>	5,000	0,500	0,250	0,500	1,000	0,792	0,112	0,198
$\lambda_{MAX} = 5,2384$ RC = 0,0537						7,094	1,000	

Como o valor da razão de consistência (RC) ficou abaixo de 0,10, os julgamentos estão razoáveis.

Tabela 8 - Comparação entre as tecnologias no critério de potência consumida

Potência	Bluetooth	RFID	ZigBee	Ultrassom	WiFi	Peso dos Critérios		Autovetor
Bluetooth	1,000	3,000	5,000	5,000	9,000	3,680	0,504	0,879
RFID	0,333	1,000	2,000	2,000	7,000	1,563	0,214	0,359
ZigBee	0,200	0,500	1,000	1,000	7,000	0,931	0,127	0,219
Ultrassom	0,200	0,500	1,000	1,000	7,000	0,931	0,127	0,219
WiFi	0,111	0,143	0,143	0,143	1,000	0,200	0,027	0,050
$\lambda_{MAX} = 5,2264$ RC = 0,051						7,306	1,000	

Como o valor da razão de consistência (RC) ficou abaixo de 0,10, os julgamentos estão razoáveis.

Agora é necessário fazer a determinação do melhor resultado que atenda aos critérios estabelecidos anteriormente. Para isso, multiplicaremos a matriz dos autovetores dos critérios pela matriz dos pesos. O método que possuir o maior valor será o mais indicado, com base nos critérios e pesos estabelecidos.

A Tabela 9 mostra o resultado do método AHP.

Tabela 9 – Resultado do método AHP

	Autovetores			Pesos	Resultado
	Alcance	Custo	Potência		
Bluetooth	0,176	0,062	0,879	0,164	0,377
RFID	0,102	0,414	0,359	0,871	0,520
ZigBee	0,476	0,861	0,219	0,463	0,936
Ultrassom	0,056	0,211	0,219		0,278
WiFi	0,853	0,198	0,050		0,306

Portanto, a tecnologia ZigBee é considerada a melhor alternativa à solução do problema. Ela será adotada para o projeto e desenvolvimento do sistema.

A tecnologia RFID, que obteve o segundo melhor resultado, será adotada como alternativa à solução por ZigBee.

4.2 Arquitetura do sistema

Nesta seção será apresentado o sistema desenvolvido. Inicialmente será mostrado como os componentes foram alocados na rede ZigBee, mostrando como o módulo móvel e o módulo fixo foram configurados.

Posteriormente será mostrado como os módulos fixos e o módulo móvel foram construídos, em nível de *hardware* e *software*.

4.2.1 Módulo móvel

O módulo móvel, que ficará com o deficiente visual, deverá ter a representação que é mostrada na Figura 14.

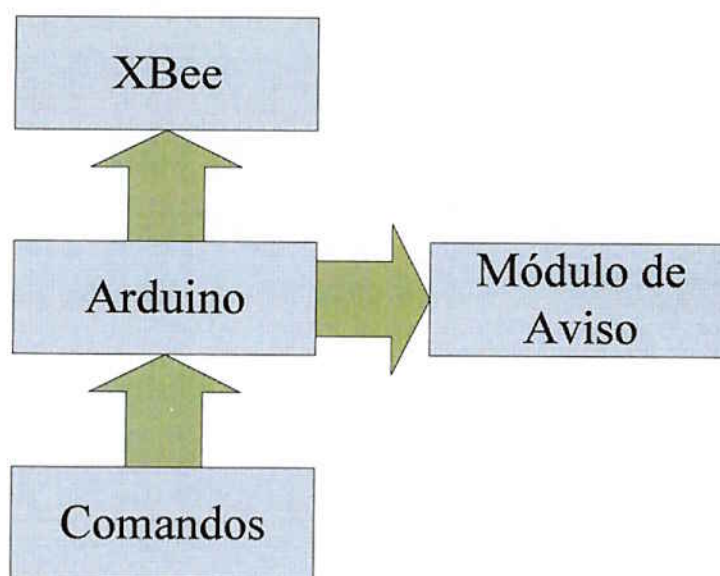


Figura 14 - Diagrama de blocos do módulo móvel

O *hardware* do módulo móvel consistirá de um Arduino UNO, um módulo XBee-PRO, um *shield* para ligação do Arduino com o módulo XBee, um circuito integrado sintetizador de voz WT588D-U, um auto-falante de 4Ω e 0,5W e quatro botões de seleção.

O Arduino será ligado ao módulo XBee através de um *shield*, que permite que a placa Arduino comunique-se com o módulo XBee. A Figura 15 mostra o *shield* que é utilizado.



Figura 15 – Shield de conexão do XBee com o Arduino

O módulo de aviso será o circuito integrado WT588D-U, possui 32MB de memória *flash* e será utilizado no modo *One Wire*, em conjunto com auto-falante, que quando acionado emitirá um aviso sonoro indicando o nome do ponto selecionado.

4.2.2 Módulo fixo

O módulo fixo, que ficará nas proximidades dos pontos de interesse, deverá ter a representação que é mostrada na Figura 16.

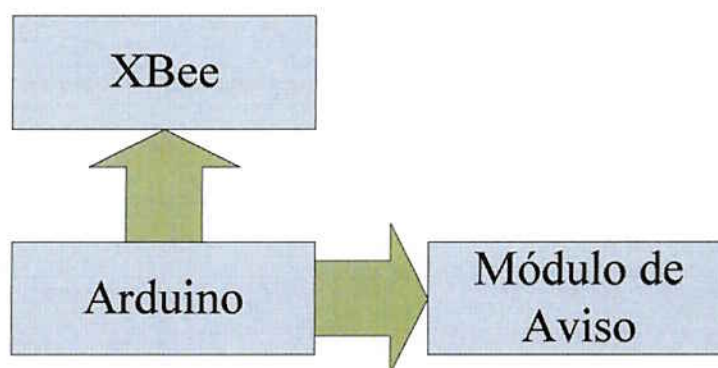


Figura 16 - Diagrama de blocos do módulo fixo

O *hardware* dos módulos móveis consistirão de um Arduino UNO, um módulo XBee-PRO, um *shield* para ligação do Arduino com o módulo XBee e um *buzzer*.

O módulo de aviso será um *buzzer* ligado ao Arduino. Quando o usuário estiver nas proximidades do ponto selecionado, será emitido um aviso sonoro pelo *buzzer*, indicando assim a exata localização do ponto de interesse.

4.3 Módulo XBee

As principais características relativas ao desempenho e especificações elétricas dos módulos XBee utilizados são apresentadas na Tabela 10.

Tabela 10 – Especificações dos módulos XBee

ESPECIFICAÇÕES	XBEE	XBEE-PRO
Alcance Indoor	30m	90m
Alcance Outdoor em visada direta	90m	1500m
Potência máxima de transmissão	2mW (3dBm)	63mW (18dBm)
Taxa de dados	250Kbps	250Kbps
Sensibilidade do receptor	-92dBm	-100dBm

Foram utilizados para este projeto três módulos, sendo todos do modelo XBee-PRO, todos da Série 2. Para a configuração dos módulos foi utilizada uma placa da *MaxStream*, onde os módulos XBee eram conectados a um computador portátil para sua configuração. Para realizar a interface entre o módulo XBee e a porta USB do computador, utilizou-se a placa XBIB-U-DEV, apresentada na Figura 21, da *MaxStream*. Esta placa utiliza um driver para simular uma porta serial por meio de uma porta USB, esta porta simulada é chamada de “porta serial virtual”.

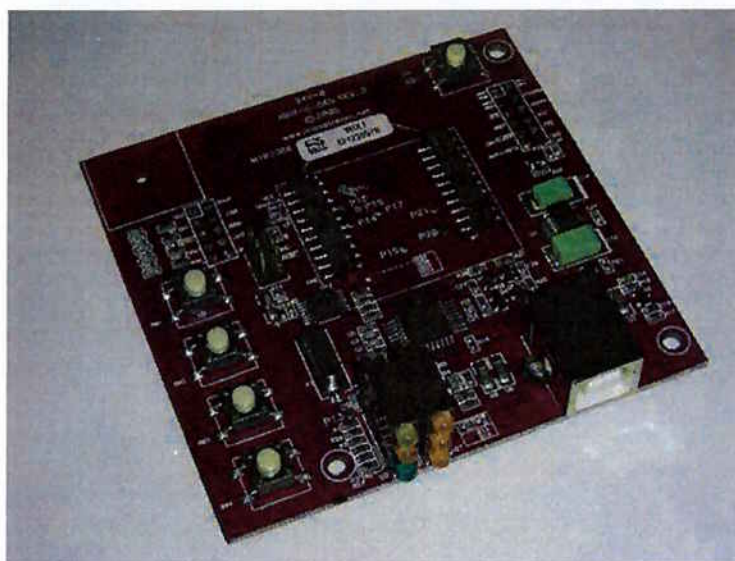


Figura 17 – Placa de interface da *MaxStream*

4.3.1 Modos de operação do módulo XBee

Os dispositivos XBee podem trabalhar em dois modos de operação: modo Transparente (AT) e modo API (do inglês, *Application Programming Interface*).

- Modo Transparente (AT)

Este é o modo de operação por default para os módulos XBee e XBee-PRO. Quando operando neste modo, o módulo trabalha como um transmissor de dados seriais: os dados inseridos pelo pino de entrada da comunicação serial são transmitidos via RF, e todo dado recebido via RF pela antena é enviado pelo pino de saída da comunicação serial. Dessa forma, os dados são transmitidos e recebidos da mesma forma que uma comunicação Serial RS232 padrão. Os módulos dispõem de Buffers de transmissão e recepção para uma melhor performance na comunicação serial.

- Modo API

Esse modo de operação baseia-se em *frame* e estende o nível para o qual uma aplicação pode interagir com as capacidades de rede do módulo. No modo API, os dados transmitidos e recebidos estão contidos em frames, que definem operações ou eventos dentro do módulo. Este modo de operação provê benefícios como, por

exemplo, o envio de dados para múltiplos destinos sem necessidade de entrar no modo de comando, recebimento de mensagens de sucesso ou falha após cada envio de dados e identificação do endereço do módulo que enviou a mensagem recebida.

O modo de operação API foi o escolhido para este projeto. A justificativa para esta escolha é porque ocorrerá a comunicação de diversos módulos ao mesmo tempo de operação, o que seria muito mais complicado no modo transparente.

4.4 A plataforma Arduino

O Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica de *hardware* livre, projetada com um microcontrolador Atmel, com suporte de entrada/saída embutido na placa e uma linguagem de programação própria, semelhante ao Java.

O objetivo principal da concepção do Arduino foi criar uma ferramenta acessível, de baixo custo e flexível, ideal para as pessoas que não tivessem alcance a placas mais sofisticadas.

A Figura 18 mostra diversos modelos existentes de Arduinos.

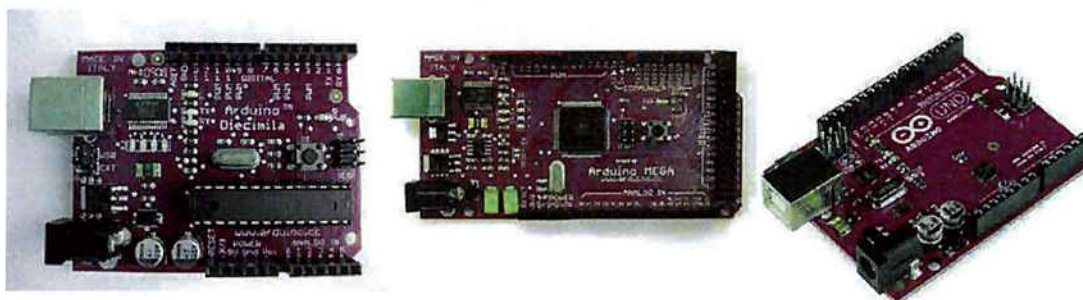


Figura 18 – Diversos modelos de Arduinos

4.4.1 Hardware

Um Arduino consiste basicamente de um microcontrolador Atmel AVR de oito bits com componentes que facilitam a programação e interface com outros

dispositivos. Um ponto importante é a padronização dos seus conectores, permitindo que a placa possa ser ligada a diversos módulos expansivos, denominados *shields*.

Os Arduinos originais utilizam comumente os microcontroladores ATmega8, ATmega168, ATmega328 e ATmega1280, porém muitos outros microcontroladores são utilizados em placas “clones”.

