

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA**

**ALGORITMO DE LOCALIZAÇÃO  
UTILIZANDO O MÉTODO MMSE PARA O  
CÁLCULO DE POSIÇÃO DE NÓS SENSORES  
EM UMA REDE MÓVEL**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Vitor Angelo Pozzatti Righi**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2013**

# **ALGORITMO DE LOCALIZAÇÃO UTILIZANDO O MÉTODO MMSE PARA O CÁLCULO DE POSIÇÃO DE NÓS SENSORES EM UMA REDE MÓVEL**

**Vitor Angelo Pozzatti Righi**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Programa de  
Pós-Graduação em Informática (PPGI), Área de Concentração em  
Computação, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS),  
como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Ciência da Computação**

**Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr. João Baptista Martins**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2013**

Pozzatti Righi, Vitor Angelo

Algoritmo de Localização Utilizando o Método MMSE para o Cálculo de Posição de nós Sensores em uma rede Móvel / por Vitor Angelo Pozzatti Righi. – 2013.

68 f.: il.; 30 cm.

Orientador: João Baptista Martins

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Informática, RS, 2013.

1. Redes de Sensores Móveis. 2. Algoritmo de Localização. 3. Movimentos Aleatórios. I. Baptista Martins, João. II. Título.

---

© 2013

Todos os direitos autorais reservados a Vitor Angelo Pozzatti Righi. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

E-mail: [vitorrighi@gmail.com](mailto:vitorrighi@gmail.com)

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Tecnologia  
Programa de Pós-Graduação em Informática**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Dissertação de Mestrado

**ALGORITMO DE LOCALIZAÇÃO UTILIZANDO O MÉTODO MMSE  
PARA O CÁLCULO DE POSIÇÃO DE NÓS SENSORES EM UMA REDE  
MÓVEL**

elaborada por  
**Vitor Angelo Pozzatti Righi**

como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Ciência da Computação**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

**João Baptista Martins, Dr.**  
(Presidente/Orientador)

**Roseclea Duarte Medina, Dr<sup>a</sup>.** (UFSM)

**Rolf Fredi Molz, Dr.** (UNISC)

Santa Maria, 12 de Novembro de 2013.

*Minha família pelo apoio incondicional.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a UFSM em especial ao grupo de pesquisa GMICRO, por proporcionarem o ambiente e suporte técnico para a realização deste trabalho. Ao meu orientador “JB” e a todos os meus mestres que de alguma maneira proporcionaram a construção deste caminho.

*“Não se pode ser pacífico sem ser forte”*  
— BARÃO DO RIO BRANCO

# RESUMO

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-Graduação em Informática  
Universidade Federal de Santa Maria

## **ALGORITMO DE LOCALIZAÇÃO UTILIZANDO O MÉTODO MMSE PARA O CÁLCULO DE POSIÇÃO DE NÓS SENSORES EM UMA REDE MÓVEL**

AUTOR: VITOR ANGELO POZZATTI RIGHI

ORIENTADOR: JOÃO BAPTISTA MARTINS

Local da Defesa e Data: Santa Maria, 12 de Novembro de 2013.

Aplicações que utilizam redes de sensores dependem de saber qual a posição onde cada nó encontra-se disposto em uma determinada área geográfica. Para isto, existem algoritmos de localização que efetuam cálculos a fim de estimar a posição exata de cada nó. Estes algoritmos utilizam-se de diferentes técnicas e medidas para realizar tal tarefa, como por exemplo: a medida de intensidade de sinal de transmissão entre dois nós. Em uma rede de sensores com alta densidade, torna-se inviável a configuração manual do posicionamento de cada nó. Para otimizar esta tarefa, foram desenvolvidos diferentes tipos de algoritmos de localização, com aplicação nas mais diversas áreas, como: rastreamento, protocolos de roteamento, controle de densidade da rede, auto organização, monitoramento de áreas remotas, agricultura de precisão, entre outros. A base para algoritmos de localização é possuir um número de pontos de referência, onde a partir destes, será calculado a posição de cada nó. Uma rede de sensores com maior número de pontos de referência, pode-se considerar uma rede com maior precisão para o cálculo de posição de seus nós. Isso, é devido aos nós estarem mais próximos aos pontos de referência. Porém, pode acarretar em um maior processamento, assim, tendo um maior consumo de energia. Projetar um algoritmo de localização com um menor número de pontos de referência não é um problema trivial. Isto porque irá aumentar a distância entre o nó e o ponto de referência, podendo desta forma, inserir erros na medição dos critérios para o cálculo de posicionamento. Para fins de cálculo, existem dois tipos de algoritmos, os algoritmos de processamento centralizado e os algoritmos de processamento distribuído. Cada um com suas vantagens e desvantagens que serão abordadas no decorrer deste trabalho. O algoritmo de localização baseia-se em um cálculo de acordo com as coordenadas em um dado sistema de coordenadas, que será levantada de acordo com a técnica utilizada para estipular a distância entre o nó sensor e os pontos de referência. A importância de conhecer a localização de cada nó, dá-se a necessidade de saber exatamente onde está ocorrendo determinado evento. Por exemplo, uma floresta que ocupa uma grande área geográfica está com princípios de incêndio em diferentes locais. É preciso avaliar quais são estes locais e qual significa um maior risco de destruição, para isto, é preciso saber a posição exata de cada local e assim tomar as devidas decisões de qual princípio deverá ser combatido primeiro. Neste caso, os nós sensores estariam estáticos, porém seria uma rede de sensores de alta densidade para cobrir uma área significativa de floresta. Pode-se também ter uma rede de sensores com nós móveis, onde então o objetivo é realizar o rastreamento da locomoção destes nós. A partir deste rastreamento, pode-se identificar o comportamento de um rebanho de animais por exemplo, verificando seu deslocamento, velocidade e direção. Com estes dados de comportamento, dependendo do animal pode-se deduzir se ele está doente, alimentando-se ou até mesmo morto se imóvel por um longo período de tempo.

**Palavras-chave:** Redes de Sensores Móveis. Algoritmo de Localização. Movimentos Aleatórios.

# ABSTRACT

Master's Dissertation  
Post-Graduate Program in Informatics  
Federal University of Santa Maria

## DISSERTATION TITLE

AUTHOR: VITOR ANGELO POZZATTI RIGHI

ADVISOR: JOÃO BAPTISTA MARTINS

Defense Place and Date: Santa Maria, March 12<sup>st</sup>, 2013.

Applications that use sensor networks depends on knowing which position where each node is arranged in a particular geographic area. For this, there are algorithms that perform location calculations to estimate the exact position of each node. These algorithms use a different techniques and metrics to make it, for example: the measure of intensity of signal transmission between two nodes. In a sensor network with high density, it becomes infeasible to manually configuring each node positioning. To optimize this task, was developed different types of localization algorithms, with application in several areas, such as tracking, routing protocols, network density control, self organizing, monitoring remote areas, precision agriculture, among others. The basis for localization algorithms is to have a number of reference points, where from these, is calculated the position of each node. A network of sensors with a greater number of reference points, one can consider a network with higher accuracy for calculating the position of its nodes. This is due to being closer to the reference points. However, may result in a higher processing, thereby having a higher energy consumption. Developing a location algorithm with fewer reference points is not a trivial problem. This, because will increase the distance between the node and the reference point and may thereby inserting errors in the measurement of the criteria for the calculation of positioning. For calculation purposes, there are two types of algorithms, algorithms for centralized processing and distributed processing algorithms. Each with its advantages and disadvantages that will be discussed in this paper. The location algorithm is based on a calculation according to data coordinates in a coordinate system, which is raised according to the technique used to denote the distance between the sensor node and the reference points. The importance of knowing the location of each node, there is the need to know exactly where a particular event is occurring. For example, a forest that occupies a large geographic area is to principles of fire at different locations.

**Keywords:** Wireless Sensor Network, Localization Algorithm, Beacons Mobile, .

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AOA	<i>Angle of Arrival</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
NAM	<i>Network Animator</i>
NS	<i>Network Simulator</i>
OTcl	<i>Object Tool Com- mand Language</i>
RSS	<i>Received Signal Strength</i>
RSSF	<i>Redes de Sensores sem Fio</i>
RSSI	<i>Received Signal Strength Indicator</i>
RTT	<i>Round-Trip Time</i>
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
TDOA	<i>Time Difference of Arrival</i>
TOA	<i>Time of Arrival</i>
UDP	<i>User Datagram Protocol</i>
VINT	<i>Virtual Network TestBed</i>
WSN	<i>Wireless Sensor Network</i>
MMSE	<i>Minimum Mean Square Estimate</i>

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>1.1 Apresentação do Problema</b> .....	15
<b>1.2 Contribuições</b> .....	16
<b>2 REDES DE SENSORES MÓVEIS</b> .....	17
<b>2.1 Padrão IEEE 802.15.4</b> .....	17
2.1.1 Topologias de Rede.....	17
2.1.2 Camada Física.....	17
2.1.3 ZigBee.....	18
<b>2.2 Resumo</b> .....	19
<b>3 MÉTODOS DE LOCALIZAÇÃO EM REDES DE SENSORES SEM FIO</b> .....	20
<b>3.1 Categorias de Algoritmos de Localização</b> .....	20
3.1.1 Coordenadas pré-configuradas.....	20
3.1.2 Propagação da Informação dos nós.....	20
3.1.3 Granularidade da Informação.....	21
3.1.4 Distribuição do Processamento.....	21
<b>3.2 Sistemas de Localização</b> .....	22
3.2.1 Componentes de Sistemas de Localização.....	22
3.2.2 Cálculo de Distância/Ângulo.....	22
3.2.3 Cálculo de Posição.....	22
3.2.4 Algoritmo de Localização.....	23
<b>3.3 Métodos e Técnicas para Cálculo de Posição</b> .....	23
3.3.1 Sistema de Posicionamento Global.....	24
3.3.2 Métodos Baseados na Medição da Distância - <i>Range-based</i> .....	25
3.3.3 Tempo de Chegada – TOA <i>Time of Arrival</i> .....	25
3.3.4 Diferença no tempo de chegada - TDOA <i>Time Difference of Arrival</i> .....	26
3.3.5 Ângulo de Chegada - AOA <i>Angle of Arrival</i> .....	27
3.3.6 Intensidade do Sinal Recebido - RSSI <i>Received Signal Strength Indicator</i> .....	27
3.3.7 Resumo.....	27
<b>4 ALGORITMOS DE LOCALIZAÇÃO</b> .....	28
<b>4.1 Conceito</b> .....	28
4.1.1 Algoritmo CAB ( <i>Concentric Anchors-Beacons</i> ).....	28
4.1.2 Algoritmo DV-HOP.....	29
4.1.3 Algoritmo APS ( <i>Ad-hoc Positioning System</i> ).....	29
4.1.4 Algoritmo MCL ( <i>Monte Carlo Localization</i> ).....	30
4.1.5 Algoritmo Centroid.....	31
4.1.6 Algoritmo MACL ( <i>Mobile Anchor Centroid Localization</i> ).....	32
4.1.7 Algoritmo CentroidM ( <i>CentroidMobile</i> ).....	33
<b>4.2 Considerações sobre Algoritmos de Localização</b> .....	34
4.2.1 Padrões de Movimentação em Redes de Sensores.....	34
<b>4.3 Discussão do Problema</b> .....	36
<b>4.4 Resumo</b> .....	38
<b>5 ALGORITMO PROPOSTO</b> .....	39
<b>5.1 Metodologia</b> .....	39
<b>5.2 Funcionamento</b> .....	44
<b>5.3 Resumo</b> .....	46

<b>6 AMBIENTE DE DESENVOLVIMENTO E SIMULAÇÃO</b> .....	48
<b>6.1 Network Simulator (ns-2)</b> .....	48
6.1.1 Implementação .....	50
6.1.1.1 Position .....	51
6.1.1.2 MMSE .....	51
6.1.1.3 LocReqAgent .....	51
6.1.1.4 LocResAgent .....	52
6.1.1.5 ResData .....	52
<b>6.2 Ambiente de Testes/Simulação</b> .....	52
6.2.1 Caracterização do Ambiente de Teste .....	52
6.2.1.1 Mobilidade de Percurso Aleatório .....	53
6.2.1.2 Padrão de Propagação de Sinal de Rádio Frequência .....	54
6.2.1.3 Consumo na Transmissão.....	54
6.2.1.4 Consumo na Recepção .....	55
6.2.1.5 Características da Antena .....	55
6.2.2 Resumo .....	55
<b>7 RESULTADOS OBTIDOS E ANÁLISE DE DESEMPENHO</b> .....	56
7.0.3 Resumo .....	60
<b>8 CONCLUSÃO</b> .....	62
<b>8.1 Trabalhos Futuros</b> .....	62
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	64

# 1 INTRODUÇÃO

Devido ao grande avanço da microeletrônica que implica diretamente na miniaturização dos circuitos integrados juntamente com baixo consumo, a tecnologia de comunicação wireless vem crescendo e está apta a ser utilizada em redes de sensores sem fio devido a esta evolução. Uma rede de sensores pode consistir de um grande número de nós sensores, estes tem uma capacidade reduzida de processamento, armazenamento de memória e consumo de energia (J. YICK; GHOSAL, 2008). Uma rede de sensores deve ser capaz de capturar dados do meio em que está, realizar um pequeno processamento e transmitir estes. Para que estes dados tenham validade, cada nó sensor deverá ter seu posicionamento mapeado, para isto, utiliza-se algoritmos de localização (I. F. AKYILDIZ W. SU; CAYIRCI, 2002). Com o reconhecimento da posição de cada nó, pode-se então obter do ambiente, medidas de grandezas físicas do tipo: temperatura, humidade, velocidade, campo magnético, pressão atmosférica, entre outras.

As redes de sensores veem sendo largamente utilizadas em operações militares (M. HUSSAIN; SUP, 2009), saúde (S. H. TOH K. H. DO; LEE, 2009), desastres naturais (N. WIRAWAN S. RACHMAN; MITA, 2008), dentre outras aplicações. A maioria dessas aplicações requerem conhecer a posição de cada nó sensor. Como o exemplo já citado de uma floresta com princípios de fogo, onde nós sensores estariam equipados com sensores de temperatura. Assim que detectada a presença de fogo, um alerta poderia ser disparado. Entretanto, se o nó sensor não indicar o posicionamento dele, de nada adiantaria o alerta gerado.