A grande maioria de placas inclui um regulador linear de 5 volts e um oscilador de cristal de 16 MHz. Além de ser microcontrolador, o componente também é pré-programado com um *bootloader* que simplifica o carregamento de programas para o chip de memória flash embutido, comparado com outros aparelhos que usualmente necessitam de um chip programador externo.

A interface do Arduino com o computador, para a transferência do software, se dá usualmente por uma conexão serial RS-232, podendo variar entre as versões existentes. Suas placas seriais contêm um simples circuito inversor para converter entre os sinais dos níveis RS-232 e TTL. Atualmente, existem alguns métodos diferentes para realizar a transmissão dos dados, como por placas programáveis via USB, adicionadas através de um chip adaptador USB-para-Serial como o FTDI FT232.

4.4.2 Software

O Arduino IDE é uma aplicação multiplataforma escrita em Java derivada dos projetos *Processing* e *Wiring*. É esquematizado para introduzir a programação a pessoas não familiarizadas com o desenvolvimento de software. Inclui um editor de código com recursos de realce de sintaxe, parênteses correspondentes e indentação automática, sendo capaz de compilar e carregar programas para a placa com um único clique. Com isso não há a necessidade de editar *Makefiles* ou rodar programas em ambientes de linha de comando.

Tendo uma biblioteca chamada “*Wiring*”, ele possui a capacidade de programar em C/C++. Isto permite criar com facilidade muitas operações de entrada e saída, tendo que definir apenas duas funções no pedido para fazer um programa funcional:

- `setup()` – Inserida no início, na qual pode ser usada para inicializar configuração, e
- `loop()` – Chamada para repetir um bloco de comandos ou esperar até que seja desligada.

4.4.3 O Arduino Uno

Para o controle dos módulos XBee foi utilizado o modelo Arduino Uno por ser uma placa fácil de ser encontrada no mercado, com um preço baixo (um clone de Arduino Uno pode ser encontrado em um site de compra chinês por volta de R\$20,00) e também por possuir uma memória *flash* de 32 kB, o que tornaria possível a implementação dos códigos de controle do XBee.

A Figura 19 mostra a placa Arduino UNO que foi utilizada no projeto.



Figura 19 – Placa Arduino UNO

A Tabela 11 mostra alguns dados da placa Arduino UNO

Tabela 11 – Dados do Arduino UNO

Microcontrolador	ATmega328
Tensão de Operação	5V
Tensão de Entrada (Recomendada)	7-12V
Tensão de Entrada (Limites)	6-20V
Números de pinos digitais de I/O	14
Números de pinos de entrada analógica	6
Memória <i>Flash</i>	32 KB
<i>Clock</i>	16 MHz

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção serão apresentados os testes e os resultados obtidos com o sistema implementado. Na primeira parte será mostrada a prova de conceito realizada no primeiro semestre, mostrando que era possível a utilização da tecnologia proposta para a solução do problema. Já na segunda parte será mostrada a caracterização do corredor com antenas diretivas e também as características das antenas utilizadas. Na sequência será mostrado o sistema implementado e por fim serão apresentados os testes realizados no cenário proposto com o sistema desenvolvido.

5.1 Prova de Conceito

A prova de conceito é um termo que é utilizado para denominar um modelo prático que possa provar ou demonstrar a viabilidade do conceito teórico levantado por um artigo ou alguma pesquisa. O experimento da prova de conceito é usualmente simples e resumido.

A prova de conceito utilizada foi a medição do parâmetro RSSI em função da distância no corredor do bloco C do prédio da elétrica, onde será instalado o sistema.

A medida desse parâmetro será de suma importância, pois o princípio da orientação em ambientes internos será fundamentado neste parâmetro. Então, é necessária a verificação de como este parâmetro varia de acordo com a distância no corredor.

Para a verificação da variação do parâmetro RSSI no corredor, foram utilizados os seguintes componentes: dois módulos XBee, um módulo Arduino, um *shield* da *MaxStream*, responsável pela comunicação entre o módulo XBee e o computador, e duas antenas monopólo omnidirecionais.

Foram feitas as medidas do parâmetro RSSI, variando a distância, nas seguintes situações: módulos com visada direta e antenas do transmissor e receptor na vertical, módulos com visada direta e antenas na horizontal, módulos com visada

direta e antena do transmissor na horizontal e do receptor na vertical e, por último, módulos com obstáculo entre eles e antenas na vertical.

O módulo receptor teve os seguintes componentes: um módulo XBee, o *shield* da *MaxStream* e uma antena monopólo omnidirecional. Já o módulo transmissor teve os seguintes componentes: um módulo XBee, uma placa Arduino Uno, um *shield* para a interligação entre o XBee e o Arduino, uma antena monopólo omnidirecional e uma fonte de alimentação para o Arduino.

A metodologia de medição estabelecida foi a seguinte: a módulo receptor ficou fixo no meio do corredor e o módulo transmissor moveu-se ao longo do meio do corredor em posições predeterminadas. Em cada ponto foram realizadas 50 aquisições com intervalo de 100 ms entre medidas sucessivas.

A Figura 20 mostra os módulos utilizados na prova de conceito.

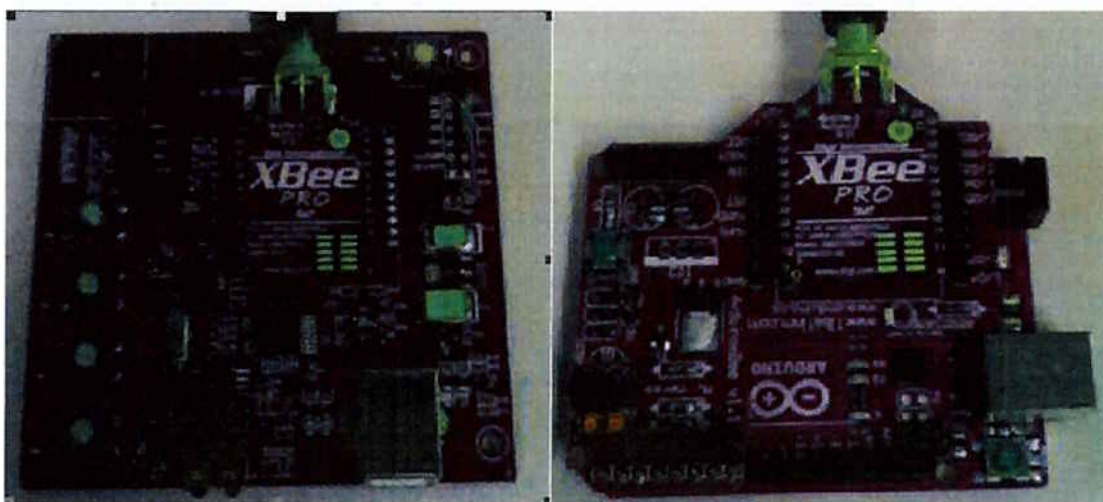


Figura 20 – Módulos XBee utilizados na prova de conceito. À esquerda, módulo RX e à direita, módulo TX

Para a comunicação entre o computador e o módulo XBee receptor foi desenvolvido o programa VB Terminal, responsável pela aquisição do valor RSSI referente aos dados enviados pelo transmissor. O código do programa encontra-se no Apêndice 1.

A Figura 21 mostra a interface do programa VB Terminal.

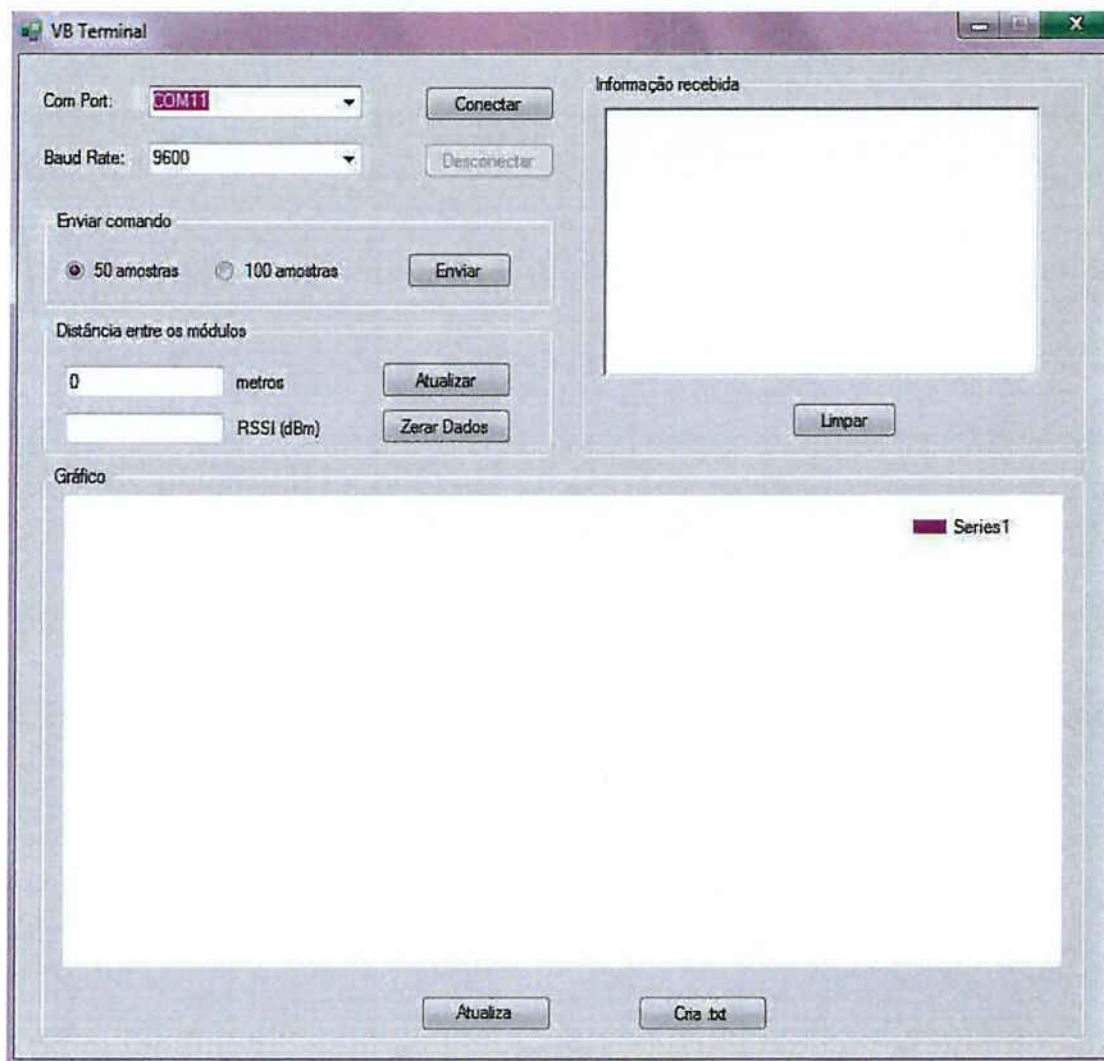


Figura 21 – Interface do programa VB Terminal

5.1.1 Antenas monopólo de RX e TX montadas na vertical

A Figura 22 mostra os resultados obtidos para a configuração dos módulos com visada direta e as antenas orientadas na vertical, com configuração de 50 amostras de RSSI para cada valor da distância.

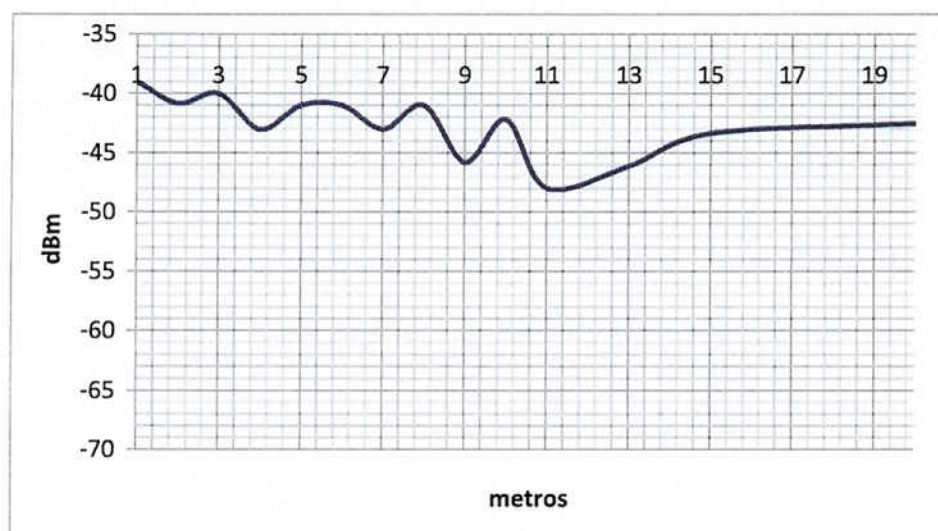


Figura 22 – Gráfico de RSSI em função da distância para as antenas monopólos de RX e TX montadas na vertical

Em um ambiente externo, esta curva tem um comportamento monotônico decrescente, sendo que o valor de RSSI é proporcional ao inverso da distância ao quadrado.