Uma maneira para a localização de um nó sensor é através da configuração manual da posição de cada nó, esta solução é muito trabalhosa e serve somente para redes de sensores estáticas e pequenas, mesmo assim, se os sensores estiverem em áreas de difícil acesso, torna-se uma tarefa bastante difícil.

Para o referenciamento de cada nó em uma rede de sensores móveis, torna-se indispensável a utilização de algoritmos que efetuem as medidas, estabelecer a posição de cada nó é uma tarefa difícil. Muitos algoritmos estão sendo desenvolvidos e propostos para esta aplicação. Uma abordagem adotada para rede de sensores móveis é a utilização de nós especiais, chamados de *Beacons*. Onde cada *Beacon* recebe sua posição através de GPS (*Global Positioning System*) ou manualmente. Estes *Beacons* irão servir de pontos de referência para que seja feito o cálculo da posição de cada nó sensor.

Como pode ser visto, há uma grande gama de aplicações para a utilização e implantação

de redes de sensores móveis. O processo de reconhecimento e localização dos nós em redes não é uma tarefa trivial, pois os nós dispõem de pouco poder de processamento, armazenamento e energia disponível. É neste contexto de redes móveis que este trabalho se deterá, ou seja, no estudo de técnicas aplicadas a localização de nós sensores com o intuito de diminuir o consumo e aumentar a mobilidade da rede. Porém, segundo (NICULESCU, 2003) uma rede de sensores é extremamente projetada para uma aplicação em específico.

## 1.1 Apresentação do Problema

Muitos algoritmos de localização utilizam-se de um grande número de pontos de referência para ganhar performance e precisão ao estimar a localização de cada nó sensor. Entretanto, para implementar um algoritmo de localização eficiente deve-se levar em consideração alguns pontos para o projeto, que são:

- A complexidade para cálculos de posição no algoritmo de localização cresce proporcionalmente conforme aumenta o número de pontos de referência (D. LIECKFELDT; TIMMERMANN, 2008). Mais pontos de referência requer mais memória, mais processamento e conseqüentemente maior será o consumo de energia. Sendo assim, deverá ter um mecanismo para escolher o menor número possível de pontos de referência em uma rede de sensores.
- A escolha dos pontos de referência também é um problema, pois poderá ser escolhido um ponto de referência muito distante ao nó sensor, isto acarretará em um maior erro na precisão dos cálculos de posicionamento.
- O algoritmo deve ser otimizado, pois a rede de sensor será completamente móvel. Tendo os nós sensores móveis e os pontos de referência móveis.
- Para estimativa de posição, poderá ser utilizado uma fusão de informações. O nó sensor poderá estimar sua localização através da medida de distância entre seus nós vizinhos e requerer posição atual destes, assim, fazendo uma fusão entre posição dos vizinhos e distância entre nó e o vizinho solicitado.
- Diferentes técnicas para medir a distância entre nó sensor e ponto de referência são utilizados em algoritmos de localização. A escolha desta técnica implicará na precisão dos cálculos de posicionamento.

Levando em consideração os motivos citados acima, observa-se que a tarefa de desenvolver um algoritmo de localização aplicado a redes de sensores móveis não é um projeto trivial. Deve ser feito um balanceamento entre precisão do cálculo de posicionamento, consumo de energia, mobilidade, escolha dos pontos de referência, entre outros.

## 1.2 Contribuições

O objetivo principal deste trabalho é o desenvolvimento de um algoritmo de localização que faça um melhor uso dos requisitos de projeto citados anteriormente, garantindo a mobilidade total da rede, menor consumo dos nós e precisão do cálculo de posicionamento, aplicado a uma rede de sensores com nós e âncoras móveis.

Para isto, será feito o levantamento e estudos de diferentes técnicas e algoritmos para a localização de nós sensores. A partir disto, será escolhido o que melhor se adequa a proposta deste trabalho, tornando este como ponto de referência para o desenvolvimento do algoritmo proposto. Levando em consideração estes aspectos, pode-se avaliar como principais contribuições deste trabalho:

- Comparação entre diferentes técnicas de localização
- Implementação de um algoritmo para redes de sensores móveis
- Localização dos nós sensores em uma rede onde tanto os nós sensores sejam móveis como também os âncoras.
- Computação distribuída em redes de sensores sem fio móveis

## 2 REDES DE SENSORES MÓVEIS

Este Capítulo apresenta uma visão sobre redes de sensores sem fio *ZigBee* dando enfoque ao padrão IEEE 802.15.4. Diferentes topologias podem ser utilizadas para redes de sensores sem fio, assim como diferentes modos de operação. Estas características são apresentadas a seguir, seguindo os parâmetros utilizados para o referente trabalho.

### 2.1 Padrão IEEE 802.15.4

O padrão IEEE 802.15.4 foi desenvolvido a partir de uma necessidade de comunicação em redes pessoais, também conhecida como PAN (*Personal Area Network*), que até então não era atendido pelos padrões como o WI-FI (IEEE 802.11) e Bluetooth (802.15.1), estas necessidades demandam baixo consumo em potência e baixas taxas de transmissões de dados. A norma especificada para o padrão IEEE 802.15.4 é definida pela OSI (*Open System Interconnection*), definindo os padrões de comunicação para o protocolo de controle de acesso ao meio (MAC – *Medium Access Control*) e a camada física (PHY - *Physical Layer*). Deixando o desenvolvimento das camadas superiores para os projetistas adequarem a suas aplicações, adicionando serviços não definidos pela norma, tais como: criptografia e roteamento.

#### 2.1.1 Topologias de Rede

O padrão IEEE 802.15.4 pode ser dividido em duas topologias de redes, estrela e ponto-a-ponto. A Figura 2.1 ilustra a topologia estrela, em comparação com a topologia ponto-a-ponto, ela mantém uma topologia mais estruturada. Pois, existe um coordenador da PAN, que é sempre o nó central, a comunicação entre os nós da rede sempre ocorre por seu intermédio, não havendo comunicação direta entre os nós da rede. Por outro lado, a topologia de comunicação ponto-a-ponto propicia esta comunicação direta entre os nós, não necessariamente passando por um coordenador central, como pode ser visto na Figura 2.2.

#### 2.1.2 Camada Física

A camada física essencialmente faz a conversão do sinal analógico recebido para um sinal digital que será utilizado pela camada de controle de acesso ao meio MAC, e vice-versa. Também fornece informações sobre detecção de energia recebida e qualidade do link, caracte-

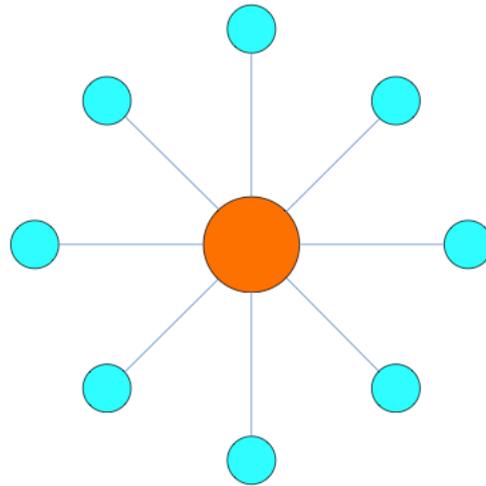


Figura 2.1 – Topologia Estrela (REGHELIN, 2007)

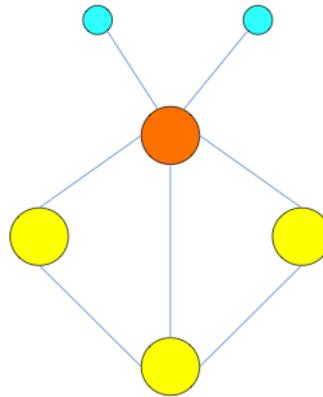


Figura 2.2 – Topologia Ponto-a-Ponto (REGHELIN, 2007)

rísticas importantes para o desenvolvimento deste trabalho. O padrão IEEE 802.15.4 oferece três frequências de operação, que são: 868 MHz, 915 MHz e 2.4 GHz. Para o corrente trabalho, a frequência de 2.4 GHz foi escolhida, devido não precisar de licenciamento para o seu uso, sendo uma frequência aberta para uso global.

### 2.1.3 ZigBee

*ZigBee* é um padrão de comunicação sem fio, com base na tecnologia IEEE 802.15.4, utilizando-se de suas camadas PHY e MAC para a troca de dados. Aplicações com o padrão *ZigBee* exigem baixo consumo de energia, baixas transmissões de dados, aliados normalmente a funcionalidades mais avançadas, bastante utilizada em redes de sensores sem fio. Aplicações onde pode-se utilizar a tecnologia *ZigBee* incluem desde controles de acesso, controle industrial, construção e automação residencial, monitoramento ambiental entre muitos outros. O

padrão *ZigBee* adota a divisão em camadas para a sua comunicação, dividida em três camadas principais, que são:

- Camada de Aplicação
- Pilha de comunicação *ZigBee* MAC/rede
- Camada Física

A Camada de Aplicação contém as funcionalidades que o nó sensor terá, no caso deste trabalho, o algoritmo de localização. A Camada da Pilha de Comunicação é responsável por fornecer funcionalidades da rede como, protocolos de roteamento, endereçamento, entre outros. Já a Camada Física é composta pelas camadas MAC e PHY do padrão IEEE 802.15.4.

## **2.2 Resumo**

Neste Capítulo foi apresentando o padrão de comunicação IEEE 802.15.4 e a tecnologia *ZigBee*. Destaca-se para a utilização neste trabalho a topologia de rede ponto-a-ponto utilizando o protocolo *ZigBee* para a comunicação entre nós sensores, dotados de um rádio operando sobre a frequência de 2.4 GHz. O desenvolvimento deste trabalho dá-se na Camada de Aplicação, onde encontra-se o algoritmo de localização, fazendo o uso de informações provindas da Camada Física. A seguir é apresentando os conceitos necessários para o estudo de métodos de localização e aplicação destes em um algoritmo de localização.

### 3 MÉTODOS DE LOCALIZAÇÃO EM REDES DE SENSORES SEM FIO

Algoritmos de localização em redes de sensores sem fio surgiram da necessidade de prover no espaço as coordenadas de cada nó da rede de sensores sem fio, evitando assim, de cada nó ter sua posição pré-definida. Neste capítulo será apresentado os conceitos gerais de sistemas de localização, bem como a classificação dos algoritmos de localização, métodos de cálculos de distância e posicionamento.

#### 3.1 Categorias de Algoritmos de Localização

Algoritmos de localização diferem dos demais algoritmos por vários motivos (J. WANG; DAS, 2010), devido a forma que se adquire dados de entrada, o estado atual do nó sensor (estático ou móvel), o local do nó sensor (*indoor ou outdoor*), se tem a necessidade de adicionar hardware extra, a maneira com que faz requisição de seu posicionamento (periodicamente ou por demanda) e se o nó sensor é responsável por calcular seu posicionamento (processamento distribuído ou centralizado).

Algoritmos de localização podem ser classificados por diferentes tipos de categorias. Franceschini et al. (F. FRANCESCHINI M. GALETTO; MASTROGIACOMO, 2009) classifica em quatro categorias diferentes: coordenadas pré-configuradas, propagação da informação, granularidade da informação e distribuição do processamento. A seguir serão apresentadas essas categorias e porque utilizar estas abordagens ao desenvolver um algoritmo de localização.

##### 3.1.1 Coordenadas pré-configuradas

Algoritmos de localização também podem ser classificados por “*beacon-based*” ou “*beacon-free*”, dependendo se há nós sensores com coordenadas pré-definidas ou não. Utilizando o método *Beacon-based*, o nó sensor deverá ser capaz de indicar sua posição através de GPS ou deverá ser configurado manualmente (Q. SHI H. HUO; LI, 2010). Já no método *Beacon-free*, é feito uma estimativa de localização através da proximidade com seus nós sensores vizinhos.

##### 3.1.2 Propagação da Informação dos nós

Podem ser classificados por “incremental” ou “concorrente”, baseado na maneira com que a informação da localização de cada nó propaga-se na rede. O algoritmo incremental co-

meça com um número baixo de *Beacons* e vai propagando incrementalmente sua informação de localização pela rede para que seja possível calcular a posição dos demais nós da rede de sensores. Por outro lado, o algoritmo concorrente, também conhecido como *multi-hop* (N. PATWARI J. N. ASH; CORREAL, 2005), compartilha sua informação simultaneamente entre todos os nós da rede de sensores.

### 3.1.3 Granularidade da Informação

Algoritmos de localização podem ser divididos em “granularidade-fina” e “granularidade-grossa”. Granularidade-fina utiliza-se de informações precisas para estimar a localização (RAHMAN; KLEEMAN, 2009), por exemplo, estimar a distância entre *Beacon* e nó sensor através da intensidade do sinal recebido (RSS - *Received Signal Strength*) ou através do tempo de chegada (ToA - *Time of Arrival*). Por outro lado a técnica de granularidade-grossa utiliza o método de *hop-count* para estimar a distância entre nó sensor e *Beacon*. Esta técnica utiliza um menor número de *Beacon's* para cálculos de posição, porém, perde em precisão se comparado à técnica de granularidade-fina.

### 3.1.4 Distribuição do Processamento

Os algoritmos de localização também podem ser classificados em algoritmos “centralizados” ou “distribuídos”, estes diferem se o cálculo de localização é realizado em cada nó sensor ou por uma unidade central de processamento. No algoritmo centralizado é necessário o conhecimento de todos os nós da rede para o cálculo de suas posições (CAPKUN; HUBAUX, 2006), enquanto no algoritmo distribuído para o cálculo da posição, as informações são coletadas de nós vizinhos (Q. SHI H. HUO; LI, 2010) e computados em cada nó sensor.

Algoritmos centralizados utilizam uma maior taxa da banda de comunicação da rede de sensores comparado ao algoritmo distribuído, isto é devido seu processamento centralizado necessitar coletar dados de todos os sensores (ABU-MAHFOUZ, 2011). A maior vantagem do algoritmo distribuído é reduzir essa troca de informação na rede de sensores.

## 3.2 Sistemas de Localização

### 3.2.1 Componentes de Sistemas de Localização

Em sistemas de localização do tipo *Beacon-based*, nós sensores especiais chamados de *Beacon* são necessários para efetuar os cálculos de localização. Os *Beacons* obtêm sua localização através de GPS ou da configuração manual de sua posição geográfica. Os restantes dos nós sensores na rede que não possuem sua localização definida são chamados de “*unknowns*” ou nós sensores desconhecidos. A Figura 3.1 mostra os três componentes do sistema de localização: cálculo de distância/ângulo, cálculo de posição e algoritmo de localização (A. BOUKER-CHE H. OLIVEIRA; LOUREIRO, 2008).

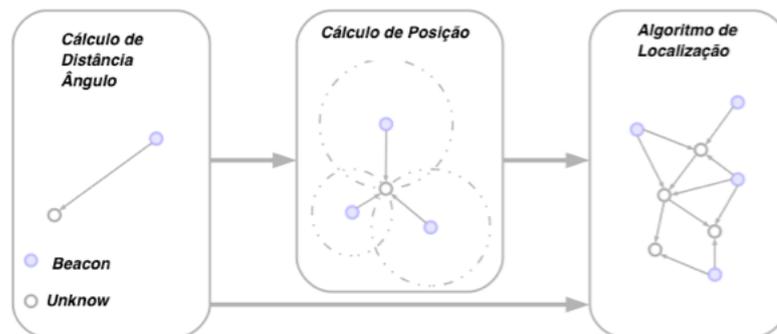


Figura 3.1 – Componentes do Sistema de Localização

### 3.2.2 Cálculo de Distância/Ângulo

Esta grandeza é utilizada para determinar qual a relação física no espaço entre dois nós sensores, com sua medida usada para determinar a posição do nó. Diferentes abordagens podem ser utilizadas para este propósito, como o uso de antenas direcionais (HU; EVANS, 2004), rádio frequência (RASMUSSEN; CAPKUN, 2007), conectividade (R. MAHESHWARI; DAS, 2007). Na prática, essas abordagens fazem o uso de muitas técnicas, incluindo RSS, ToA, *time difference of arrival* (TDoA), *angle of arrival* (AoA) ou *round-trip time* (RTT). Estas diferentes abordagens serão discutidas com mais detalhes no item 3.3.

### 3.2.3 Cálculo de Posição

Este componente é responsável por realizar o cálculo da posição do nó sensor com base nas medidas de distância, apresentado no componente anterior e a posição dos *Beacons*. Algu-

mas técnicas utilizadas para o cálculo da posição são: triangulação (K. Y. CHENG; LUI, 2005), trilateração (S. TIAN X. ZHANG; ZHANG, 2007) e multilateração (J. LIU; ZHAO, 2006). Na técnica de triangulação é necessário utilizar o método de AoA para realizar o cálculo da posição, isto acarreta um preço elevado na implementação de uma rede de sensores, pois as antenas direcionais possuem um preço elevado (N. B. PRIYANTHA H. BALAKRISHNAN; TELLER, 2003). A triangulação utiliza a distância entre os últimos três *Beacons* para realizar o cálculo da posição, para isto, utiliza uma fórmula geométrica do triângulo para calcular e determinar as coordenadas. A técnica de multilateração utiliza um modelo matemático, calculando a interseção de múltiplas hipérbolas (SRINIVASAN; WU, 2008), também baseia-se na distância e localização de três ou mais *Beacons*.

### 3.2.4 Algoritmo de Localização

Este é o principal componente de um sistema de localização. Ele faz a ligação de todos os componentes já listados e define como a informação será tratada para realizar os cálculos de posição do nó. Como já visto anteriormente, estes algoritmos podem ser centralizados ou distribuídos. Algoritmos centralizados tem em sua maioria, um maior demanda de processamento e conseguem estimar com maior precisão o posicionamento de cada nó (BISWAS; YE, 2004), por outro lado, demandam de uma grande troca de dados entre nós e *Beacons*. Nos algoritmos distribuídos essa troca de dados entre nós e *Beacons* é menor, comparada aos algoritmos centralizados.

## 3.3 Métodos e Técnicas para Cálculo de Posição

O problema de cálculo de posição consiste basicamente em identificar a localização de um determinado objeto através de coordenadas geográficas. Na literatura este problema e estudado de diferentes maneiras, abrangendo áreas como redes ad hoc, redes de sensores sem fio, redes de sensores móveis, telefonia, robótica e militar. Neste trabalho o problema de cálculo de posição e abordado com relação as redes de sensores móveis, a seguir é apresentado diferentes métodos encontrados na literatura utilizados para o cálculo de posição de um objeto.

### 3.3.1 Sistema de Posicionamento Global

Uma solução para obter a localização dos nós em uma rede móvel é através do sistema NAVSTAR. Também referido como Sistema de Posicionamento Global ou GPS (PARKINSON B.; GILBERT, 1983), este sistema de navegação é baseado em satélites e utiliza a triangulação para estabelecer posições, como mostra o esquema simplificado na Figura 3.2 (OLIVEIRA, 2009).

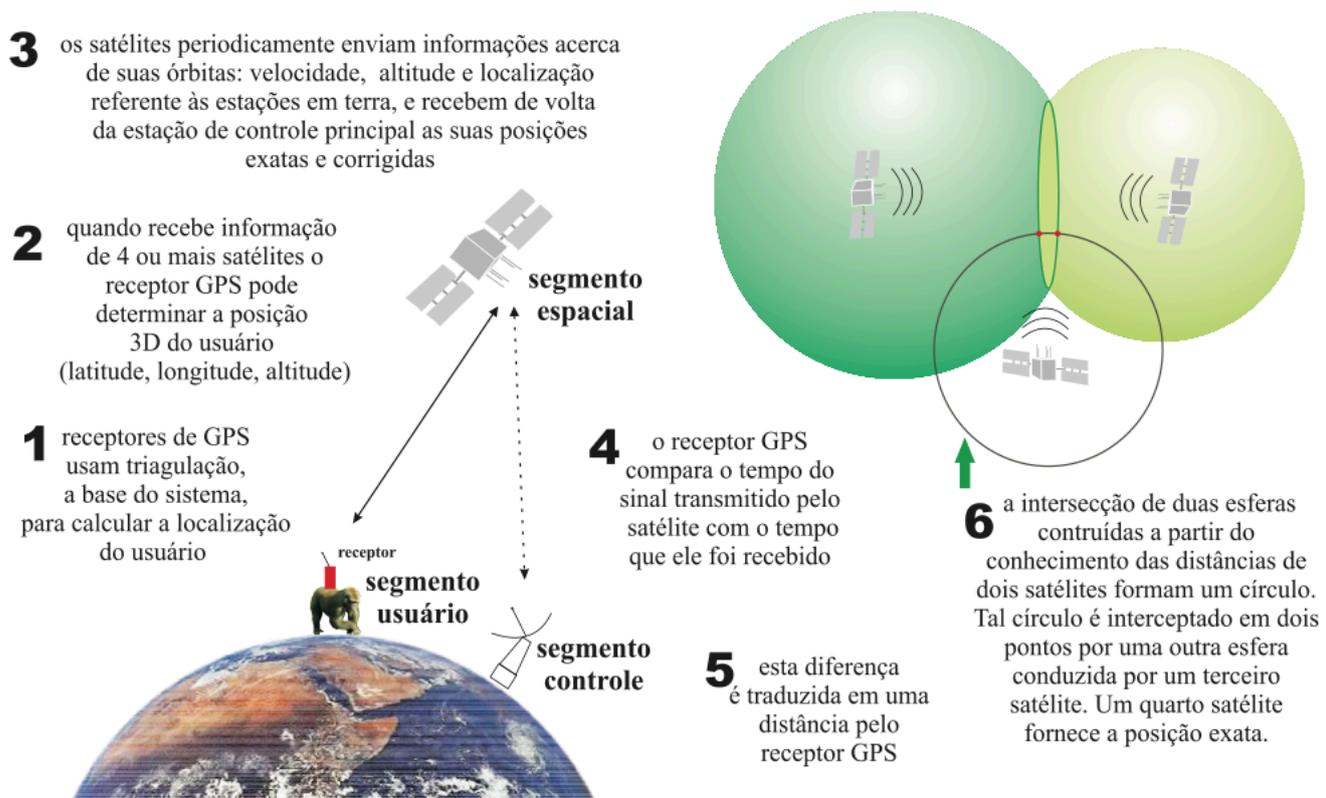


Figura 3.2 – Fluxo Simplificado para a localização utilizando GPS (OLIVEIRA, 2009)

Para o cálculo de posição o sistema de GPS utiliza do conceito de tempo de chegada, realizando a diferença no tempo de transmissão e tempo de chegada do sinal entre o satélite e o receptor:  $\text{velocidade} \times \text{tempo de viagem} = \text{distância}$ . Para isto, é necessário o emprego de relógios de alta precisão.

Em um primeiro momento, pensa-se estar resolvido o problema de localização, utilizando-se do sistema de GPS para tal fim. Porém, aplicando este modelo para rede de sensores implica em vários quesitos, onde ao fim, torna-se inviável a utilização deste em cada nó sensor. Pois, em uma rede de sensores de alta densidade elevaria o custo financeiro, tendo um GPS em cada nó. Outro aspecto é o consumo em potência, onde a adição de um GPS reduziria o tempo de

vida do nó sensor, devido ao maior consumo do sistema (OLIVEIRA, 2009).

### 3.3.2 Métodos Baseados na Medição da Distância - *Range-based*

As distâncias entre o nó desconhecido e os *Beacons* (nó âncora) são obtidas por medidas de alcance, ou *range* do sinal de rádio. Para o cálculo de distância nos métodos *Range-Based*, é utilizado propriedades do triângulo para estimar a distância do nó desejado. Uma abordagem utilizada é a triangulação, onde consiste em calcular o ângulo incidente entre dois *Beacons* referente ao nó a ser descoberto, conforme ilustra Figura 3.3. Ao contrário da trilateração, que utiliza 3 pontos de referência (*Beacons*) para o cálculo da posição do nó desejado, ilustrado na Figura 3.4 (MATHIEU BOUET, 2008). Como visto, o método *range-based* utiliza da medição da distância pelo ângulo de chegada e são classificadas em:

- tempo de chegada (TOA - *Time of Arrival*);
- diferença no tempo de chegada (TDOA - *Time Difference of Arrival*);
- ângulo de chegada (AOA - *Angle of Arrival*);
- intensidade do sinal recebido (RSSI - *Received Signal Strength Indicator*).

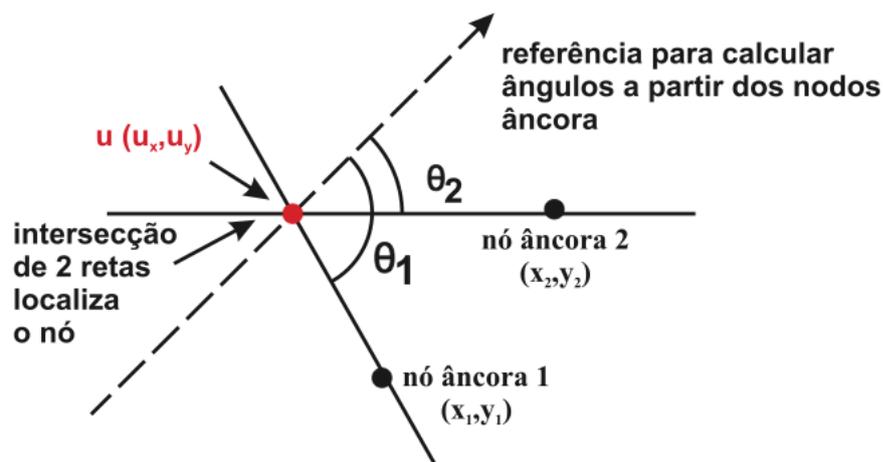


Figura 3.3 – Cálculo de posição utilizando o método de triangulação (OLIVEIRA, 2009)

### 3.3.3 Tempo de Chegada – TOA *Time of Arrival*

*Time of Arrival* ou tempo de chegada, é a distância entre o ponto de referência e o nó a ser descoberto e proporcional ao tempo de propagação do sinal no meio, *time of flight*. São necessá-

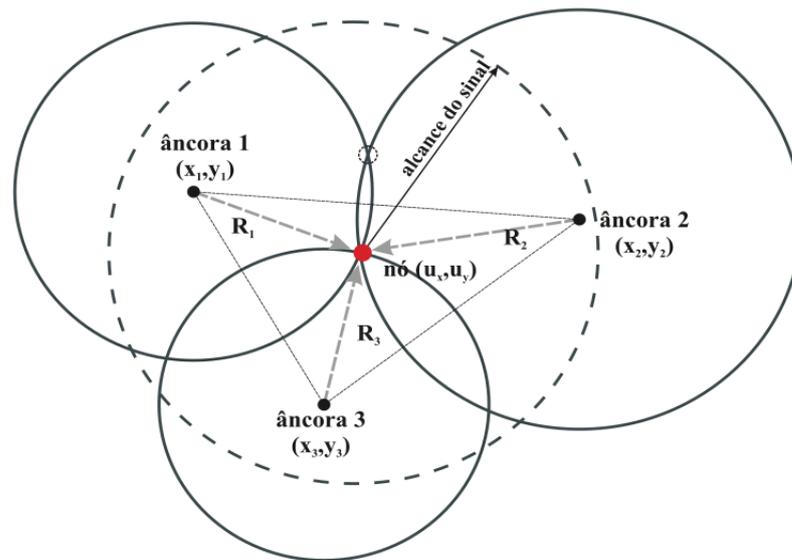


Figura 3.4 – Cálculo de posição utilizando o método de trilateração (OLIVEIRA, 2009)

rios três pontos de referência para que possa ser efetuado o cálculo de posição. Entretanto, antes de realizar as medições é necessário que ambos os nós estejam sincronizados, pois é necessário um relógio preciso para realizar a medição, levando em conta que o mesmo é calculado com base no tempo que uma mensagem leva para chegar de um nó ao outro (MATHIEU BOUET, 2008). Geometricamente como mostrado na Figura 3.4, tal distância representa os raios  $R_1$ ,  $R_2$  e  $R_3$  das circunferências, centradas nos nós âncora, dentro dos quais o nó desconhecido deve estar contido. Novamente, como este método é baseado em informações de tempo, a sincronização entre os nós âncoras e o nó desconhecido deve ser muito precisa, de outra forma os cálculos podem retornar localizações com grandes erros (OLIVEIRA, 2009).