Porém em ambientes internos isto não é verificado, como identificado no gráfico acima. O valor da potência recebida teve um comportamento decrescente, porém não monotônico, com o aumento da distância, devido a efeitos de refração, reflexão, difração e espalhamento que o sinal sofre ao longo do percurso.

5.1.2 Antenas monopólo de RX e TX montadas na horizontal

A Figura 23 mostra os resultados obtidos para a configuração dos módulos com visada direta e antenas na horizontal, com configuração de 50 amostras de RSSI para cada valor da distância.

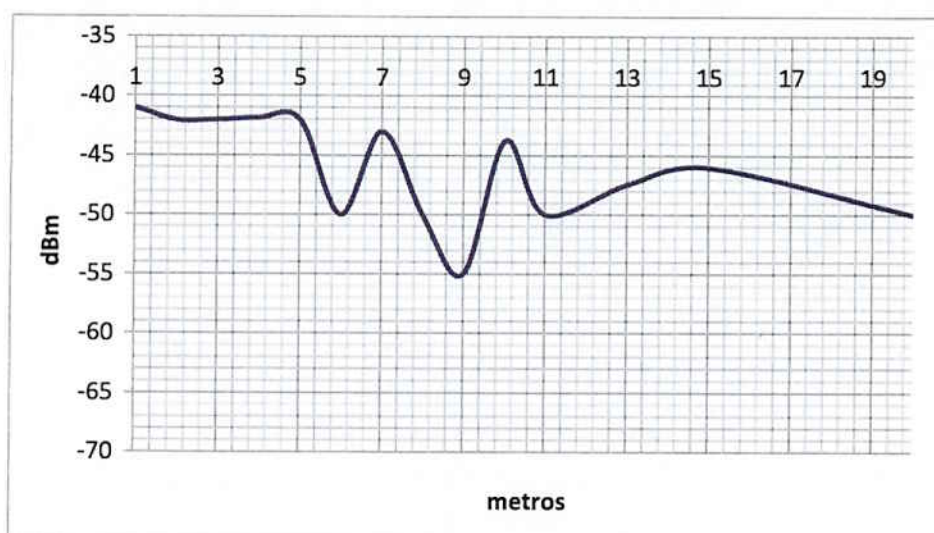


Figura 23 - Gráfico de RSSI em função da distância para as antenas monopólos de RX e TX montadas na horizontal

Quando as antenas monopólo foram posicionadas horizontalmente, houve radiação de sinal em direção ao teto e ao solo, alterando-se a condição de reflexão do sinal no ambiente.

Verificou-se experimentalmente que no caso da configuração das antenas na horizontal, também houve um comportamento decrescente, porém não monotônico, do nível do sinal RSSI ao aumentar a distância entre os módulos. Houve uma maior variação do valor da potência recebida devido à mudança da orientação das antenas, que muda a orientação do sinal emitido, mudando assim todos os efeitos de reflexão, refração, difração e espalhamento ao longo do percurso.

5.1.3 Antenas monopólo de RX e TX montadas na vertical com obstáculo entre as mesmas

Outro teste realizado analisou a presença de obstáculos no caminho do sinal de RF. Para testar essa condição considerou-se a presença de uma pessoa no corredor, deslocando-se entre o módulo de comunicação fixo e o módulo móvel que seria transportado pelo deficiente visual.

A Figura 24 mostra os resultados obtidos para a configuração dos módulos com obstáculo entre eles e as antenas orientadas na vertical, com configuração de 50 amostras de RSSI para cada valor da distância.

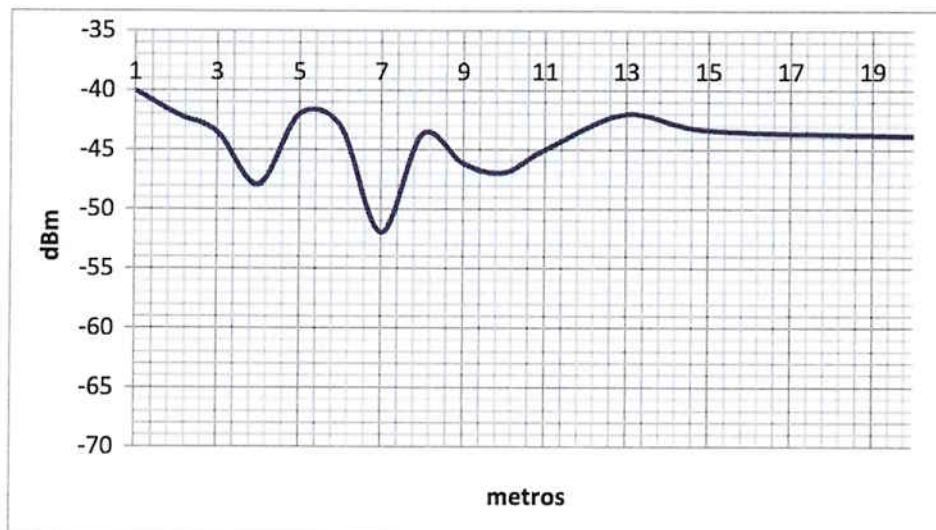


Figura 24 - Gráfico de RSSI em função da distância para as antenas monopólo de RX e TX montadas na vertical com obstáculo entre as mesmas

No caso da configuração das antenas na vertical com obstáculo, uma pessoa caminhando entre os módulos, também houve um comportamento decrescente, porém não monotônico do nível do sinal RSSI ao se aumentar a distância entre os módulos. Houve uma maior variação do valor da potência recebida com a distância, quando comparado ao primeiro caso, devido à presença do obstáculo, mudando todos os efeitos de reflexão, refração, difração e espalhamento ao longo do percurso.

5.1.4 Antena monopólo de RX na vertical e TX na horizontal

Outro teste de interesse realizado considerou a comunicação entre módulos com uma das antenas na vertical e a outra na horizontal. Como os monopólos têm polarização linear, nessa configuração estão com descasamento de polarização e o sinal direto recebido é praticamente nulo. O sinal captado pela antena será a resultante de sinais refletidos ou difratados no ambiente.

A Figura 25 mostra os resultados obtidos para a configuração dos módulos com a antena transmissora na horizontal e a receptora na vertical, com configuração de 50 amostras de RSSI para cada valor da distância.

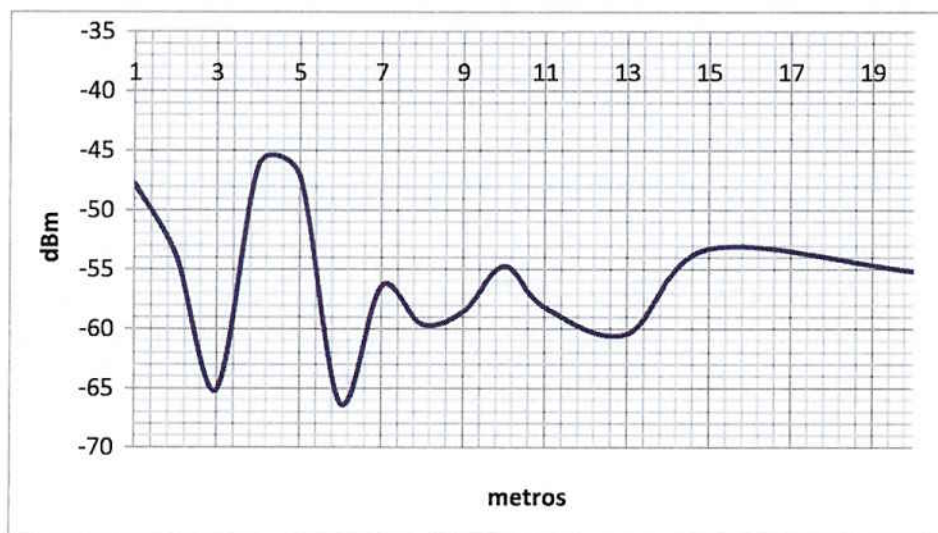


Figura 25 - Gráfico de RSSI em função da distância para a antena monopólo de RX na vertical e TX na horizontal

O caso da configuração da antena transmissora na horizontal e a receptora na vertical é particular, pois caso o experimento fosse realizado em condições de espaço livre não fosse realizado em um ambiente interno, não iria ocorrer nenhum dos efeitos de refração, reflexão, difração e espalhamento e, conseqüentemente, neste caso não teria nenhum valor de potência recebida no receptor, devido a ao módulo transmissor ter uma antena com uma polarização linear a 90 graus da polarização diferente da antena receptora.

Porém em ambientes internos ocorrem todos os efeitos mencionados, portanto este caso mostra as interferências que o sinal sofre ao longo do corredor. Houve uma grande variação do valor da potência recebida, quando comparado aos outros casos, o que demonstra a variedade de multipercursos realizados pelo sinal ao longo de sua propagação pelo corredor.

5.1.5 Análise dos resultados

Através das medidas realizadas ficou evidenciado que há uma variação do nível da potência recebida em função da distância, e que esta não é uma função estritamente decrescente, como no caso de ambientes externos, mas seu valor médio é decrescente.

Uma análise preliminar desses resultados indica que o sistema poderia ser implementado utilizando o parâmetro RSSI para a determinação da distância, desde que a curva da potência recebida em função da distância seja melhor ajustada, tendo um decaimento mais suave.

Um caminho para atingir esse objetivo consistiria em projetar antenas direcionais que focalizem a energia transmitida no centro do corredor, diminuindo a reflexão de sinais em duas paredes, teto e piso. Com isso a componente predominante do sinal recebido será o sinal direto, o que poderia ocasionar um decaimento da potência com a distância com comportamento mais próximo do monotônico.

Na próxima seção serão mostradas as antenas diretivas utilizadas para a caracterização do corredor e os testes efetuados com estas antenas.

5.2 Caracterização do corredor com antenas diretivas

Nesta seção será apresentada a caracterização do corredor realizada com antenas diretivas. O procedimento realizado nesta caracterização foi o mesmo feito na prova de conceito, foram utilizados os mesmos componentes e também foi utilizado o programa VB Terminal.

5.2.1 Antenas Diretivas utilizadas

As antenas diretivas utilizadas são do tipo microfita, em formato retangular, construídas sobre um substrato multicamada, que é formado por um substrato FR4, que suporta a camada metálica da microfita, e por uma camada de ar entre o substrato e o plano de terra. A antena é alimentada por uma sonda coaxial inserida através do substrato multicamada e conectada à microfita, a qual é constituída pelo pino central de um conector coaxial, como mostram as figuras 26 e 27.

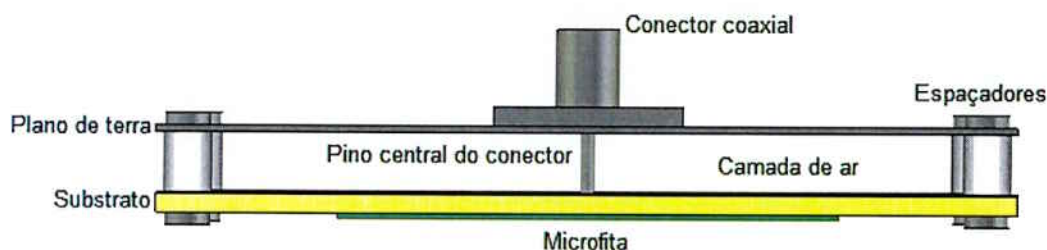


Figura 26 - Vista lateral de uma antena de microfita com substrato multicamada constituído por ar e substrato FR4.