### 3.3.4 Diferença no tempo de chegada - TDOA *Time Difference of Arrival*

O princípio do TDOA vem da ideia de determinar a localização relativa do transmissor alvo utilizando a diferença de tempo de cada sinal emitido, chegando aos demais nós. Como no TOA, este método requer uma precisão alta do relógio entre os nós envolvidos no cálculo da posição. Para isto, utiliza-se três pontos de referência, que irão fornecer duas medidas de TDOA, sendo a intersecção desses pontos a medida da localização estimada (MATHIEU BOUET, 2008).

### 3.3.5 Ângulo de Chegada - AOA *Angle of Arrival*

AOA consiste em calcular a intersecção das linhas provenientes dos pontos de referência, linha esta referente ao ângulo de medida entre *Beacon* e nó a ser descoberto. No entanto, é necessário o uso de antenas direcionais, o que eleva o custo financeiro de um projeto (MATHIEU BOUET, 2008). A Figura 3.3 apresenta uma ilustração gráfica deste método. A seta pontilhada representa a orientação do nó, a partir da qual todos os outros ângulos são reportados. A orientação, medida no sentido horário ou trigonométrico, pode ser absoluta, se é fixada para o Norte (ângulo igual a zero), ou relativa em caso contrário. A localização do nó a ser determinado é restrita ao longo de uma linha iniciando a partir do nó âncora. Desta forma, com um mínimo de dois nós âncoras não colineares, a localização do nó pode ser calculada como a intersecção de duas linhas, por trigonometria simples ou triangulação. Problemas como reflexão, difração e dispersão dificultam a precisão da medida dos ângulos (OLIVEIRA, 2009).

### 3.3.6 Intensidade do Sinal Recebido - RSSI *Received Signal Strength Indicator*

Com a técnica de RSSI, a distância entre dois pontos é medida através da intensidade do sinal recebido. Para isto, calcula-se a diferença entre a intensidade da potência emitida e a potência recebida, entre nó emissor e nó receptor. A medida que o sinal propaga-se no meio, a intensidade do sinal vai diminuindo. Convertendo este sinal da intensidade em distância em metros. Esta técnica utiliza o método de trilateração apresentado na Figura 4. A grande vantagem do método RSSI é que ele não precisa sincronização de tempo, tornando-o preferível a TOA ou TDOA neste aspecto. Adicionalmente, nenhum hardware especial é requerido, o que reduz o custo de implementação relativo ao método AOA, por exemplo, bem como o consumo em potência.

### 3.3.7 Resumo

Neste Capítulo o problema de localização foi abordado sob o ponto de vista das redes de sensores sem fio. Os sistemas de localização foram divididos em três componentes: estimativa de proximidade/distância/ângulo, cálculo de posição e algoritmo de localização. Estes três componentes abrem três frentes diferentes e independentes para o estudo de localização. A seguir será apresentado algoritmos de localização encontrados na literatura.

## 4 ALGORITMOS DE LOCALIZAÇÃO

### 4.1 Conceito

Um algoritmo de localização para aplicação em rede de sensores sem fio pode ser descrito como um conjunto de métodos matemáticos e técnicas de medidas de grandezas físicas, sendo aplicados para o cálculo de posição em um dado sistema de coordenadas. Para isto, adota-se os métodos já mencionados anteriormente que melhor se adequem a aplicação alvo. Sendo assim, a escolha destes métodos e técnicas torna-se um grande desafio, tornando-se o principal componente de um algoritmo de localização. É este conjunto que define qual maneira os dados serão capturados e computados para o cálculo da posição. A seguir serão apresentados os principais algoritmos encontrados na literatura bem como suas diferenças em relação a mobilidade e cálculo de posição.

#### 4.1.1 Algoritmo CAB (*Concentric Anchors-Beacons*)

No algoritmo de localização CAB (VIVEKANANDAN, 2006), cada nó de referência possui um sistema GPS que obtém sua localização no espaço. Os nós de referência (âncoras) enviam sinais chamados de *beacons*, em dois níveis diferentes de potência, estes dados são coletados pelo nó desconhecido que deve ser cercado por no mínimo 3 nós âncoras, apesar de utilizar somente 2 para calcular os pontos de intersecção válidos, a Figura 4.1 ilustra o método CAB.

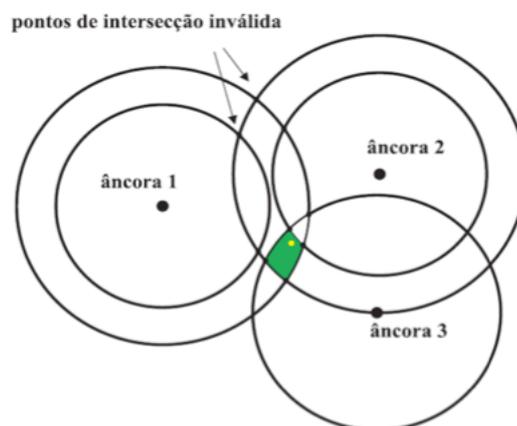


Figura 4.1 – Método CAB de Localização (VIVEKANANDAN, 2006)

Na Figura 4.1 o espaço em verde representa o intervalo entre os pontos de intersecção

válidos e o ponto amarelo representa o nó desconhecido.

#### 4.1.2 Algoritmo DV-HOP

Niculescu et al. propôs um método baseado em saltos (*hops*) denominado DV-HOP, neste método cada nó âncora conhece sua posição e determina a posição dos nós desconhecidos através de saltos, realizando a contagem de quantos saltos a mensagem efetua entre o nó âncora e nó desconhecido. A Figura 4.2 ilustra este modelo de localização proposto por (NICULESCU, 2003).

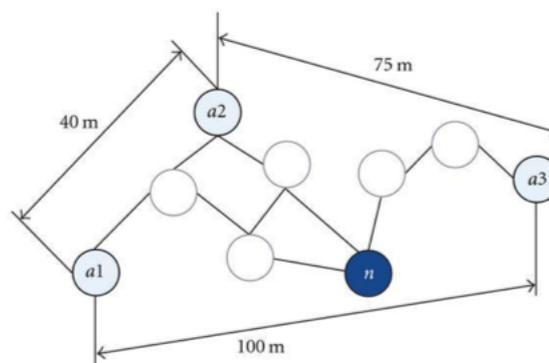


Figura 4.2 – Modelo de Localização DV-HOP (NICULESCU, 2003)

#### 4.1.3 Algoritmo APS (*Ad-hoc Positioning System*)

Niculescu et al. desenvolveram um algoritmo que efetuasse o cálculo de posição dos nós de forma distribuída utilizando somente três sensores de referência (NICULESCU, 2003). Neste, cada sensor é capaz de calcular sua posição através da técnica de multilateração utilizando uma de três maneiras propostas: Dv-hop, Dv-distance e Euclidiano.

No Dv-hop, os âncoras iniciam a propagação de suas informações de localização, a partir deste ponto, os demais sensores armazenam as informações recebidas de cada âncora, sua posição e número de saltos até ele. Após ter a posição e o número de saltos, este é capaz de calcular o tamanho médio de um salto, dividindo-se a distância euclidiana pelo número de saltos entre os dois, como pode-se observar na Figura 4.3. Este valor médio é então enviado para seus vizinhos, para ser usado como fator de correção. O sensor, ao receber um fator de correção é capaz de transformar a sua distância que estava em saltos, para metros.

Já o método Dv-distance funciona de forma semelhante ao Dv-hop. Porém, ao invés de se considerar o número de saltos, considera-se a soma das distâncias estimadas entre os

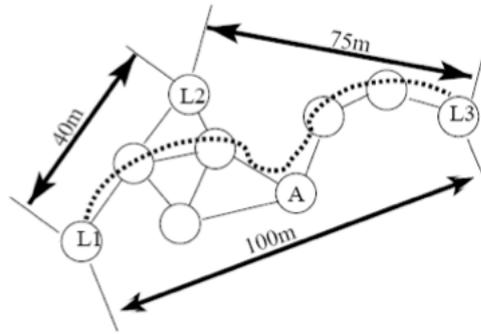


Figura 4.3 – Cálculo de distância entre L1 e L2, 20 m

sensores.

O método Euclidiano, utiliza-se da propagação da distância euclidiana real dos sensores em relação aos âncoras. Para que este mecanismo possa funcionar, é necessário que o sensor tenha como referência pelo menos dois sensores que possuam suas distâncias de um determinado âncora, bem como a distância a estes dois últimos sensores e também da distância entre os dois sensores. O cálculo da distância do sensor ao âncora é realizado utilizando o teorema de Pitágoras.

#### 4.1.4 Algoritmo MCL (*Monte Carlo Localization*)

O algoritmo de localização MCL para redes de sensores móveis é uma adaptação do método Monte Carlo desenvolvido para utilização em robôs (DELLAERT FOX, 1999). O presente método é um filtro de partículas combinado com modelos probabilísticos de percepção e movimentação do robô. A ideia central deste algoritmo é o de conseguir representar possíveis localizações posteriores a atual utilizando um conjunto de amostras. Assim, as etapas são divididas em duas etapas, que são etapa de predição e atualização, na primeira o robô realiza um movimento aleatório e ainda não consegue estimar sua localização, na fase de atualização novas observações são acrescentadas ao filtro e os dados são atualizados, este processo se repete e o robô fica continuamente atualizando suas coordenadas de localização. Existem diferenças significativas na aplicação do método de localização MCL para robôs e redes de sensores, por exemplo, enquanto no primeiro pode-se utilizar de um mapa pré-definido, os nós de uma rede sem fio se movimentam aleatoriamente em um espaço livre e desconhecido. Assim como, os robôs possuem controle e conhecimento probabilísticos da sua movimentação no mapa pré-definido, enquanto os nós possuem pouco ou nenhum controle da sua movimentação, além de desconhecer sua velocidade e direção.

O algoritmo de localização de Monte Carlo para redes de sensores móveis segue o mesmo padrão do utilizado com robôs, com a diferença de que os nós podem cooperar entre si para trocar informações de localização, desta forma (HU, 2004) optou por também segmentar o modelo entre as etapas de Predição e Filtragem (Atualização). Segundo as definições de (HU, 2004), inicialmente o nó não possui conhecimento da sua localização, e um número de amostras são mantidas em um determinado intervalo de tempo. A cada nova etapa um conjunto de novas possíveis localizações são calculadas com base no conjunto de coordenadas anterior, na possível localização definida a partir da etapa anterior e em novas observações.

#### 4.1.5 Algoritmo Centroid

O algoritmo Centroid foi proposto por (BULUSU N.; HEIDEMANN, 2000), adotando como modelo a conectividade entre os nós (*range-based*), utilizando-se do conteúdo das mensagens trocadas em uma rede. O algoritmo necessita de uma grande quantidade de nós de referência para a estimativa da posição de seus nós desconhecidos. Aplica-se a redes de sensores onde seus nós âncoras são estáticos e seu raio de abrangência consiga cobrir toda a área dos nós desconhecidos, enviando periodicamente mensagens contendo sua posição.

Utiliza-se do envio de um número de mensagens em um determinado período de tempo, tendo ao término deste período, uma amostra de dados onde é feita uma estimativa de localização. Diferentemente dos nós de referência, os nós desconhecidos são móveis e possuem movimentação aleatória na rede, periodicamente recebem as localizações dos nós de referência, e a partir da intersecção das regiões de conectividade cobertas pelos nós de referência, conseguem estimar suas coordenadas na rede.

Esta intersecção de regiões de conectividade recebe o nome de centro ou Centroid dos nós referência, daí o nome do algoritmo (OLIVEIRA, 2009). Outra característica interessante do algoritmo Centroid é o de operar com o cálculo do centro de regiões geométricas retangulares, diferentemente de outros métodos, a grande vantagem desta característica é a simplificação matemática que esta resolução traz ao método, deixando assim o algoritmo mais rápido e simples. Porém, a grande desvantagem deste ponto é o de o Centroid se tornar dependente da sobreposição do alcance de rádio dos nós âncoras. Mesmo com a limitação descrita acima, a baixa complexidade computacional do Centroid permite a ele ser um dos algoritmos mais rápidos na estimativa de localização de nós (LUZ MARTINS, 2012).

A Figura 4.4 ilustra o modelo Centroid de localização, aonde “NA” representa os nós

âncoras ou de referência, a circunferência em volta de cada nó âncora representa sua região de abrangência e, por fim, “N1” representa o nó que se deseja localizar as coordenadas (LUZ MARTINS, 2012).

O modelo proposto por (BULUSU N.; HEIDEMANN, 2000) possui características determinantes que o tornam até hoje parâmetro para diversas aplicações e melhorias, dentre elas podemos citar: Os nós desconhecidos não necessitam enviar mensagens, eles apenas recebem mensagens dos nós âncoras e com base nelas, estimam sua localização, economizando assim a energia da transmissão de mensagens e eliminando o tempo que seria gasto na troca de mensagens entre os nós móveis. No modelo Centroid só há ocorrência de envio de mensagens pequenas, contendo a identificação do nó âncora e suas coordenadas  $X_i, Y_i$ . O Centroid não utiliza equações complexas ou estatísticas, esta baixa complexidade diminui consideravelmente o tempo de processamento dos dados (LUZ MARTINS, 2012).

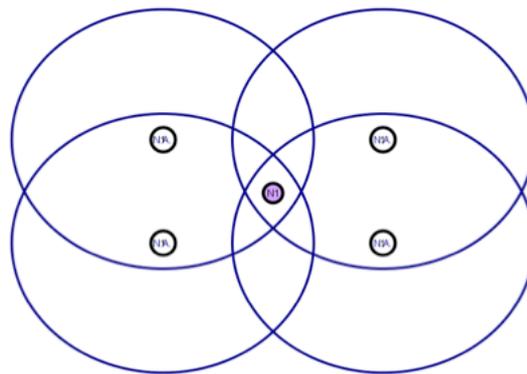


Figura 4.4 – Modelo Centroid de Localização

#### 4.1.6 Algoritmo MACL (*Mobile Anchor Centroid Localization*)

Este algoritmo proposto por (ZHEN HU1 DONGBING GU2, 2008) sugere a utilização do algoritmo Centroid para o uso em redes de sensores com âncora móvel. Porém, utiliza-se de somente um âncora equipado de um GPS movendo-se pelo ambiente onde a rede encontra-se, enquanto os nós a serem estimados suas posições continuam estáticos. O autor propõem o uso de um robô como âncora que movimenta-se em um padrão de espiral, conforme mostra a Figura 4.5, onde emite sinais periódicos de sua atual posição. Para o cálculo de posição de cada nó, o âncora deverá percorrer toda a espiral enviando mensagens contendo sua posição. Os nós devem armazenar essas mensagens pelo período de tempo determinado e após estimar sua posição. O padrão de movimento do âncora precisa garantir que cada nó receba ao menos

três mensagens. O autor ainda assume um padrão ideal de rádio e propagação de mensagens em suas simulações.