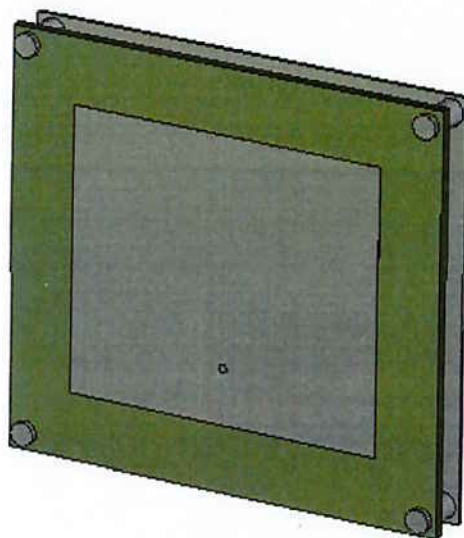


Figura 27 - Vista em perspectiva da antena de 2,45 GHz

A Figura 28 mostra uma fotografia da antena utilizada.

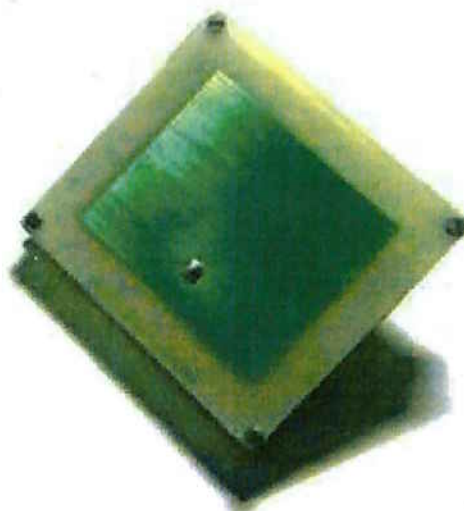


Figura 28 - Fotografia da antena direcional

A Figura 29 apresenta a perda de retorno de entrada da antena, que indica sua banda de operação adequada da mesma entre 2,4 e 2,5 GHz. Nessa faixa de frequência o ganho da antena determinado experimentalmente é de 7,7 dB.

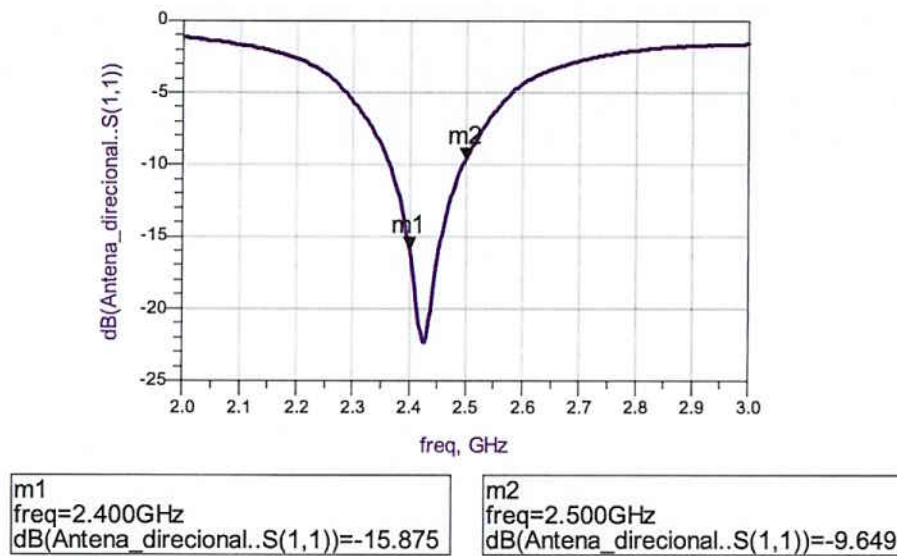


Figura 29 - Perda de retorno da antena versus frequência

A caracterização do corredor com estas antenas foi realizada seguindo o mesmo procedimento descrito na prova de conceito, utilizando os mesmos componentes e o programa VB Terminal. Foram realizadas três situações distintas para a caracterização: na primeira situação o módulo TX possuía uma antena monopólo e o módulo RX uma antena diretiva; na segunda situação ambos módulos possuíam antenas diretivas; e na terceira situação ambos módulos possuíam antenas diretivas, porém estas estavam defasadas de 90°.

5.2.2 Antena diretiva em RX e antena monopolo em TX

A Figura 30 mostra os resultados obtidos para a configuração dos módulos TX com antena monopólo e RX com antena direcional, com configuração de 50 amostras de RSSI para cada valor da distância.

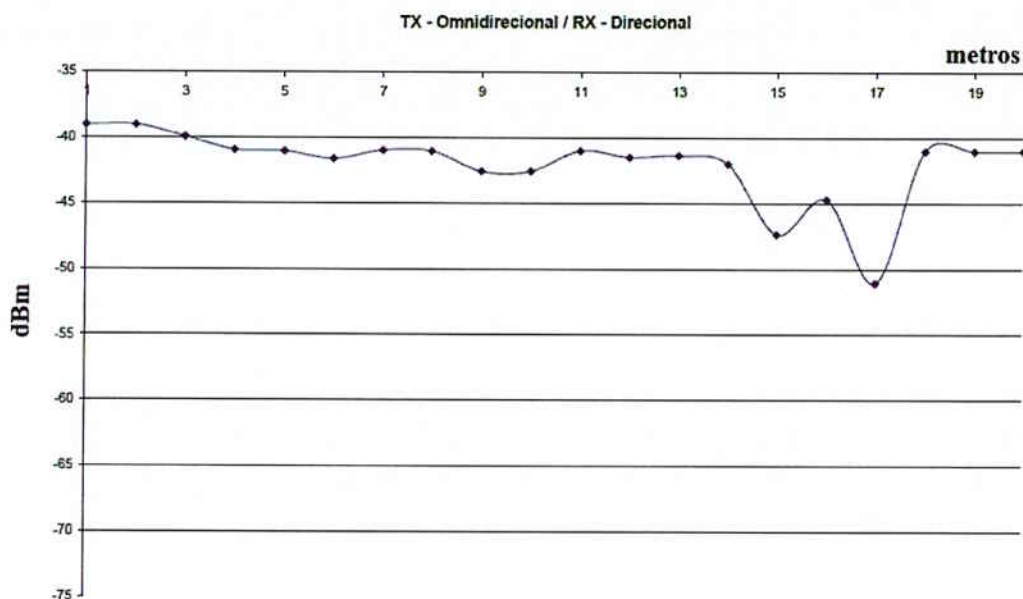


Figura 30 - Gráfico de RSSI em função da distância para a configuração TX – Monopólo e RX - Direcional

Em um ambiente externo, esta curva tem um comportamento monotônico decrescente, sendo que o valor de RSSI é proporcional ao inverso da distância ao quadrado.

Porém em ambientes internos isto não é verificado, como identificado no gráfico acima. O valor da potência recebida teve um comportamento decrescente, porém não monotônico, com o aumento da distância, devido a efeitos de refração, reflexão, difração e espalhamento que o sinal sofre ao longo do percurso.

5.2.3 Antenas diretivas em RX e TX alinhadas

A Figura 31 mostra os resultados obtidos para a configuração dos módulos TX e RX com antena direcional alinhadas, com configuração de 50 amostras de RSSI para cada valor da distância.

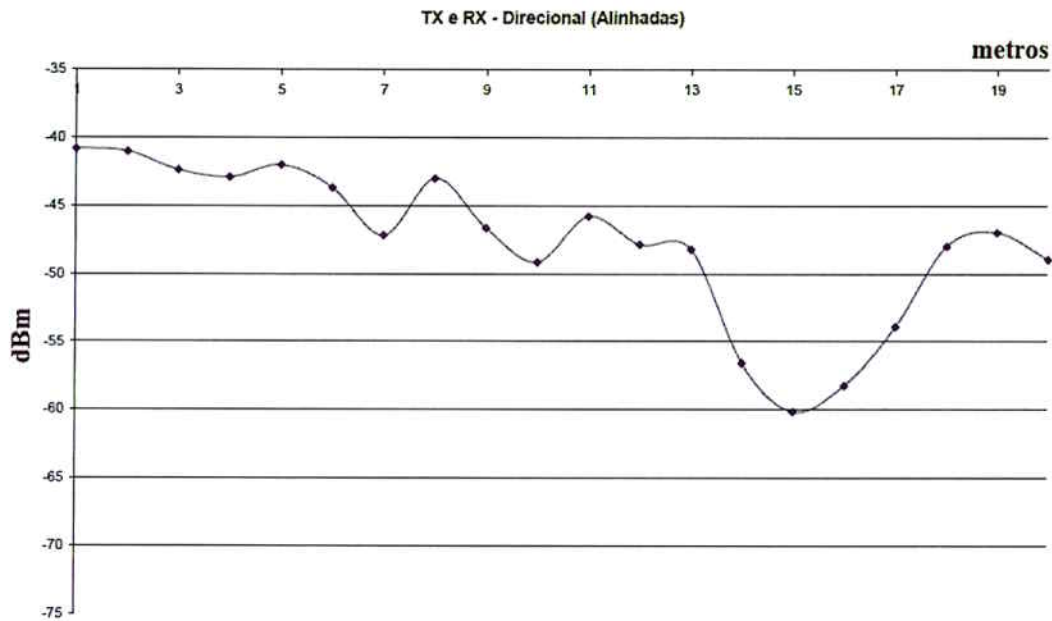


Figura 31 - Gráfico de RSSI em função da distância para a configuração TX e RX - Direcional

O valor da potência recebida teve um comportamento decrescente, porém não monotônico, com o aumento da distância, devido a efeitos de refração, reflexão, difração e espalhamento que o sinal sofre ao longo do percurso.

Houve neste caso uma maior variação do nível de RSSI do que no caso anterior porém não houve um comportamento monotônico do nível da potência.

5.2.4 Antenas diretivas em RX e TX defasadas de 90°

A Figura 32 mostra os resultados obtidos para a configuração dos módulos TX e RX com antena direcional defasadas de 90°, com configuração de 50 amostras de RSSI para cada valor da distância.

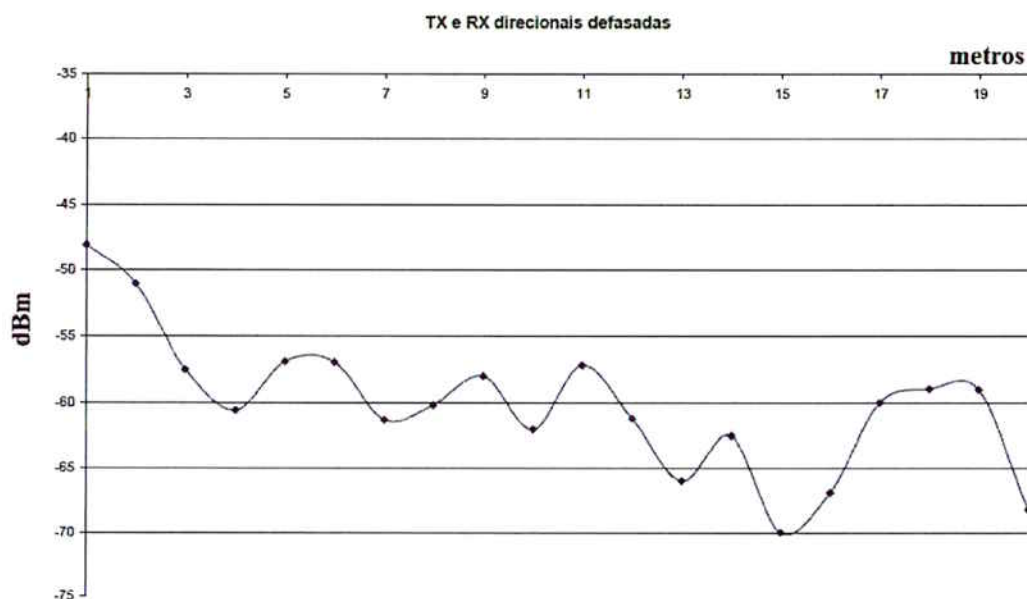


Figura 32 - Gráfico de RSSI em função da distância para a configuração TX e RX – Direcional defasadas de 90°

O caso da configuração das antenas defasadas de 90° é particular, pois caso o experimento fosse realizado em condições de espaço livre não fosse realizado em um ambiente interno, não iria ocorrer nenhum dos efeitos de refração, reflexão, difração e espalhamento e, conseqüentemente, neste caso não teria nenhum valor de potência recebida no receptor.

Porém em ambientes internos ocorrem todos os efeitos mencionados, portanto este caso mostra as interferências que o sinal sofre ao longo do corredor. Houve uma grande variação do valor da potência recebida, quando comparado aos outros casos, o que demonstra a variedade de multipercursos realizados pelo sinal ao longo de sua propagação pelo corredor.

5.2.5 Análise dos resultados

Em comparação dos resultados obtidos na prova de conceito e os resultados obtidos com as antenas diretivas, podemos observar que não obtivemos uma curva monotônica para o RSSI em função da distância.

Isto ocorre porque os efeitos de multipercursos nunca serão inteiramente eliminados, poderão ser minimizados porém não eliminados.

Portanto a solução utilizando somente as antenas direcionais não poderia ser utilizada, pois não tem-se uma curva monotônica para os valores de RSSI.

5.3 Sistema desenvolvido

Nesta seção é apresentado o sistema desenvolvido para a solução do problema. Inicialmente será apresentado a maneira que o sistema funciona, depois será mostrada a rede criada e a maneira que os módulos foram configurados. Por fim serão apresentados os módulos construídos.

O esquema de funcionamento do sistema será o seguinte: de posse do módulo móvel, o usuário selecionará uma das duas opções de pontos de interesse (banheiro ou sala), a partir daí o módulo móvel receberá informações dos módulos fixos. O usuário se deslocará pelo corredor e quando esse chegar às imediações do ponto de interesse será informado pelo módulo móvel do nome do local selecionado. O módulo fixo emitirá também um som (pelo *buzzer*), informando o usuário da localização exata do ponto de interesse.

5.3.1 Rede ZigBee

A criação da rede ZigBee constitui uma das etapas mais importantes do sistema. A rede foi construída de modo a apresentar dois pontos fixos (em localidades que o usuário costuma frequentar, como o banheiro e a sua sala) e o módulo móvel que ficará com o usuário.

Para configuração dos dispositivos da rede, foi utilizado o software X-CTU, do fabricante *Digi International*. Neste aplicativo existem seis grupos de funcionalidades importantes na criação da rede, que são: Gestão da Rede e Segurança, Interface RF, Modos *Sleep*, Interface *Serial*, Diagnósticos e Opções do Modo de Comando AT. O grupo Gestão da Rede e Segurança permite a leitura e alteração dos diferentes tipos de endereços, canais, identificadores, tempos de procura, modos de funcionamento e pedidos de associação. Este grupo também diz respeito à procura de dispositivos na rede. Em Interface RF é feita a leitura e alteração do nível de potência de emissão e do nível de potência a partir do qual não se efetua o envio de pacotes. O grupo Modos *Sleep* permite a leitura e alteração dos diferentes modos de baixo consumo, intervalos de tempo de espera e de *sleep*. Em Interface Sériat é permitida a leitura e alteração do ritmo de transmissão, intervalo de tempo de espera por caracteres antes da transmissão, modos de funcionamento API e configuração interna da resistência *pull-up* para as linhas I/O. No grupo de Diagnósticos é feita a leitura das versões de *firmware* e *hardware*, de falhas no envio de pacotes e nível de sinal do último pacote recebido. Finalmente, nas Opções do Modo de Comando AT é permitida a entrada e saída do modo de comandos AT, leitura e alteração dos respectivos intervalos de tempo de guarda e timeout (GOMES, 2008).

A figura 33 ilustra a interface do aplicativo X-CTU para programação de um dispositivo de um módulo fixo e do módulo móvel.

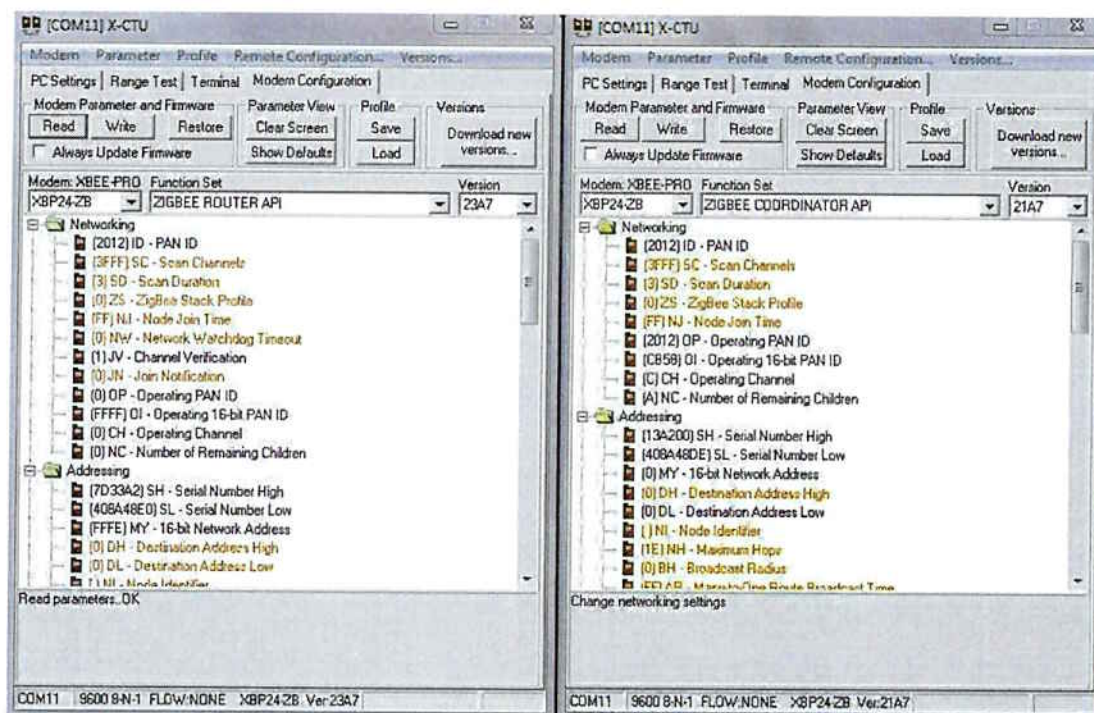


Figura 33 - Configuração dos módulos XBee, à esquerda a configuração dos módulos fixos, à direita a configuração do módulo móvel

A rede ZigBee criada utiliza a topologia estrela, onde o módulo móvel é o coordenador da rede e os módulos fixos são roteadores. Foi utilizada esta topologia de rede porque para a localização do ponto de interesse será utilizado a técnica de localização por proximidade, assim os roteadores (módulos fixos) não precisam se comunicar entre si, só precisam se comunicar com o coordenador (módulo móvel do usuário).

Os módulos fixos foram configurados com o *firmware* XBP24-ZB versão 23A7 e o módulo móvel foi configurado com o *firmware* XBP24-ZB versão 21A7.

5.3.2 Módulo fixo implementado

Nesta seção é mostrado o módulo fixo construído. A Figura 34 mostra o módulo fixo construído.

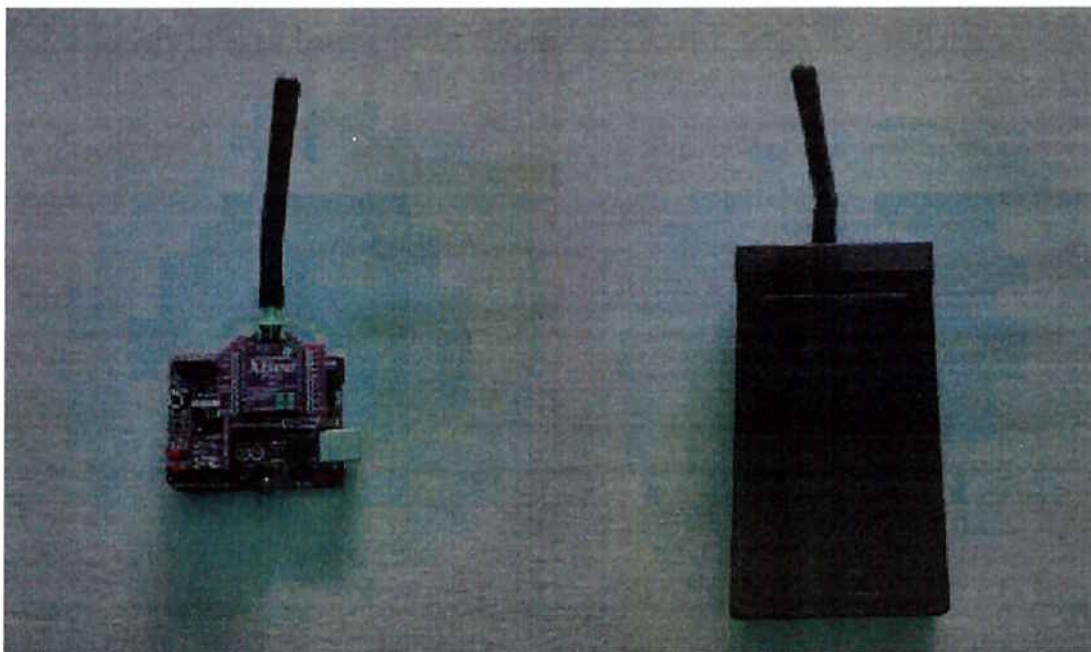


Figura 34 - Módulo fixo construído

O Apêndice 2 mostra o esquema elétrico dos módulos fixos construídos.

O *software* utilizado nos módulos fixos constituirá de um programa que fará com que os módulos fiquem transmitindo continuamente. Quando o usuário estiver nas proximidades do ponto de interesse, o módulo móvel enviará uma informação para este módulo fixo e assim, o *buzzer* deste módulo fixo será acionado.

O Apêndice 4 mostra o *software* utilizado nos módulos fixos.

5.3.3 Módulo móvel implementado

Nesta seção é mostrado o módulo móvel construído. A Figura 35 mostra o módulo móvel construído.

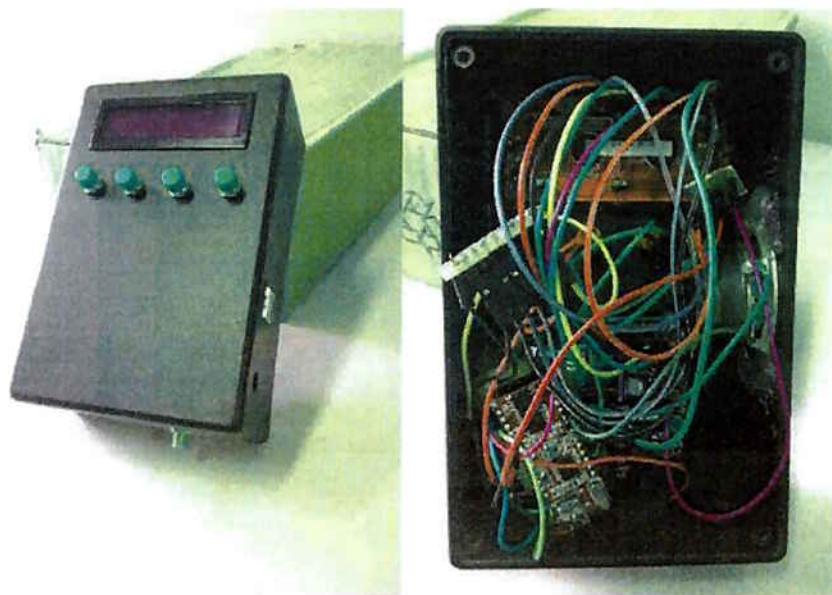


Figura 35 - Módulo móvel construído

O Apêndice 3 mostra o esquema elétrico do módulo móvel construído.

Os comandos possíveis serão executados por botões, sendo dois botões para os pontos de interesse (banheiro e sala), um botão de reset, retornando as configurações iniciais do módulo, e um botão para redefinição dos valores de potência que são colocados previamente no código. Este comando é importante porque se houver alguma mudança no corredor, como instalação de portas, o nível de potência será alterado, sendo necessária uma nova configuração. Este botão permite uma rápida configuração, não sendo necessária a mudança via computador. São então carregados os valores de RSSI nas imediações dos pontos de interesse, sendo então necessário o acionamento deste nas imediações dos pontos de interesse.

O usuário selecionará uma das opções de comando, as suas opções serão banheiro ou sala. Passado este comando para o Arduino, esse fará com que o módulo XBee comunique-se com todos os módulos fixos. À medida que o usuário for caminhando na direção do local escolhido e a o valor de RSSI dos módulos móveis

forem chegando a determinados patamares, o módulo de aviso informará o usuário. Estes patamares de potência são determinados experimentalmente.

Para a estimação da posição do usuário ao longo do corredor onde será instalado o sistema foi implementado o código que se encontra no Apêndice 5.