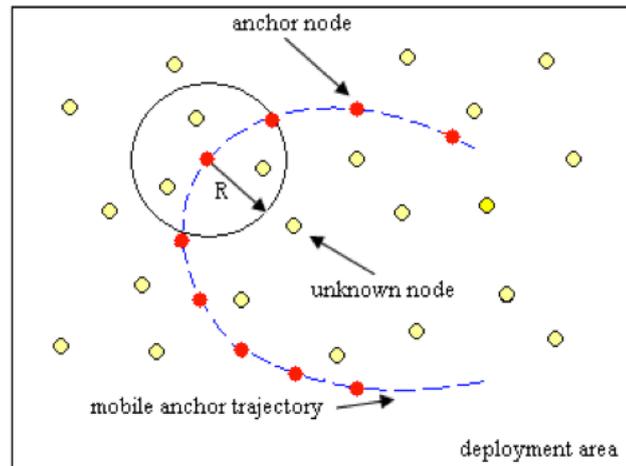


Figura 4.5 – Cenário Proposto para o Algoritmo MAEL (ZHEN HU1 DONGBING GU2, 2008)

#### 4.1.7 Algoritmo CentroidM (*CentroidMobile*)

Este algoritmo foi proposto por (OLIVEIRA, 2009) como um método a sanar as deficiências apresentadas pelo algoritmo Centroid quando aplicado em redes com algum tipo de movimentação, seja ela controlada ou aleatória. Sua proposta recai em uma topologia de rede onde os nós âncoras são fixos e os nós desconhecidos podem ser estáticos ou móveis.

Segundo Londero et al., a ideia chave por detrás do CentroidM é manipular as informações recebidas de forma a adicionar uma terceira variável, qual seja, o tempo. Desta maneira, as mensagens serão armazenadas durante um período de amostragem de forma a classificá-las temporalmente em diferentes períodos, sendo que para cada um destes períodos ou janelas temporais haverá um determinado peso. As informações recebidas na última janela de tempo, inserida no período de amostragem, possuirão uma importância diferenciada em relação ao que foi recebido na janela temporal do início do período. Com o término do período de coleta de dados, as informações de identificação do nó âncora e suas coordenadas serão manipuladas novamente, primeiro para eleger os nós âncoras e após para identificar o grau de importância segundo o seu peso, aplicando o cálculo Centroid da estimativa de localização (OLIVEIRA, 2009).

## 4.2 Considerações sobre Algoritmos de Localização

Como pode-se observar, existem muitos quesitos que devem ser ponderados ao projetar um algoritmo de localização aplicado à redes de sensores sem fio. É comum encontrar algoritmos com base em versões anteriores, como no caso dos algoritmos Centroid, MACL e CentroidM. Visando um melhoramento das características de funcionamento do algoritmo, seja elas exatidão no cálculo para estimativa de posição, medidas de distância, mobilidade de nós e âncoras, entre outras. Leonardo et al. por exemplo, focou seu trabalho CentroidM, para garantir mobilidade aos nós da rede, antes não levado em consideração no algoritmo base, o Centroid, enquanto o algoritmo MACL que tem como base o mesmo algoritmo, teve como foco de seu trabalho a mobilidade do nó âncora.

Ainda em questão de tipos de algoritmos, pode-se distinguir ao padrão de cálculo para obtenção da posição do nó sensor: coordenadas absolutas ou relativas. Algoritmos de localização que utilizam coordenadas absolutas são comumente capturadas por sistemas de GPS, onde medidas como altitude, longitude e latitude são levadas em consideração, permitindo o cálculo da exata posição do nó na superfície da terra. Já algoritmos que utilizem coordenadas relativas, são algoritmos que constroem um mapa de coordenadas a partir da comunicação entre seus nós da rede. A decisão de qual destes padrões utilizar, implica diretamente nas questões de exatidão no cálculo de posição, complexidade do algoritmo de localização, consumo em potência, custos de comunicação, aplicação alvo e *hardware* disponível no nó sensor.

### 4.2.1 Padrões de Movimentação em Redes de Sensores

Como já descrito anteriormente, âncoras e nós sensores em uma rede de sensores sem fio podem ser estáticos ou móveis, tendo sua movimentação controlada por algum tipo de atuador ou não possuir nenhum tipo de controle para sua movimentação, este denominado como padrão aleatório de movimentação. Por exemplo, Leonardo et al. não implica nenhum tipo de controle sobre a movimentação dos nós sensores, já Zhen Ru et al. realiza o controle de movimentação do nó âncora.

Ssu et.al (SSU K.-F.; OU, 2005) e Yu et.al (YU G.; YU, 2008) desenvolveram um método que opera com a ausência de comunicação (*range-free*) entre nós estáticos. Em contrapartida, simularam o movimento de um nó âncora móvel equipado com um receptor GPS. O algoritmo foi primeiramente introduzido por (SSU K.-F.; OU, 2005) e é baseado em uma hipó-

tese geométrica a qual prevê que a bissetriz de uma corda passa através do centro de um círculo. Enquanto que um nó âncora move-se pela área e envia sua informação de posição, nós sensores a serem localizados recebem os pacotes e julgam os melhores 4 pontos para formar duas cordas. A localização destes nós é obtida pela interseção das duas bissetrizes das cordas. Os pontos selecionados para a definição das cordas devem pertencer ao mesmo círculo para aumentar a precisão do método (OLIVEIRA, 2009).

A cooperação entre nós estáticos já localizados e os demais a terem a sua posição descoberta foi considerada em (ZHANG B.; YU, 2008). Assim como em (SSU K.-F.; OU, 2005) e (YU G.; YU, 2008), Zhang et.al também empregou âncoras móveis durante o processo de localização, porém mediu as distâncias entre nós com a técnica de TDOA. Um nó sensor precisa coletar 3 mensagens de um âncora em movimento para construir um sistema de equações. Nós sensores que não possam obter pelo menos 3 pontos para computar a posição, enviam um requerimento aos seus vizinhos, já localizados, para servirem de nós âncoras estacionários e, portanto, recebem de volta suas posições (OLIVEIRA, 2009).

A Figura 4.6 mostra um cenário de padrão controlado para movimentação, onde os nós sensores representados por pontos pretos, são estáticos e os nós âncoras são robôs com atuadores para o movimento. Em contrapartida, a Figura 4.7 apresenta um cenário onde nós sensores e nós âncoras são representados por animais em uma fazenda, um rebanho bovino por exemplo. Este exemplo ilustrativo enfrenta um grande desafio em redes de sensores sem fio, uma vez que os nós estão em uma situação de movimento não controlado, desta forma, sem possuir conhecimento sobre direções tomadas.

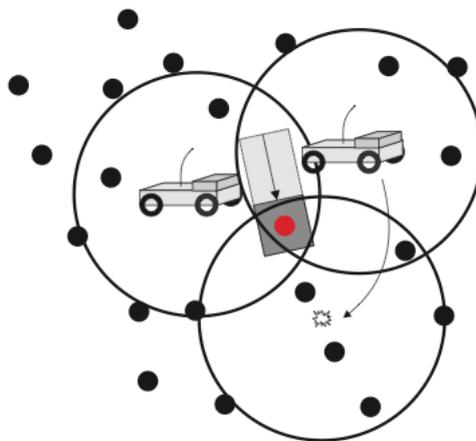


Figura 4.6 – Um cenário onde os nós âncora são robôs móveis e controlam seus movimentos para percorrer um determinado caminho e localizar nós estáticos (adaptado de (SHENOY; TAN, 2005)).

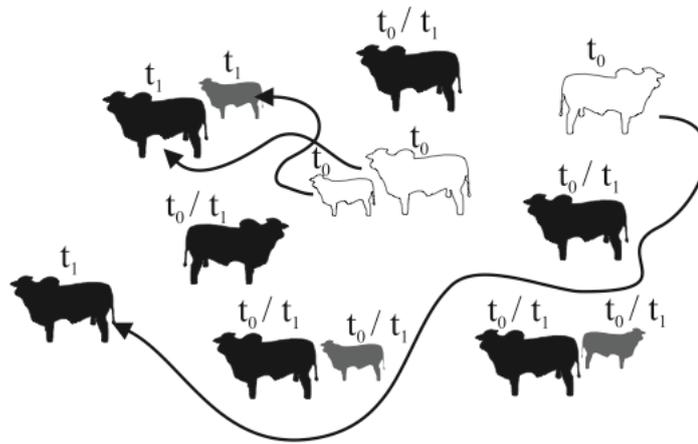


Figura 4.7 – Exemplo de movimento aleatório de nós relativo a animais em uma fazenda. (OLIVEIRA, 2009).

### 4.3 Discussão do Problema

Diferentes tipos de cenários integram o ambiente em que pode-se encontrar a utilização de redes de sensores sem fio, cada cenário tem necessidades específicas para funcionamento, como nós sensores e/ou âncoras móveis ou estáticos. Normalmente o algoritmo de localização é projeto levando em consideração o comportamento do nó âncora, que pode ser com movimentação controlada ou não. No primeiro caso, a maioria das vezes o nó âncora utiliza-se de um robô para sua movimentação, onde este pode ter um mapa pré-determinado de alguma região específica. Sendo assim, existe a possibilidade de utilizar um processamento maior bem como uma maior fonte de energia disponível e a utilização de diferentes tipos de sensores para auxiliar no processo de localização, desta forma, atingir uma maior precisão em seus cálculos. Em contra partida, o processo de localização em redes de sensores sem atuadores para movimento é mais complicado, pois opera em um ambiente não conhecido e sem controle algum de direção e velocidade do nó âncora. Levando em consideração que tanto nós sensores como nós âncoras podem ter este padrão de movimento, caracteriza-se desta forma, o cenário mais complexo de uma rede sensor sem fio onde um algoritmo de localização deve ser empregado. Encontra-se poucos algoritmos na literatura onde é abordado este tipo de cenário, em sua maioria o foco é aplicado para algoritmos de localização onde as redes de sensores sem fio consideram que o nó sensor possui controle sobre seu movimento e/ou um mapa pré-definido.

A Figura 4.8 faz uma evolução dos níveis de dificuldade em relação aos cenários onde um algoritmo de localização pode ser aplicado. Tendo na linha 1 o cenário mais simples onde nós sensores e âncoras são estáticos, ao contrário deste, a linha 5 apresenta o cenário mais

complexo, onde nós sensores e âncoras tem movimentação não controlada.

		<i>Nodos de referência</i>	<i>Nodos sensores</i>
cenários de movimento	1	estático	estático
	2	controlado/estático	
	3	controlado	controlado
	4	aleatório/estático	
	5	aleatório	aleatório

Figura 4.8 – Cenários de mobilidade de acordo com o tipo de movimento de nodos ancora e nós comuns (OLIVEIRA, 2009).

Esta dificuldade deve-se ao fato de como é feita a propagação da informação entre os nós sensores e seus nós de referência para realizar o cálculo de estimativa de posição. Tomando como exemplo um cenário totalmente móvel e utilizando as técnicas de *range-free* DV-HOP ou Centroid, quando uma mensagem atingir um determinado nó que é importante no processo de estimativa para medida da distância, é muito provável que toda a configuração da rede tenha sido alterada. Esta característica de movimentação da rede, também exclui as técnicas *range-based* TOA e TDOA, devido a dependência da medida do tempo e sincronismo de relógio entre os nós. Pode-se pensar na utilização de alguma técnica de sincronização de relógio para sistemas distribuídos, como a RTT (*Round Trip Time*) que efetua a medida de tempo de ida e volta de uma mensagem em relação a dois nós, porém não é efetiva para uma rede móvel, outro sim, acarretaria em um maior consumo de potência bem como em um maior tráfego de dados na rede. Sendo assim, a escolha de qual método utilizar para calcular a distância entre nó sensor e nó referência recai nos métodos de AOA e RSSI. Levando-se em consideração a adição de *hardware* extra no método AOA pela utilização de antenas direcionais e seu maior consumo em potência e custo, opta-se por utilizar o método de RSSI, por ser de simples utilização e nenhum *hardware* extra precisa ser adicionado. A desvantagem em utilizar este método esta relacionada aos ruídos e interferências que resultam na imprecisão para o cálculo de estimativas de distância. Esta imprecisão pode ocorrer em cenários onde encontra-se os fenômenos de: atenuação de sinal, interferência entre múltiplos caminhos e obstáculos na linha de visada (ANDREAS SAVVIDES CHIH-CHIEH HAN, 2001). Entretanto, enquanto a maioria dos trabalhos se detêm em esforços apenas sobre a precisão do algoritmo de localização aplicados a redes com âncoras estáticos e/ou nós sensores estáticos, o presente trabalho tem foco um algoritmo de localização aplicado a redes de sensores com nós e âncoras móveis. Tendo como objetivo um algoritmo

com baixa troca de mensagens entre nó sensor e nó de referência, rápido processamento para cálculo de estimativa de distância, baixo consumo e aumentado do tempo de vida do nó sensor.

Com base nos pontos discutidos anteriormente, pode-se eleger algumas características importantes que deve-se levar em consideração ao implementar um algoritmo de localização, são eles:

- computação distribuída;
- capacidade de manipular redes com diferentes padrões de movimento, redes estáticas e/ou móveis;
- movimentação dos nós âncoras, controlados ou não;
- cooperação entre nós sensores, troca de informações somente entre nó e âncora ou entre todos da rede;
- número de nós referência que será utilizado para cálculo de posição;
- exatidão do cálculo de distância entre nó sensor e referência, (*range-based* ou *range-free*);
- baixo consumo de potência;
- baixo custo do nó sensor;

#### 4.4 Resumo

Este Capítulo apresentou uma revisão sobre os algoritmos de localização mais representativos encontrados na literatura. Buscou-se efetuar a revisão de algoritmos que operassem de acordo com o padrão de movimentação da rede de sensores, tendo neste cenário padrões de mobilidade com nós e âncoras estáticos ou móveis, com atuadores ou sem. Bem como a maneira em que as informações são capturadas para realizar o cálculo na estimativa de posição. Por fim, foi apresentado os principais pontos que devem ser levados em consideração para a implementação de um algoritmo com aplicação em redes de sensores com movimentos aleatórios e sem atuadores controlados. Procura-se também distinguir porque algumas técnicas não se aplicam no cenário proposto neste trabalho. O próximo Capítulo apresenta a solução proposta, fazendo uso dos requisitos citados anteriormente.