O software utiliza valores predeterminados de RSSI para a determinação da localização do usuário. Para isso, é necessária a caracterização do ambiente onde o sistema atuará. Estes valores foram determinados previamente e serão mostrados na seção de testes.

Para um determinado ponto de interesse, são colocados no código os valores obtidos experimentalmente de RSSI nas imediações daquela posição de todos os pontos fixos. Assim, em um bloco if do código são colocados os valores de RSSI pré-determinados para verificação, caso os valores recebidos pelo XBee e passados para o Arduino estejam de acordo com a condição do if, serão executadas as instruções deste bloco e o usuário será informado pelo módulo de aviso que estará nas imediações do local selecionado.

5.3 Caracterização do corredor com os módulos produzidos

Nesta seção são apresentados os testes realizados com o sistema implementado. Foi adotado um novo procedimento de testes, foram estabelecidos dois pontos fixos no corredor e percorrendo a distância entre estes, foram lidos os valores de RSSI em passos de um metro.

Os pontos fixos selecionados foram o banheiro no corredor e a sala do futuro usuário. A distância entre estes dois pontos é de 45 metros, foram feitas 45 medições de RSSI para cada um dos pontos fixos.

A Figura 36 mostra os pontos selecionados no corredor.

5.4.1 Antenas monopólo em todos os módulos

A Figura 37 mostra os resultados obtidos para a configuração dos módulos fixos e móvel com antenas monopólo, com leitura de 50 amostras de RSSI para cada valor da distância.

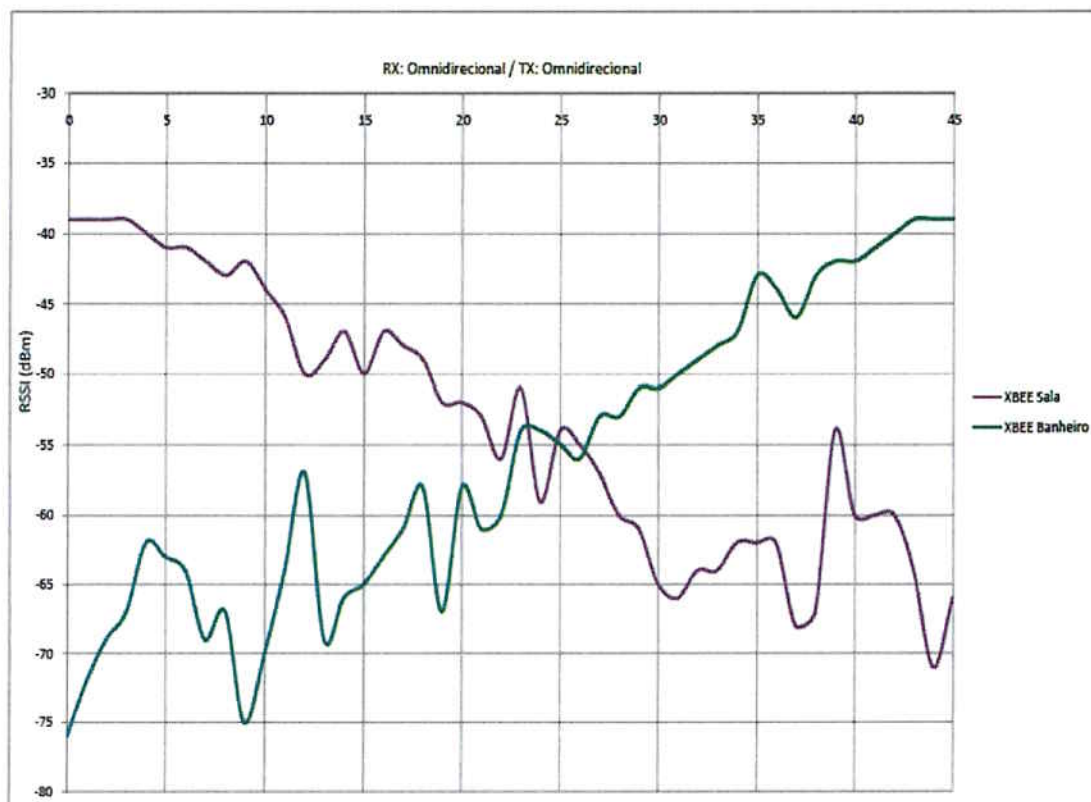


Figura 37 - Gráfico de RSSI em função da distância para a todos módulos com antenas monopólo

Pode-se observar que nas proximidades dos pontos fixos (posição zero e posição 45) os valores dos respectivos pontos fixos possuem valor de -39 dBm, ao passo que o valor do RSSI do outro ponto fixo varia numa determinada faixa.

Neste ensaio, a faixa de -39 dBm foi curta e houve uma grande variação do outro módulo fixo nestas posições onde ocorre o -39 dBm. É desejado que esta faixa de -39 dBm seja mais curta possível para que possa ter uma maior exatidão na posição.

5.4.2 Antena monopólo no módulo móvel e antenas diretivas nos módulos fixos

A Figura 38 mostra os resultados obtidos para a configuração dos módulos fixos com antenas diretivas e do módulo móvel com antena monopólo, com leitura de 50 amostras de RSSI para cada valor da distância.

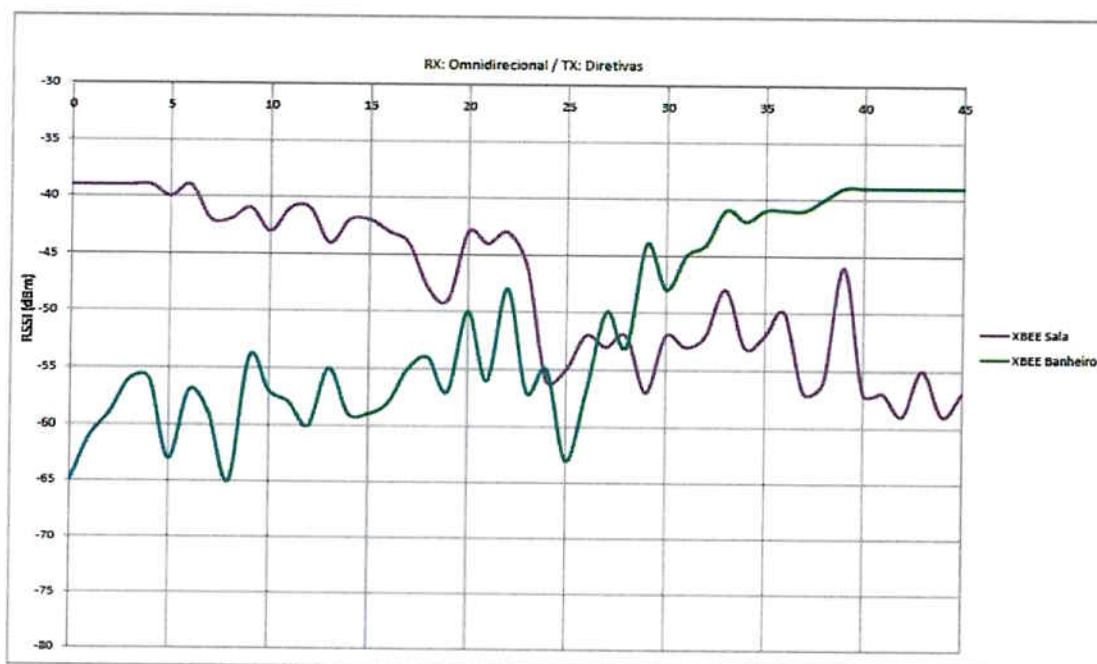


Figura 38 - Gráfico de RSSI em função da distância para módulos fixos com antenas diretivas e módulo móvel com antena monopólo

Ocorre neste caso que a faixa de -39 dBm é maior que o caso anterior, e também não há uma grande variação para a outra faixa, que pode ocasionar uma menor exatidão na determinação da posição do ponto de interesse.

5.3.3 Antenas monopólo em todos os módulos com o módulo móvel junto ao corpo

A Figura 39 mostra os resultados obtidos para a configuração dos módulos fixos e móvel com antenas monopólo com o módulo móvel junto ao corpo, com leitura de 50 amostras de RSSI para cada valor da distância.

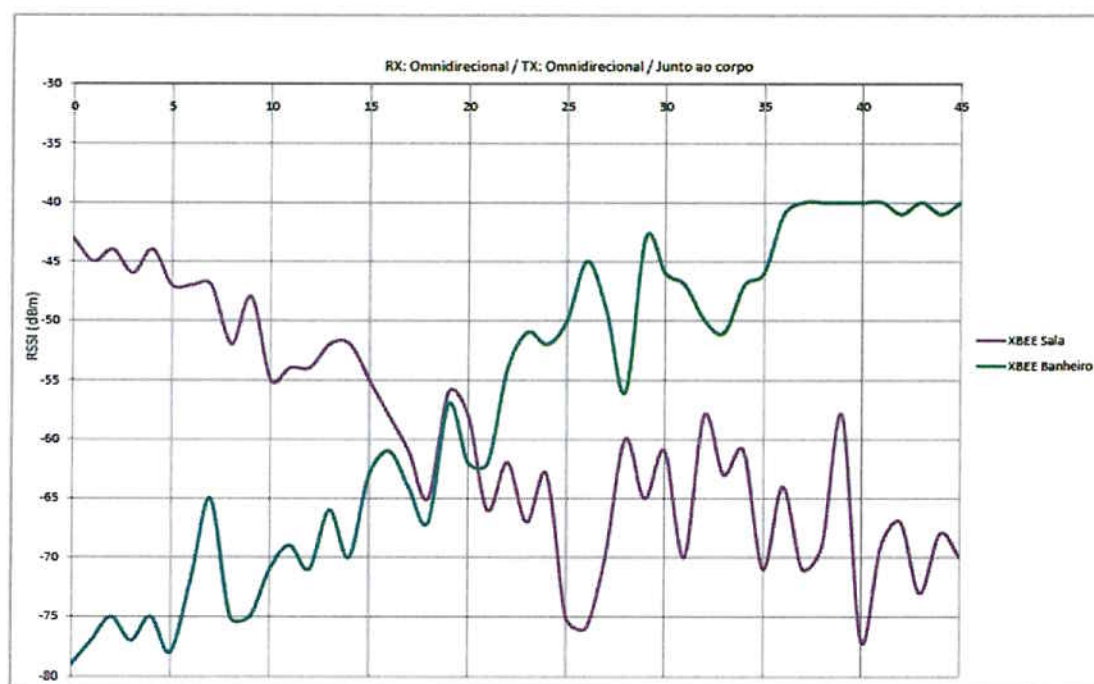


Figura 39 - Gráfico de RSSI em função da distância para a todos módulos com antenas monopólo, com módulo móvel junto ao corpo

Ocorre neste caso que não existe uma faixa de -39 dBm bem definida, assim o usuário deve evitar de levar o módulo móvel encostado ao corpo, pois poderá não ser encontrado o ponto de interesse, uma vez que o ponto de -39 dBm será passado como parâmetro para o *software* e neste caso em algumas situações ele não existe, assim não seria localizado o ponto de interesse caso o usuário utilizasse o módulo junto ao corpo.

5.4.4 Análise dos resultados

Nestes testes realizados os módulos fixos e móvel funcionaram perfeitamente, com isso foi possível o levantamento das curvas apresentadas.

Utilizando este método pode-se determinar o ponto de interesse com uma maior exatidão, em comparação ao método proposto anteriormente, de interrogar apenas um módulo fixo com antenas diretivas.

A exatidão será maior pois serão passados ao *software* dois valores de RSSI, de dois pontos distintos e tendo caracterizado anteriormente o corredor, sabe-se qual deve ser uma faixa de variação para estes.

Pode-se observar que nas proximidades dos pontos fixos os valor de RSSI vale -39 dBm, então quanto menor esta faixa de posições que possuem este valor, maior será a exatidão do sistema.

Será utilizada a configuração com todos os módulos com antenas monopolo, pois nesta configuração é observada uma menor faixa de valor -39 dBm, em comparação a utilização com antenas diretivas. Todos os módulos então possuirão antenas monopolo.

Então, será passado para o programa que rodará no Arduino os valores de RSSI nas imediações de três metros (obtidos no gráfico da Figura 39) nas posições de interesse, sendo os valores mostrados na Tabela 12.

Tabela 12 – Valores de RSSI passados ao Arduino

Imediações do Banheiro		Imediações da Sala	
RSSI Banheiro	-39 dBm	RSSI Banheiro	-67 dBm
RSSI Sala	-64 dBm	RSSI Sala	-39 dbm

5.5 Testes finais

Com o sistema implementado, os módulos fixos nas posições determinadas (nas proximidades do banheiro e da sala do usuário) foi realizado um teste de funcionamento do sistema.

A partir dos valores da intensidade da potência dos módulos fixos passados ao *software* do módulo móvel (apresentados na seção anterior), foi verificada a detecção do usuário pelos módulos fixo e móvel nas proximidades do ponto de interesse.

Foram realizados 60 testes de seleção para os pontos fixos, 30 teste foram realizados nas proximidades do banheiro e 30 testes foram realizados nas proximidades da sala.

Nos testes realizados nas proximidades do banheiro, em 27 casos o usuário foi detectado nas proximidades desse ponto a uma distância de no máximo 4 metros do ponto exato. Neste caso em 90% dos casos o usuário foi identificado em até 4 metros de distância da localização exata do banheiro.

Nos testes realizados nas proximidades da sala, em 28 casos o usuário foi detectado nas proximidades desse ponto a uma distância de no máximo 4 metros do ponto exato. Neste caso em 93% dos casos o usuário foi identificado em até 4 metros de distância da localização exata do banheiro.

Portanto, o sistema funcionou dentro do esperado, informando o usuário em uma distância que foi próxima da escolhida na fase de caracterização do ambiente.

6 CONCLUSÕES

Este projeto teve como objetivo o desenvolvimento de um sistema de guiagem para deficientes visuais em ambientes fechados baseado na informação de intensidade de sinal recebido em uma rede ZigBee. Previamente foi realizada uma pesquisa com os fundamentos teóricos e as técnicas mais utilizadas em sistemas de localização. Antes do desenvolvimento do sistema, foram realizadas várias aquisições de sinal buscando analisar o comportamento do nível de RSSI no ambiente onde seria instalado o sistema projetado.

A técnica de estimativa de localização utilizada neste projeto foi a determinação da posição pela proximidade. Nesta técnica é necessária a caracterização do ambiente onde é instalado o sistema, é necessário o levantamento da curva de intensidade de potência pela distância. As medidas de intensidade de sinal recebido se dão em relação a dispositivos instalados em pontos fixos do corredor, estes pontos selecionados são os pontos de interesse onde ficarão instalados os módulos fixos. Foram realizados testes com um e também com dois pontos fixos.

Para a determinação da localização do módulo móvel, foi implementado um algoritmo que compara os valores de RSSI, escolhidos com base na caracterização do ambiente, com os valores lidos no momento de utilização do sistema, quando os valores lidos pelo sistema estão na faixa dos valores do programa, o usuário é notificado da posição escolhida.

Com os valores de RSSI selecionados e mostrados no capítulo anterior, o usuário era em cerca de 90% dos casos informado do seu ponto de interesse quando estava nas imediações desse. A distância máxima em que o usuário foi informado até o local do ponto exato foi de no máximo 4 metros.

A distância onde o usuário era informado não constitui um problema, o caso ideal seria aquele onde o usuário seria informado na posição exata, porém devido a flutuações do valor da intensidade da potência recebida, caso este caso fosse escolhido, poderia acontecer de muitos casos o usuário não ser detectado, então foi escolhido uma certa faixa de valores de RSSI que representam uma distância em

relação ao ponto fixo, onde mesmo que ocorresse essa flutuação da intensidade da potência recebida o usuário seria informado, quando esse estivesse nas proximidades do ponto de interesse.

Portanto o sistema desenvolvido teve um resultado muito satisfatório, onde o usuário era informado de sua posição nas proximidades dos pontos de interesse em 90% dos casos, onde a distância máxima do ponto de interesse era de no máximo 4 metros. O fato de ele não ser informado exatamente na posição do ponto de interesse não apresenta um problema, pois com o *buzzer* presente na posição exata, o usuário pode se orientar pelo som emitido por esse componente e dirigir-se ao local exato.

Enfim, os objetivos propostos para o projeto foram alcançados e os testes de validação foram realizados para o sistema com dois módulos fixos.

6.1 Trabalhos Futuros

Para este trabalho existem algumas melhorias que poderiam ser implementadas. Essas possíveis futuras melhorias podem ser divididas em nível de *hardware* e em nível de *software*.

Futuros trabalhos em nível de *hardware* poderiam ser realizados para o desenvolvimento de antenas que minimizassem os efeitos ocorridos em ambientes internos, desta maneira poder-se-ia ter uma curva de intensidade de potência mais decrescente, ou mesmo uma curva monotônica. Desta maneira a estimação da localização seria maior ter-se-ia uma maior probabilidade de acerto da posição do usuário.

Uma melhoria possível também em nível de *hardware* seria a utilização de Arduinos com menores dimensões para a redução do tamanho do módulo móvel, assim o módulo móvel seria mais portátil e auxiliaria o usuário.

Em nível de *software*, futuros trabalhos poderiam ser feitos para a criação de mapas de potência ao longo do corredor, assim poderia ser estimada a posição do usuário em qualquer ponto do corredor, não somente nas proximidades dos pontos de interesse. Com isso, poderiam ser selecionados mais pontos de interesse sem a

necessidade da alocação de novos módulos fixos nas imediações desses pontos de interesse.

REFERÊNCIAS

AL-QUTAYRI, M.; JEEDELLA, J.; AL-SHAMSI, M. An integrated wireless indoor navigation system for visually impaired. In: **Systems Conference (SysCon)**, IEEE International, p.17-23, 4-7 April 2011.

C95.1-1991 - IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz

GOMES, G.L.S. **Sistema RFID com Tecnologia ZigBee**, Dissertação, Universidade técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2008

HEILE, Bob. **ZigBee Alliance Tutorial**. Disponível em: http://www.cs.ucdavis.edu/~aksoy/course/w06/slides/ZigBeeTutorial_05.ppt, 2005

NAJNUDEL, M. **Estudo de propagação em ambientes fechados para o planejamento de WLANs**, Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO, Rio de Janeiro, RJ, 2004

NOH, A.S.-I.; LEE, W.J.; YE, J.Y., "Comparison of the Mechanisms of the Zigbee's Indoor Localization Algorithm," Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking, and Parallel/Distributed Computing, 2008. SNPD '08. Ninth ACIS International Conference on , vol., no., pp.13,18, 6-8 Aug. 2008

PAPAPOSTOLOU, Apostolia; CHAOUCHI, Hakima. **The Applicability of RFID for Indoor Localization, Deploying RFID - Challenges, Solutions, and Open Issues**, Dr.Cristina Turcu (Ed.), ISBN: 978-953-307-380-4, InTech, DOI: 10.5772/17968. Disponível em: <http://www.intechopen.com/books/deploying-rfid-challenges-solutions-and-open-issues/theapplicability-of-rfid-for-indoor-localization>. Acesso: out. 2013.

PECES, C.B.; OLIVA, V.M.M.; GARCIA, A.D.; RODRIGUEZ, M.L. Global system for location and guidance of disabled people: indoor and outdoor technologies integration. In: **Networking and Services, 2009. ICNS '09**. Fifth International Conference on, p.370-375, 20-25 April 2009

PU, C.-C.; PU, C.-H.; Lee, H.-J. **Indoor Location Tracking Using Received Signal Strength Indicator**. In: FOERSTER, A. and FOERSTER, A. (ed.) **Emerging Communications for Wireless Sensor Networks**. Shanghai, China, 2011. ISBN: 978-953-307-082-7, InTech, DOI: 10.5772/10518.

SCHNEIDER JUNIOR, Valmir Antonio. **Sistema de localização para ambientes fechados baseado na potência do sinal recebido em rede ZigBee**,

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – INSTITUTO
FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO, Espírito Santo, ES, 2011

APÊNDICE 1 – Código do programa VB Terminal

```
Imports System
Imports System.ComponentModel
Imports System.Threading
Imports System.IO.Ports
Imports System.Text.RegularExpressions
Imports System.Windows.Forms.DataVisualization.Charting
Imports System.IO

Public Class frmMain
    Dim myPort As Array
    Delegate Sub SetTextCallback(ByVal [text] As String)

    Private Sub frmMain_Load(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles MyBase.Load

        Dim i As Integer

        num_elementos = 1
        contador = 50
        comparador = 0
        aux_dist1 = -1
        aux_dist2 = -2

        myPort = IO.Ports.SerialPort.GetPortNames()
        cmbBaud.Items.Add(9600)
        cmbBaud.Items.Add(19200)
        cmbBaud.Items.Add(38400)
        cmbBaud.Items.Add(57600)
        cmbBaud.Items.Add(115200)

        For i = 0 To UBound(myPort)
            cmbPort.Items.Add(myPort(i))
        Next

        If i = 0 Then
            MsgBox("Nenhum dispositivo conectado! Conecte e entre novamente no
programa.")
            Me.Close()
            Exit Sub
        Else
            cmbPort.Text = cmbPort.Items.Item(0)
            cmbBaud.Text = cmbBaud.Items.Item(0)
            btnDisconnect.Enabled = False
        End If

    End Sub

    Private Sub btnConnect_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles btnConnect.Click
        SerialPort1.PortName = cmbPort.Text
        SerialPort1.BaudRate = cmbBaud.Text
    End Sub
End Class
```

```

SerialPort1.Parity = IO.Ports.Parity.None
SerialPort1.StopBits = IO.Ports.StopBits.One
SerialPort1.DataBits = 8
SerialPort1.Open()

btnConnect.Enabled = False
btnDisconnect.Enabled = True

End Sub

Private Sub btnDisconnect_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles btnDisconnect.Click
    SerialPort1.Close()

    btnConnect.Enabled = True
    btnDisconnect.Enabled = False
End Sub

Private Sub btnSend_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles btnSend.Click
    If btnConnect.Enabled = False Then

        Dim i As Integer

        If rbtn50.Checked = True Then
            contador = 50
        Else
            contador = 100
        End If
        aux = 1
        ReDim rssi_y(100, 1)
        System.Threading.Thread.Sleep(500)
        SerialPort1.Write("+++")
        System.Threading.Thread.Sleep(1000)
        For i = 1 To contador
            System.Threading.Thread.Sleep(50)
            SerialPort1.Write(vbCrLf)
            SerialPort1.Write("ATDB" & vbCrLf)
            System.Threading.Thread.Sleep(50)
        Next

    Else
        MsgBox("A porta esta fechada!")
    End If
End Sub

Public num_elementos As Integer
Public comparador As Integer
Public contador As Integer
Public distancia_x(1) As Double
Public rssi_y(100, 1) As Double
Public aux As Integer
Public aux_dist1 As Integer
Public aux_dist2 As Integer
Public media(1) As Double

Private Sub btnAtualiza_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles btnAtualiza.Click

```

```

    If aux_dist1 <> aux_dist2 Then
        num_elementos = num_elementos + 1
        aux_dist2 = aux_dist1
    Else
        MsgBox("Atualize a distância da medição!")
    End If
End Sub

Private Sub SerialPort1_DataReceived(ByVal sender As Object, ByVal e As
System.IO.Ports.SerialDataReceivedEventArgs) Handles SerialPort1.DataReceived
    ReceivedText(SerialPort1.ReadExisting())
End Sub

Private Sub ReceivedText(ByVal [text] As String)
    If Mid(text, 1, 1) <> "T" Then

        Dim media_aux As Integer
        Dim i, j As Integer

        If Me.rtbReceived.InvokeRequired Then
            Dim x As New SetTextCallback(AddressOf ReceivedText)
            Me.Invoke(x, New Object() {(text)})
        Else
            Me.rtbReceived.Text &= [text]
        End If

        If text.Trim() <> "OK" And text.Trim() <> "0" And text.Trim() <>
"K" And text.Trim() <> "" And Mid(text, 1, 1) <> "T" Then
            i = 1
            If comparador <> num_elementos Then
                ReDim Preserve distancia_x(num_elementos)
                ReDim Preserve media(num_elementos)
                ReDim Preserve rssi_y(100, num_elementos)
                comparador = num_elementos
            End If
            distancia_x(num_elementos) = Cdbl(txtDistancia.Text)

            For j = 1 To Len(text.Trim)
                If Mid(text.Trim, j, 1).Trim <> "" And Mid(text.Trim, j +
1, 1).Trim <> "" Then
                    rssi_y(i, num_elementos) = -Val("&H" &
Mid(text.Trim(), j, 2))
                    i = i + 1
                ElseIf Mid(text.Trim, j, 1).Trim <> "" And Mid(text.Trim,
j + 1, 1).Trim = "" And j = 1 Then
                    rssi_y(i, num_elementos) = -Val("&H" &
Mid(text.Trim(), j, 1))
                    i = i + 1
                ElseIf Mid(text.Trim, j, 1).Trim <> "" And Mid(text.Trim,
j + 1, 1).Trim = "" And Mid(text.Trim, j - 1, 1).Trim = "" And j <> 1 Then
                    rssi_y(i, num_elementos) = -Val("&H" &
Mid(text.Trim(), j, 1))
                    i = i + 1
                End If
            Next
        End If

        While (aux <= contador And text.Trim() <> "OK" And text.Trim() <>
"" And Mid(text, 1, 1) <> "T" And text.Trim() <> "0" And text.Trim() <> "K")