## 5 ALGORITMO PROPOSTO

Neste Capítulo é apresentado o algoritmo de localização proposto, desenvolvido com o objetivo principal de atuar em redes com movimentação aleatória de nós e âncoras, provendo suas localizações. A escolha dos tipos de métodos e técnicas para estimativa de distância entre nós e cálculo de posição, depende muito do tipo de aplicação, topologia da rede e precisão desejada. Nesta dissertação, três fatores principais foram observados: rápida estimativa da distância, movimentação aleatória da rede e precisão da estimativa de posição. A atenção para estes três fatores deve-se ao comportamento aleatório de movimentação dos nós e âncoras no qual o algoritmo será aplicado. Como base nesta decisão, o sistema de localização adotado neste trabalho foi dividido em três componentes, sendo eles: cálculo de distância, cálculo de posição e algoritmo de localização.

### 5.1 Metodologia

Para realizar a estimativa de distância entre nós e/ou nós e âncoras, adotou-se por utilizar o método de RSSI, pois este possui a característica de permitir um rápido cálculo, convertendo a intensidade do sinal da potência recebida em um valor da distância em metros. A vantagem de utilizar este método é seu baixo custo computacional, baixo consumo em potência e o valor de RSSI poder ser obtido no instante em que um pacote é recebido. A desvantagem deste método está relacionada aos diferentes tipos de ruídos que podem ser encontrados no meio, podendo causar imprecisão na estimativa de distância. Segundo (RAPPAPORT, 1996), pode-se utilizar a expressão do modelo de propagação *Two-Ray Ground* demonstrada a seguir para calcular a distância em relação a intensidade do sinal recebido.

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r h_t^2 h_r^2}{d^4 L} \quad (5.1)$$

Pr : Potência recebida

Pt : Potência do sinal transmitido

Gt : Ganho do sinal transmitido

Gr : Ganho do sinal recebido

d : Distância ao transmissor

L : Caminho de perdas

ht: Altura da antena do transmissor

hr: Altura da antena do receptor

$\lambda$  : comprimento de onda

Substituindo os seguintes valores, é calculada a distância de 23 m para a potência recebida de 13 Watts.

$$Pr = 97\text{dBm} = 13\text{W}$$

$$Pt = 0.001\text{W}$$

$$Gt = 1.0$$

$$Gr = 1.0$$

$$L = 1.0$$

$$ht = 0.0864\text{m}$$

$$hr = 0.0864\text{m}$$

$$d = 22.9888\text{m} @ 23\text{m}$$

Após a distância definida de um conjunto de nós, é preciso estimar a localização do nó, este componente é definido como estimativa do cálculo de posição. O método adotado para o cálculo de posição utiliza um modelo matemático, calculando a intersecção de múltiplas hipérboles, utilizando para isto três ou mais nós de referência. As referências são representadas graficamente por círculos centrados nas respectivas posições e com raio igual a distância até o ponto que se deseja calcular. O resultado está na intersecção destas hipérboles, como mostra a Figura 5.1. Já a Figura 5.2 ilustra um modelo utilizando mais de 3 nós de referência para a estimativa de posição, denominado multilateração. Esta intersecção de hipérboles, forma um sistema linear de equações que pode ser resolvido por métodos matemáticos, como por exemplo, o método de eliminação de Gauss.

Pela representação gráfica das referências pode se obter a seguinte fórmula:

$$(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 = d_i^2 \quad (5.2)$$

Onde:

(x,y) é a posição que se deseja calcular;

$(x_i, y_i)$  posição da referência  $i$ ;

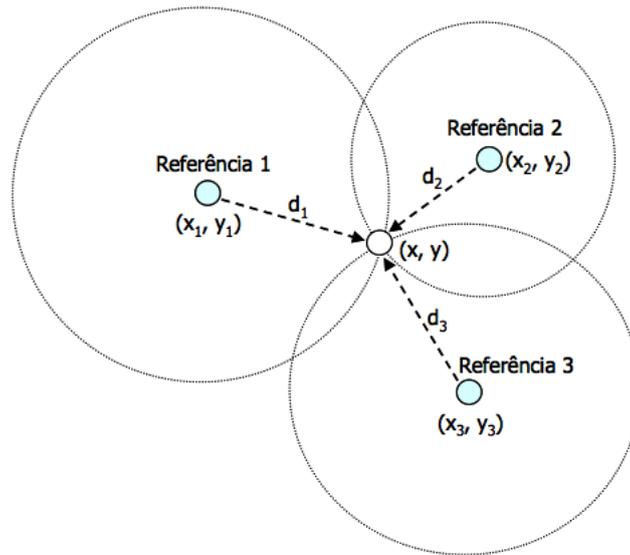


Figura 5.1 – Intersecção de múltiplas hipérboles

$d_i$  a distância do sensor a referência  $i$ .

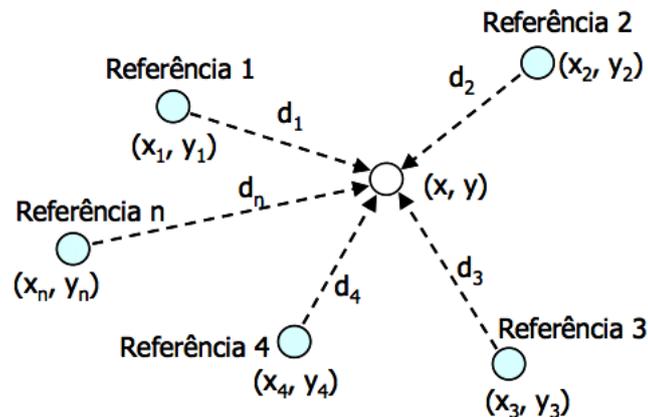


Figura 5.2 – Intersecção de múltiplas hipérboles

Enquanto a maioria dos trabalhos sobre algoritmos de localização focam em ideias puramente teóricas. Ou seja, adotam cenários com áreas livres de obstáculos; inexistência de imprecisão devido ao movimento dos nós sensores e/ou atrasos na comunicação; nós com mesmos raios de alcance e sem perdas de mensagens. O presente trabalho leva em consideração todos estes aspectos em suas computações e medidas.

Sendo assim, devido aos fenômenos de propagação de sinais no mundo real, dificilmente a solução gráfica resulta somente em um ponto de intersecção das hipérboles, mas sim em um conjunto de possíveis soluções como pode ser visto na Figura 5.3(a) [Oliveira 2005]. Desta

maneira, o sistema de equações fica com mais variáveis e demanda métodos mais complexos para a efetuar o cálculo de estimativa da distância.

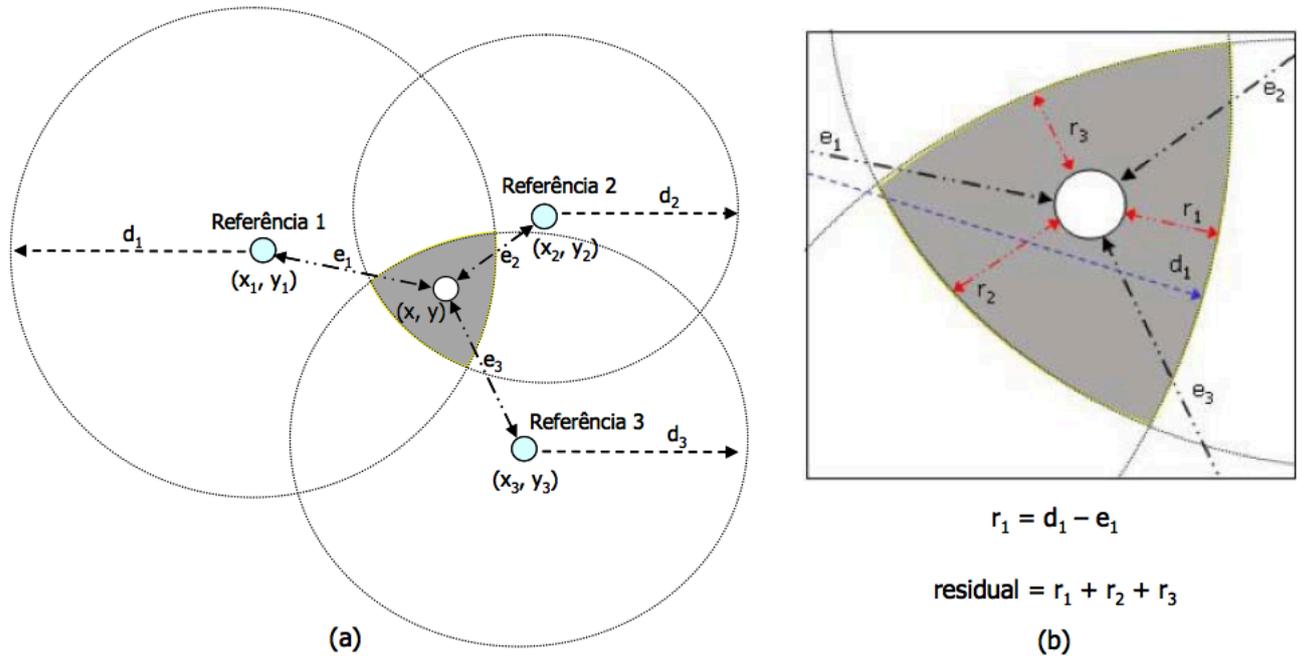


Figura 5.3 – Intersecção considerando erros: (a) a área escura representa as soluções possíveis; e (b) solução do problema pelo valor residual mínimo (REGHELIN, 2007).

Como pode ser observado na Figura 5.3(b) existe uma diferença  $r_i$  entre a distância medida  $d_i$  até a referência e a distância  $e_i$  calculada da posição estimada. Estas diferenças de distâncias são chamadas de valor residual. Este método procura minimizar o quadrado da diferença destas distâncias (REGHELIN, 2007). Pode-se representar matematicamente esta função por:

$$f(pos) = \min \sum_{i=1}^m (\|pos - ref_i\| - d_i)^2 \quad (5.3)$$

Onde:  $pos$  é a posição que se quer calcular,

$ref_i$  é a posição da referência  $i$ ,

$d_i$  a distância medida,

A distância entre a posição calculada e a posição da referência  $i$  e representado pelo valor  $\|pos - ref_i\|$ .

Outros métodos utilizados na literatura incluem a linearização de Taylor e o método de Gauss (REGHELIN, 2007). A escolha do método dependerá da capacidade computacional e

precisão da solução desejada. Porém, estes métodos citados requerem uma computação complexa, o que acarreta em um maior consumo de potência do nó sensor, bem como em um maior tempo de computação. Savvides et al. perceberam que a equação acima poderia ser resolvida utilizando soluções de matrizes, baseado no conceito de quadrados mínimos. Em vez de usar a multiplicação de matrizes em geral, foram implementados métodos otimizados que exigem menos cálculo e menor tempo de execução. Para isto, utilizou-se a técnica de estimativa do mínimo quadrado médio, denominada MMSE (*Minimum Mean Square Estimate*) proposta por W. Greene (GREENE, 1997), na qual também foi adotada neste trabalho.

Como pode-se observar na Figura 5.1, um nó sensor tem um conjunto de “m” âncoras com as seguintes informações  $(x_j, y_j, d_j)$ , onde  $(x_j, y_j)$  é a localização do âncora j, e  $d_j$  é a distância medida entre o âncora e o nó sensor, assumindo que  $(x, y)$  é a posição estimada do nó sensor. Para resolver este sistema de equações, o método MMSE é adotado e sua solução de matrizes é representada a seguir:

$$d_j = \sqrt{(x - x_j)^2 + (y - y_j)^2} \quad (5.4)$$

onde:

$$t = x_1^2 + y_1^2 - d_1^2 \quad (5.5)$$

$$b = \begin{bmatrix} \hat{x} \\ \hat{y} \end{bmatrix} \quad (5.6)$$

$$X = \begin{bmatrix} 2(x_1 - x_2) & 2(y_1 - y_2) \\ 2(x_1 - x_3) & 2(y_1 - y_3) \\ 2(x_1 - x_m) & 2(y_1 - y_m) \end{bmatrix} \quad (5.7)$$

$$y = \begin{bmatrix} t - x^1 - y^1 + d^1 \\ t - x^2 - y^2 + d^2 \\ t - x^m - y^m + d^m \end{bmatrix} \quad (5.8)$$

Após a definição da técnica para estimativa de distância e método para cálculo de posição, é preciso interligar estes componentes juntamente com algum tipo de filtro. Este filtro tem por objetivo realizar a seleção dos nós sensores que posteriormente serão utilizados para o cálculo de posição. Assim, formando nosso algoritmo de localização que em conjunto com a rede de sensores sem fio, constitui um sistema de localização.

Enquanto muitos algoritmos recaem no uso de filtros que utilizam da técnica de realizar algum tipo de média entre os pacotes recebidos de um mesmo nó, esta técnica não é recomendada para ser utilizada no atual trabalho. Isto deve-se aos requisitos levantados anteriormente que levam em consideração o padrão de movimentação da rede e o consumo em potência. Para isto, buscou-se integrar junto aos dois componentes anteriores, métodos que buscassem realizar a seleção dos nós a partir do sinal de RSSI, ou seja, da estimativa da distância. Tomou-se cuidado em realizar uma seleção buscando por nós de referência mais próximos ao nó a ser estimada a posição. Sendo adotado o método Near3 (*Nearest Three References*) (K. Y. CHENG; LUI, 2005) que seleciona os três nós com medidas de distância menores.

Este modelo de filtro foi adotado primeiramente pela rápida seleção dos nós referência bem como pelas características do sinal de RSSI propagado no meio. Como pode ser visto na Figura 5.4, o sinal propaga-se no meio de forma irregular, isto significa que o alcance do sinal difere em suas direções devido aos múltiplos efeitos físicos existentes no meio (X. JI, 2004). Por isto, busca-se selecionar referências mais próximas ao sensor a ser estimada a posição. O algoritmo então utilizado neste trabalho, faz o uso das técnicas de RSSI para estimativa da distância entre nós, o uso do método de MMSE para cálculo de posição e a técnica Near3 para formar o conjunto de nós referência a serem utilizados no MMSE. Ainda para o funcionamento completo deste sistema de localização aplicado a redes de sensores, falta realizar o controle da troca de mensagens entre os dispositivos, explanado a seguir.

## 5.2 Funcionamento

A rede de sensores deste trabalho é composta por três componentes, são eles: nó desconhecido, nó referência e nó âncora. Por nó desconhecido, entende-se pelo nó que ainda não tem a sua posição calculada, ou seja, ele não sabe qual posição está. O nó referência é o nó que já calculou a sua posição e poderá fornecer a sua localização caso for requisitado. Por fim, e também entende-se como nó referência, é o nó âncora, um nó especial que possui um GPS para definir sua posição, fornecendo para os demais a sua localização.

Para o funcionamento inicial desta rede de sensores, assume-se que a mesma deverá ter o número mínimo de cinco nós âncoras, já o número de nós desconhecidos poderá variar. Isto deve-se a seleção aplicada pelo filtro, no qual realizará a escolha dos nós de referência para o cálculo de estimativa da posição do nó desconhecido.

Todos os nós sensores, são dotados da tecnologia ZigBee para realizar a comunicação

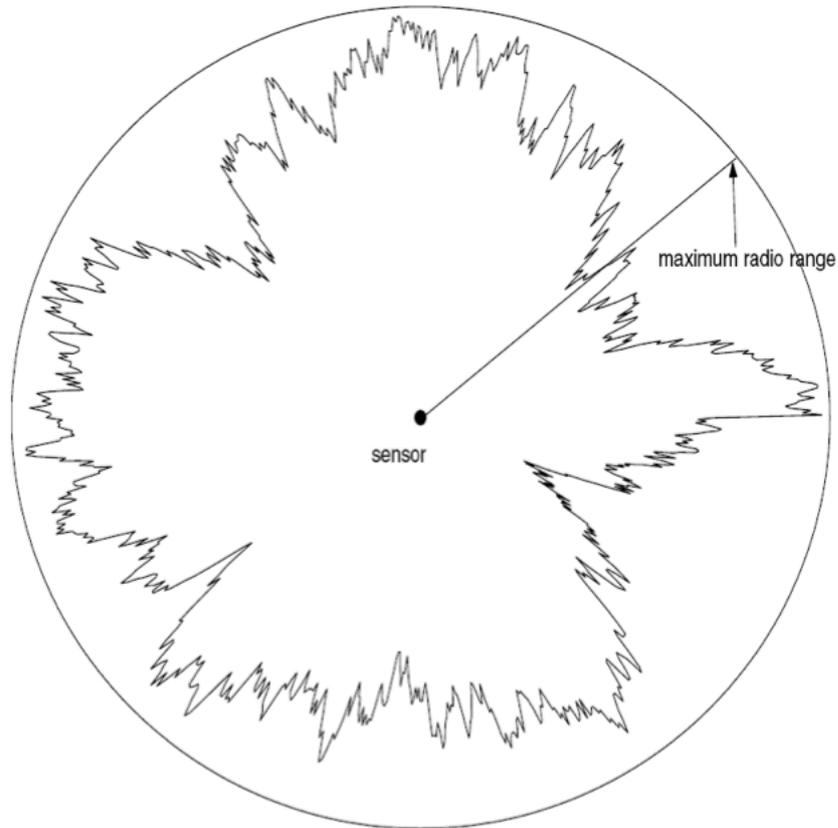


Figura 5.4 – Padrão de Propagação da Intensidade do Sinal – RSSI (X. JI, 2004)

entre eles, com um raio máximo de 40 m de alcance em relação ao sensor transmissor. Sendo assim, em um momento inicial de funcionamento da rede, os sensores devem estar dentro deste raio de comunicação para possibilitar a troca de mensagens, desta forma, garantindo a formação da intersecção de hipérbolas, demonstrado na Figura 5.1.

Para o nó sensor poder realizar sua estimativa de posição, o seguinte procedimento é adotado. Os nós âncoras enviam periodicamente a sua posição em uma mensagem *broadcast* para a rede, ou seja, todos os nós desconhecidos e nós de referência irão receber estas mensagens. No momento em que um nó sensor recebe uma mensagem que contém informação de localização, ele armazena a posição X,Y e efetua o cálculo de distância em relação ao nó emissor, através do sinal de RSSI.

O nó sensor, repetirá este procedimento com as cinco primeiras mensagens recebidas, armazenando suas coordenadas X e Y e sua distância d. Após esta etapa, o filtro será aplicado, separando dentre estas, três possíveis referências, as que satisfaçam suas condições. Por fim, o método de MMSE será aplicado utilizando os três nós de referência selecionados pelo filtro, desta forma obtendo a estimativa do cálculo de posição do referido nó sensor. Destaca-se neste processo, que para o cálculo de posição o nó sensor precisará de somente cinco mensagens,

garantindo desta forma o baixo consumo em potência.

Caso o nó sensor que está tentando estimar sua posição não receber cinco mensagens, ele irá descartar as mensagens recebidas e enviar uma mensagem em *broadcast* requisitando a localização de seus nós vizinhos. Desta forma, os nós que já possuem sua posição calculada, irão responder a requisição, assim além das mensagens periódicas enviadas pelos nós âncoras, o nó sensor também irá receber a posição de seus nós vizinhos. Esta técnica é utilizada na expectativa de sempre tentar estimar a posição do nó, não dependendo exclusivamente dos nós âncoras para isto. Já neste segundo contexto, o número de mensagens trocadas pelo nó sensor irá variar, porém seu método de localização continua simples, garantindo o baixo consumo.

Com isto pode-se esperar um acúmulo de erros de estimativas de posição na rede, mas é justamente a técnica de utilizar mensagens periódicas nos âncoras que elimina este acúmulo. Fazendo com que o nó sensor só utilize de nós de referência na ausência de âncoras. Outro sim, é que o nó sensor não utiliza de sua posição anterior para o cálculo de sua nova posição, desta forma elimina o acúmulo de erros.

Para isto, definiu-se dois tipos de pacotes, são eles: pacote de resposta para a requisição de pedidos de localização, que contém a identificação do nó origem e sua posição X,Y, e um pacote para efetuar o pedido de localização, este enviado com a identificação do nó emissor e enviado em *broadcast*. O funcionamento do algoritmo de localização pode ser visto no fluxograma representado na Figura 5.5.

### **5.3 Resumo**

Este Capítulo abordou quais técnicas estudadas foram escolhidas para serem utilizadas no algoritmo proposto, bem como seu funcionamento. No próximo Capítulo é apresentada a ferramenta de simulação para validar o algoritmo e sua implementação.

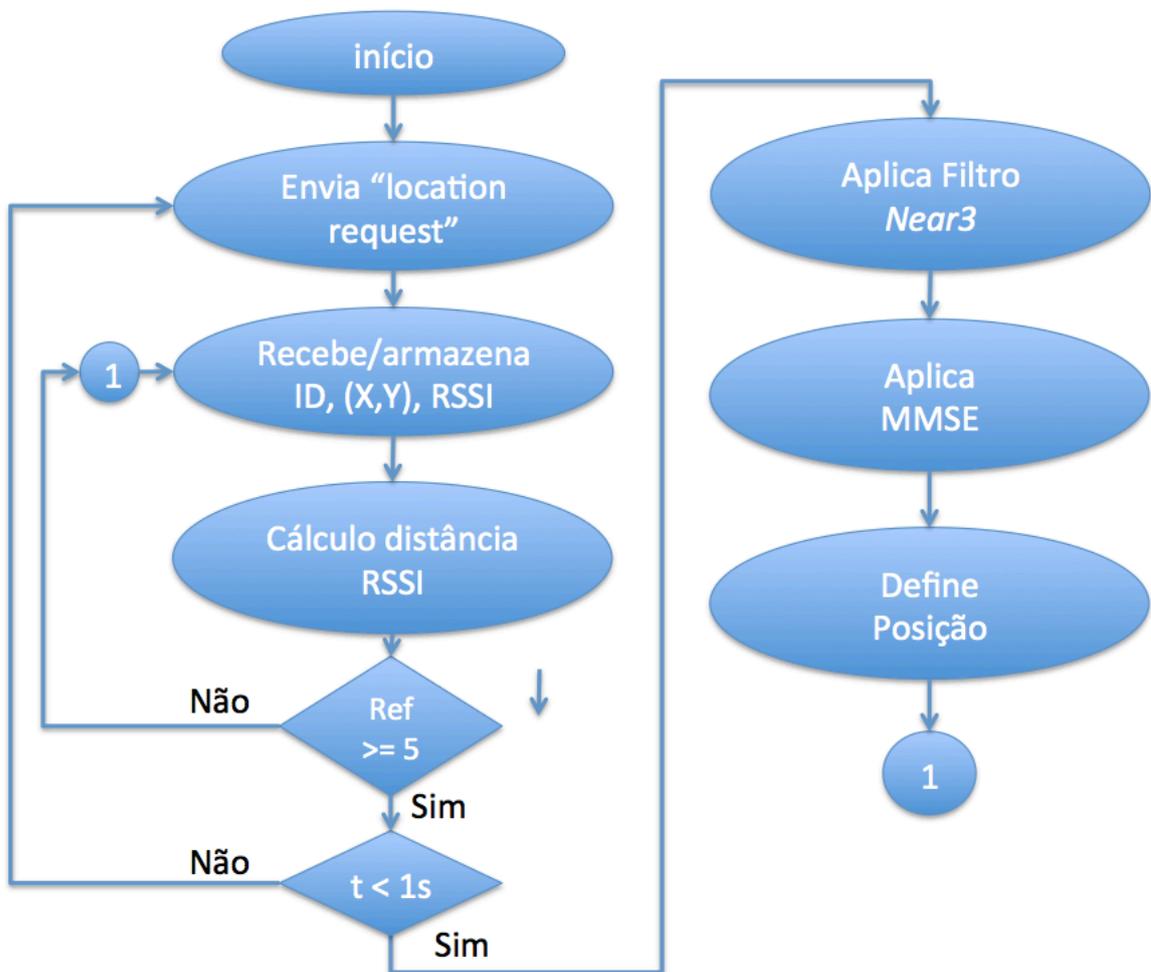


Figura 5.5 – Fluxograma que representa o funcionamento do Algoritmo de Localização

## 6 AMBIENTE DE DESENVOLVIMENTO E SIMULAÇÃO

Este capítulo apresenta a ferramenta no qual o algoritmo foi desenvolvido bem como seus ambientes de testes. Na primeira parte é apresentada a ferramenta escolhida para realizar a implementação do algoritmo, em seguida a metodologia de implementação para o seu funcionamento e por fim mostra-se a caracterização do ambiente de simulação e topologia de uma rede de sensores sem fio.

### 6.1 Network Simulator (ns-2)

Redes de sensores sem fio tem aplicações de uso nos mais variados campos, monitorar os nós sensores nestas aplicações é fundamental para um bom funcionamento da rede. Aspectos como movimentação dos nós e dados trafegados na rede de sensores devem ser monitorados. Para o presente trabalho, o simulador escolhido que permite a realização destas características e tarefas é o *Network Simulator* na sua segunda versão, também conhecido como ns-2. Segundo Khoriba, mais de 40 % dos artigos publicados sobre redes de sensores sem fio utilizam a ferramenta ns-2 (GHADA K., 2010).

O objetivo da simulação é analisar o comportamento do algoritmo de localização. Em cada conjunto de simulações um número fixo de nós são dispostos de modo randômico em uma área pré-definida, com movimentos aleatórios. O algoritmo deverá identificar cada nó e suas respectivas posições em um determinado instante.

O ns-2 é um simulador de eventos discretos para redes de comunicação, desenvolvido pela VINT (*Virtual Network TestBed*), utilizado tanto para comunicações com fio como sem fio. Suporta simulações com protocolos do tipo TCP (*Transmission Control Protocol*) e UDP (*User Datagram Protocol*), bem como podendo alterar as características físicas de transmissão do meio. Sua estrutura básica é apresentada na Figura 6.1.

A topologia da rede e seu comportamento é escrito em *script* OTcl (*Object Tool Command Language*), neste *script* estará descrito quantos nós terá a rede de comunicação, qual o meio físico, taxas de transmissões, modelo de antena, modelo de energia dos nós móveis, propagação do sinal no meio, protocolo de comunicação e padrão de movimento dos nós.

Em sua versão padrão, o *Network Simulator* não é capaz de simular redes de sensores sem fio móveis. Esta é uma pesquisa liderada pelo instituto NRL U.S (*Naval Research Laboratory*), onde foi desenvolvidos módulos que adicionados ao NS-2 proporcionam ao pesquisador

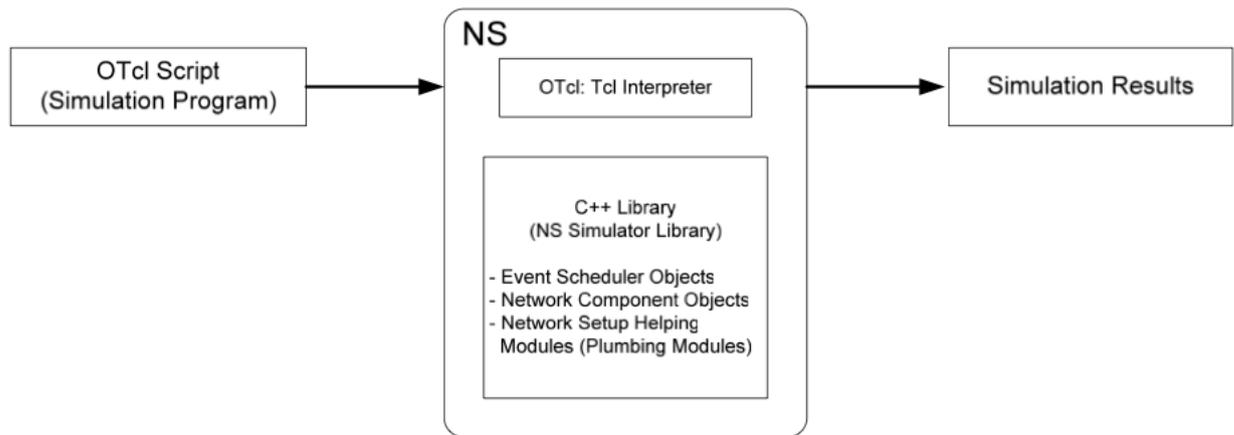


Figura 6.1 – Estrutura Básica NS-2 (TEERAWAT ISSARIYAKUL, 2009)

incluir fenômenos aos eventos ocorridos na rede. Este, um aspecto importante para a pesquisa em desenvolvimento. Por exemplo, onde será necessário obter valores como: potência do sinal que está sendo transmitida e a potência do sinal recebida.