```

```

        media_aux = ((aux - 1) * media_aux + rssi_y(aux,
num_elementos)) / aux
        txtRSSI.Text = media_aux
        media(num_elementos) = media_aux

        aux = aux + 1
    End While

End If
End Sub

Private Sub cmbPort_SelectedIndexChanged(ByVal sender As System.Object,
ByVal e As System.EventArgs) Handles cmbPort.SelectedIndexChanged
    If SerialPort1.IsOpen = False Then
        SerialPort1.PortName = cmbPort.Text
    Else
        MsgBox("Deve desconectar-se da porta", vbCritical)
    End If
End Sub

Private Sub cmbBaud_SelectedIndexChanged(ByVal sender As System.Object,
ByVal e As System.EventArgs) Handles cmbBaud.SelectedIndexChanged
    If SerialPort1.IsOpen = False Then
        SerialPort1.BaudRate = cmbBaud.Text
    Else
        MsgBox("Deve desconectar-se da porta", vbCritical)
    End If
End Sub

Private Sub btnClear_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles btnClear.Click
    rtbReceived.Clear()
End Sub

Private Sub txtDistancia_TextChanged(ByVal sender As System.Object, ByVal
e As System.EventArgs) Handles txtDistancia.TextChanged
    aux_dist1 = CInt(txtDistancia.Text)
End Sub

Private Sub btnGraf_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles btnGraf.Click
    With grafico
        .Series(0).ChartType =
DataVisualization.Charting.SeriesChartType.Line
        .ChartAreas(0).Area3DStyle.LightStyle = LightStyle.Simplistic
        .ChartAreas(0).AxisY.Title = "RSSI (dBm)"
        .ChartAreas(0).AxisY.TitleFont = New Font("Times New Roman", 12,
FontStyle.Bold)
        .ChartAreas(0).AxisY.TitleForeColor = Color.Blue
        .ChartAreas(0).AxisX.Title = "Distância (m)"
        .ChartAreas(0).AxisX.TitleFont = New Font("Times New Roman", 12,
FontStyle.Bold)
        .ChartAreas(0).AxisX.TitleForeColor = Color.Blue
        .Palette = ChartColorPalette.Berry
        .Series(0).Points.DataBindXY(distancia_x, media)
        .Series(0).IsValueShownAsLabel = True
        .ChartAreas(0).Area3DStyle.Enable3D = False
    End With
End Sub

```

```
        End With
    End Sub

    Private Sub btnZerar_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles btnZerar.Click
        ReDim distancia_x(1)
        ReDim rssi_y(1, 1)
        ReDim media(1)
        num_elementos = 1
    End Sub

    Private Sub Button1_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button1.Click
        Dim arquivo As New StreamWriter("C:\Users\Leonardo\Documents\POLI\5o
Ano\PSI2591\VB - App\Dados.txt")
        Dim i, j As Integer
        Dim linha As String

        linha = ""
        For j = 1 To num_elementos
            arquivo.WriteLine("Distância: " & distancia_x(j) & " m")
            For i = 1 To contador
                linha = linha & " " & rssi_y(i, j)
            Next
            arquivo.WriteLine("RSSI (dBm):" & linha)
            arquivo.WriteLine("")
            linha = ""
        Next
        arquivo.Close()
        MsgBox("Arquivo Dados.txt gerado!")
    End Sub
End Class
```


APÊNDICE 4 – *Software* do módulo fixo

```

#include <XBee.h>

XBee xbee = XBee();

uint8_t payload[] = { 0, 0 };

// Endereço do coordenador
uint32_t COORD_MSB_ADDRESS = 0x0013A200;
uint32_t COORD_LSB_ADDRESS = 0x408A48DE;

// SH + SL Address of receiving XBee
XBeeAddress64 addr64 = XBeeAddress64(COORD_MSB_ADDRESS,
COORD_LSB_ADDRESS);

ZBTxRequest zbTx = ZBTxRequest(addr64, payload, sizeof(payload));

ZBTxStatusResponse txStatus = ZBTxStatusResponse();

ZBRxResponse rx = ZBRxResponse();

int pinoFalante = 12;

void setup() {
  pinMode(pinoFalante, OUTPUT);
  digitalWrite(pinoFalante, LOW);
  xbee.begin(9600);
}

void sendPacket() {
  xbee.send(zbTx);

  if (xbee.readPacket(5000)) {

```

```
if (xbee.getResponse().getApild() == ZB_TX_STATUS_RESPONSE) {  
    xbee.getResponse().getZBTxStatusResponse(txStatus);  
    if (txStatus.getDeliveryStatus() == SUCCESS) {  
        digitalWrite(pinoFalante,HIGH);  
        delay(100);  
        digitalWrite(pinoFalante,LOW);  
    }  
} else if (xbee.getResponse().getApild() == ZB_RX_RESPONSE) {  
    xbee.getResponse().getZBRxResponse(rx);  
}  
}  
}  
  
void loop(){  
    if (xbee.readPacket(5000)) {  
        sendPacket();  
        digitalWrite(pinoFalante,HIGH);  
        delay(30);  
        digitalWrite(pinoFalante,LOW);  
    }  
}
```

APÊNDICE 5 – *Software* do módulo móvel

```
#include <XBee.h>
#include <LiquidCrystal.h>

int saida = 8;
int reset = 9;
int botao1 = 10;
int botao2 = 11;
int botao3 = 12;
int botao4 = 13;

int rssi1;
int rssi2;
int rssi;

int aux_setar_parametros = 0;

// Valores de rssi para setar o equipamento
int rssi_banheiro_banheiro = -39;
int rssi_banheiro_sala = -64;

int rssi_sala_banheiro = -67;
int rssi_sala_sala = -39;

XBee xbee = XBee();
XBeeResponse response = XBeeResponse();
```

```
ZBRxResponse rx = ZBRxResponse();

uint8_t rssiCmd[] = {'D','B'};

AtCommandRequest atRequest = AtCommandRequest(rssiCmd);
AtCommandResponse atResponse = AtCommandResponse();
LiquidCrystal lcd(6, 7, 2, 3, 4, 5);

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(saida,OUTPUT);
  pinMode(reset,OUTPUT);
  pinMode(botao1,INPUT);
  pinMode(botao2,INPUT);
  pinMode(botao3,INPUT);
  pinMode(botao4,INPUT);

  digitalWrite(saida,HIGH);
  digitalWrite(reset,HIGH);
  digitalWrite(botao1,HIGH);
  digitalWrite(botao2,HIGH);
  digitalWrite(botao3,HIGH);
  digitalWrite(botao4,HIGH);

  xbee.begin(9600);

  lcd.begin(16, 2);
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("XBEE1");
```

```
lcd.setCursor(0, 1);  
lcd.print("XBEE2");  
  
delay(5000);  
}  
  
void loop() {  
  
  xbee.readPacket();  
  
  if (xbee.getResponse().isAvailable()) {  
    if (xbee.getResponse().getApiId() == ZB_RX_RESPONSE) {  
      xbee.getResponse().getZBRxResponse(rx);  
      long aux;  
      int leitura_reset = digitalRead(botao4);  
      while(leitura_reset == 0) {  
        software_reset();  
        aux_set_parametros = 0;  
      }  
  
      aux = 0x4054DDFB;  
      atRequest.setCommand(rssiCmd);  
      sendAtCommand(aux, 0);  
  
      aux = 0x408A48E0;  
      atRequest.setCommand(rssiCmd);  
      sendAtCommand(aux, 1);  
  
      int leitura_set_parametros = digitalRead(botao3);
```

```
while(leitura_seta_parametros == 0) {  
  
    if (aux_seta_parametros == 0) {  
        rssi_sala_banheiro = rssi2;  
        rssi_sala_sala = rssi1;  
  
        lcd.setCursor(0, 0);  
        lcd.print("Leitura feita!");  
        lcd.setCursor(0, 1);  
        lcd.print("Sala      ");  
        delay(1500);  
  
        lcd.setCursor(0, 0);  
        lcd.print("RSSI Banh ");  
        lcd.print(rssi_sala_banheiro);  
        lcd.print("dBm");  
        lcd.setCursor(0, 1);  
        lcd.print("RSSI Sala ");  
        lcd.print(rssi_sala_sala);  
        lcd.print("dBm");  
        delay(1500);  
  
        lcd.setCursor(0, 0);  
        lcd.print("Va para a outra ");  
        lcd.setCursor(0, 1);  
        lcd.print("localizacao  ");  
        delay(1500);  
        aux_seta_parametros = 1;  
    }  
}
```

```
else if (aux_sete_parametros == 1) {  
    rssi_banheiro_banheiro = rssi2;  
    rssi_banheiro_sala = rssi1;  
  
    lcd.setCursor(0, 0);  
    lcd.print("Leitura-feita!");  
    lcd.setCursor(0, 1);  
    lcd.print("Banheiro   ");  
    delay(1500);  
  
    lcd.setCursor(0, 0);  
    lcd.print("RSSI Banh ");  
    lcd.print(rssi_banheiro_banheiro);  
    lcd.print("dBm");  
    lcd.setCursor(0, 1);  
    lcd.print("RSSI Sala ");  
    lcd.print(rssi_banheiro_sala);  
    lcd.print("dBm");  
    delay(1500);  
  
    lcd.setCursor(0, 0);  
    lcd.print("Va para a outra ");  
    lcd.setCursor(0, 1);  
    lcd.print("localizacao   ");  
    delay(1500);  
    aux_sete_parametros = 0;  
}
```

```
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("XBEE1   ");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("XBEE2   ");
    leitura_seta_parametros = 1;

}

int leitura_banheiro = digitalRead(botao1);
int leitura_sala = digitalRead(botao2);

if(leitura_sala == 0) {
    if((rssi1 >= rssi_sala_sala) && (rssi2 <= rssi_sala_banheiro)) {
        rssi1=0;
        rssi2=0;
        saida_sala();
    }
}

if(leitura_banheiro == 0) {
    if((rssi1 <= rssi_banheiro_sala) && (rssi2 >= rssi_banheiro_banheiro)) {
        rssi1=0;
        rssi2=0;
        saida_banheiro();
    }
}
}
```

```
}  
  
void sendAtCommand(long endereco, int linha){  
    // send the command  
    xbee.send(atRequest);  
  
    // wait up to 5 seconds for the status response  
    if (xbee.readPacket(2000)) {  
        // got a response!  
  
        // should be an AT command response  
        if (xbee.getResponse().getApiId() == AT_COMMAND_RESPONSE) {  
            xbee.getResponse().getAtCommandResponse(atResponse);  
  
            if (atResponse.isOk()) {  
  
                if (atResponse.getValueLength() > 0) {  
  
                    long aux = rx.getRemoteAddress64().getLsb();  
  
                    if (aux == endereco) {  
  
                        lcd.setCursor(6, linha);  
                        lcd.print("-");  
  
                        for (int i = 0; i < atResponse.getValueLength(); i++) {  
                            lcd.setCursor(7, linha);  
                            lcd.print(atResponse.getValue()[i], DEC);  
                        }  
                    }  
                }  
            }  
        }  
    }  
}
```

```
        if(endereco == 0x4054DDFB) {  
            rssi1 = -(atResponse.getValue()[i]);  
        }  
        if (endereco == 0x408A48E0) {  
            rssi2 = -(atResponse.getValue()[i]);  
        }  
    }  
  
    lcd.setCursor(10, linha);  
    lcd.print("dBm  ");  
}  
  
}  
} else{  
    lcd.setCursor(6, linha);  
    lcd.print("esperando");  
  
}  
  
}  
}  
}  
  
void pwm(int valor, int pino){  
    if (valor == 0) {  
        digitalWrite(pino,HIGH);  
        delayMicroseconds(200);
```