O ns-2 é um software interpretador de *script* OTcl, com suas próprias primitivas, que ao serem interpretadas montam o ambiente de rede a ser simulado. Ao término da simulação é salvo um ou mais arquivos contendo detalhadamente os resultados da simulação, este arquivo pode ser verificado diretamente ou através de ferramentas gráficas que auxiliam na sua visualização, como o NAM (*Network Animator*) ilustrado na Figura 6.2, facilitando sua interpretação e análise.

A ferramenta de simulação ns-2, é dividida em duas linguagens (OTcl e C++) para proporcionar velocidade e flexibilidade. O simulador/interpretador é escrito em C++, porém, para facilitar a modificação dos parâmetros da simulação, a linguagem de *script* OTcl é utilizada para descrever a topologia e comportamento da rede. O processo de simulação pode ser observado na Figura 6.3.

Nesta etapa de simulação, é avaliado a funcionalidade da rede e o comportamento do algoritmo de localização, permitindo alterar as configurações tanto do padrão da rede de sensores como também do próprio algoritmo, analisando os resultados gerados de uma maneira rápida, esta sendo a principal vantagem em utilizar um simulador.

Os testes poderiam ser feitos utilizando sensores físicos em um ambiente real, entretanto, a repetição de resultados nesse ambiente de testes é difícil de realizar. Apesar de em um primeiro momento se mostrar atrativo realizar testes reais, pode-se tornar caro do ponto de vista financeiro, pois muitas vezes demanda tempo e uma quantidade de equipamentos não

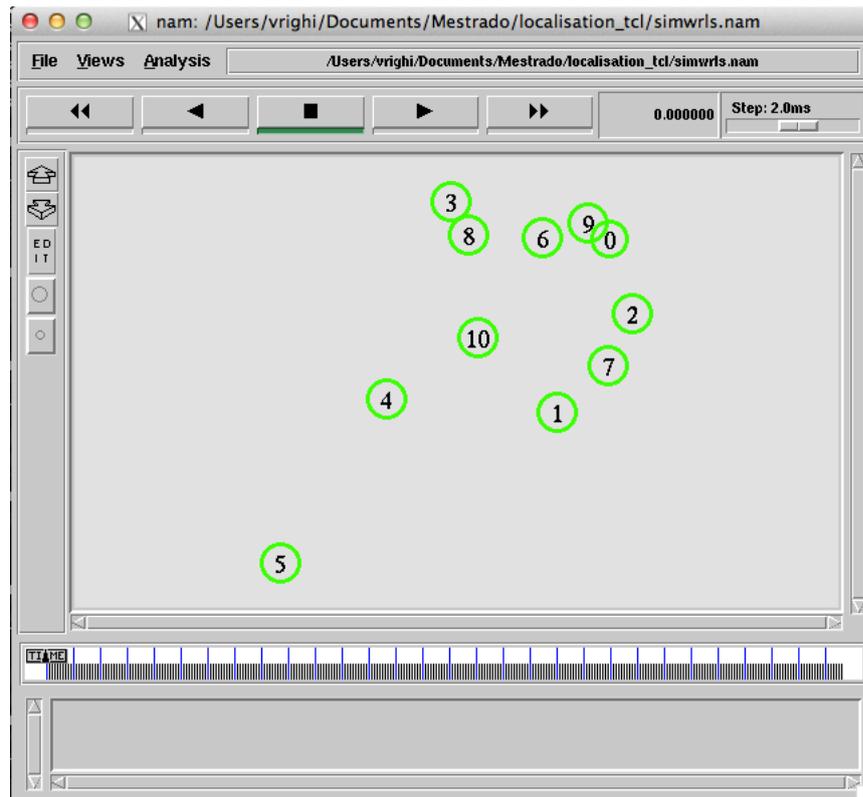


Figura 6.2 – Rede de Sensores sem Fio sendo Simulada

disponíveis. A utilização de um simulador, anula parcialmente estes problemas, permitindo ao pesquisador repetir determinados testes em um ambiente controlado, analisando e comparando seus resultados. A seguir será mostrado a metodologia adotada para a implementação do algoritmo de localização utilizando a ferramenta ns-2.

### 6.1.1 Implementação

Como mencionado anteriormente, a ferramenta utiliza-se de duas linguagens para obter um melhor desempenho e facilidade de uso. No presente trabalho, adotou-se em implementar o algoritmo na linguagem de programação C++, precisando alterar e acrescentar funcionalidades ao interpretador do ns-2. A escolha de utilizar C++ e não Otcl, deve-se ao fato do algoritmo precisar de dados provindos diretamente de estruturas do simulador, como o valor de RSSI e dados de pacotes recebidos e/ou enviados. Estes dados não podem ser acessados diretamente do *script* Otcl.

Como o ns-2 não suporta a simulação de redes de sensores sem fio em sua versão nativa, é preciso adaptar a ferramenta adicionando módulos extras (TEERAWAT ISSARIYAKUL, 2009). Preparando desta forma, uma base para sistemas de localização com redes de sensores

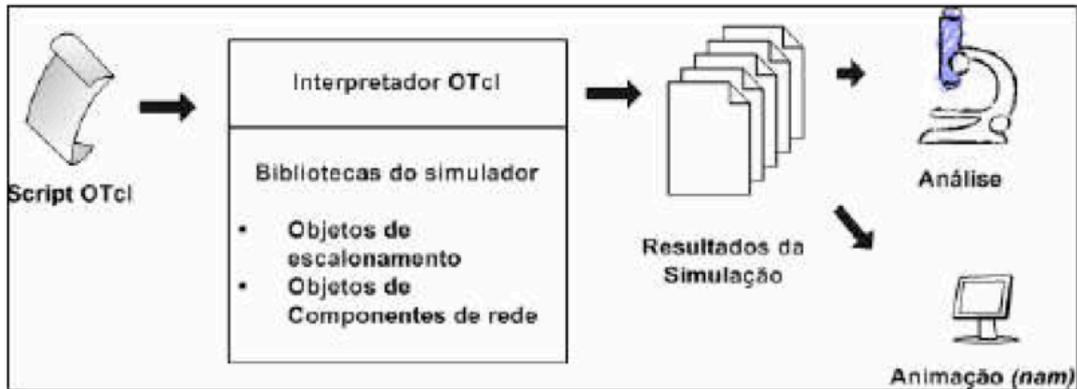


Figura 6.3 – Arquitetura ns-2 (TEERAWAT ISSARIYAKUL, 2009)

sem fio utilizando a ferramenta ns-2, adicionando as novas funcionalidades desejadas. Por exemplo, identificar se um nó da rede de sensores é âncora ou não.

As linguagens utilizadas na ferramenta são classificadas em dois tipos, sendo C++ uma linguagem compilada e Otcl uma linguagem interpretada. Essas duas linguagens são interligadas na ferramenta através da classe chamada TclCL, qual foi utilizada para poder chamar o algoritmo descrito em C++ no *script* Otcl (TEERAWAT ISSARIYAKUL, 2009).

As hierarquias de classes utilizadas são apresentadas a seguir, sendo elas implementadas na linguagem de programação C++.

#### 6.1.1.1 Position

Classe principal onde é implementado o algoritmo de localização. Responsável por realizar a estimativa de distância e aplicar os filtros de seleção, formando o conjunto de três nós referências, o qual será aplicado o método de MMSE.

#### 6.1.1.2 MMSE

Classe responsável por realizar os cálculos para estimar a posição do nó sensor, aplicando a técnica de estimativa do mínimo quadrado médio.

#### 6.1.1.3 LocReqAgent

Classe responsável por enviar a mensagem de requisição da posição para os nós sensores vizinhos. Utilizado somente para nós que não são âncoras, pois os âncoras tem sua posição definida pelo uso do GPS.

#### 6.1.1.4 LocResAgent

Classe responsável por receber os pacotes. Essa classe é utilizada tanto em nós como em âncoras. Pode receber dois tipos de pacotes, são eles: tipo de pacote requisitando a posição, este enviado por nós que querem estimar qual é sua posição, e pacotes respondendo uma requisição, contendo a posição X,Y do emissor.

#### 6.1.1.5 ResData

Essa classe é responsável por armazenar as informações provindas de pacotes recebidos que indiquem posição. Armazenando a identificação do nó, posição X,Y e seu valor de potência do sinal recebido.

## 6.2 Ambiente de Testes/Simulação

Uma tomada a decisão de projetar um método de posicionamento face a um cenário que considere a mobilidade, cabe a preocupação com o padrão de movimento dos nós. Trabalhar com algoritmos para redes móveis significa executar simulações ou conduzir experimentos onde os nós envolvidos devem executar um movimento com certa direção, velocidade e seguindo determinado padrão ao longo do tempo ou mesmo sendo aleatórios. Dependendo da abordagem escolhida os nós comportar-se-ão de tal maneira que recursivamente no tempo os mesmos tomarão decisões a respeito de que direção tomar, velocidade do movimento ou tempo de parada. Para reproduzir tal comportamento precisa-se optar entre diferentes tipos de modelos de mobilidade. A maneira como os dados envolvidos na análise de redes de sensores sem fio móveis são manipulados para se obter os resultados de desempenho possui uma grande dependência sobre o uso de diferentes modelos de mobilidade como parâmetros de entrada (CAMP T.; BOLENG, 2002).

### 6.2.1 Caracterização do Ambiente de Teste

A maioria dos trabalhos sobre algoritmos de localização foca em ideias puramente teóricas. Estas premissas incluem áreas livres de obstáculos; inexistência de imprecisão devido ao constante movimento e atrasos na comunicação; nós com mesmos raios de alcance e sem perdas de mensagens ou erros. O presente trabalho leva em consideração todos estes aspectos

que podem interferir em uma comunicação sem fio, como atenuação do sinal, perda de pacotes, propagação não uniforme do sinal, padrão de movimentação, consumo de potência, ganhos de transmissão e recepção da antena, com ou sem linha de visada. Estes parâmetros são indicados no cenário de simulação levando em consideração a caracterização do kit de desenvolvimento Chipcon CC2430 da *Texas Instruments*. Em relação ao padrão de comportamento que uma rede de sensores deverá ter para ser verificado a funcionalidade do algoritmo, pode-se destacar os seguintes:

- A rede é dividida em nós desconhecidos e nós âncoras;
- Não existe hierarquia na rede, ou seja, todos os são monitores e monitorados, ponto-a-ponto;
- Os nós desconhecidos não dispõem de nenhum hardware adicional;
- Os nós âncoras possuem um sistema GPS para obtenção de suas coordenadas;
- A implantação dos nós âncoras e desconhecida;
- A distribuição dos nós é irregular;
- Nós desconhecidos e âncoras se movimentam aleatoriamente, sem controle sobre velocidade ou direção;

Os parâmetros citados descrevem que o ambiente utilizado para a implementação da topologia da rede deverá ser totalmente móvel, atendendo os requisitos que o presente trabalho se detém. Para realizar uma simulação o mais próximo possível do mundo real, o simulador precisa ser configurado com as características do kit Chipcon CC2430, bem como um padrão de movimentação dos nós e o meio que estes estão inseridos. As principais características e parâmetros que necessitam ser configurados são descritos a seguir.

#### 6.2.1.1 Mobilidade de Percurso Aleatório

O *Random Walk Mobility Model* é um modelo de mobilidade bastante simples que é baseado em direções e velocidades aleatórias. Este modelo foi inicialmente descrito por Albert Einstein em 1926 e visa imitar o comportamento de entidades na natureza que se movam de maneira extremamente imprevisível. Considerando um ponto de partida aleatório em um plano 2D, um nó móvel se movimenta a partir de sua posição atual para uma nova pela escolha aleatória da direção e da velocidade de viagem. No entanto, a velocidade é escolhida de acordo com limites estabelecidos [velocidade mínima, velocidade máxima], bem como a direção. Cada movimento neste modelo de mobilidade ocorre ou em um intervalo de tempo ou em

uma distância constante viajada, de forma que ao final de uma destas duas situações, uma nova direção e velocidade sejam calculadas. No *Random Walk Mobility Model* o nó pode também mudar a direção depois de viajar uma distância especificada ao invés de um tempo especificado (OLIVEIRA, 2009).

Para obter este padrão de movimentação, o ns-2 fornece a ferramenta com o nome *./set-dest*, onde então é informado número de nós móveis, velocidade mínima, velocidade máxima, tempo de simulação e limites X,Y para os movimentos. Após esta configuração, a ferramenta retorna um arquivo com padrão de movimentação dos nós, este será inserido na configuração da rede a ser simulada.

#### 6.2.1.2 Padrão de Propagação de Sinal de Rádio Frequência

A propagação do sinal de rádio frequência delimita-se ao alcance máximo que a potência do seu rádio consegue atingir, teoricamente formando um círculo tendo o nó sensor ao seu centro. Entretanto, no mundo real esta propagação simétrica do sinal não acontece (X. JI, 2004). Isto ocorre devido as diferentes fontes de ruídos e obstáculos que podem afetar a transmissão. Desta maneira, tem-se um diferente padrão de propagação do sinal em diferentes direções. Sendo assim, a intensidade de um sinal recebido em um sensor pode ser diferente do esperado (X. JI, 2004).

Para garantir este comportamento na simulação, adotou-se por utilizar os modelos conhecidos por *Sytem Loss* e *Two Ray Ground Model*, onde o primeiro permite simular perdas de pacotes na transmissão de dados e o segundo insere padrões de comportamento no meio de transmissão, simulando diferentes efeitos ocasionados na comunicação em redes sem fio, como esvanecimento do sinal, perda de visada, reflexão (TEERAWAT ISSARIYAKUL, 2009).

#### 6.2.1.3 Consumo na Transmissão

O consumo na transmissão caracteriza-se pelo consumo em potência gasto ocasionado na transmissão de dados. O especificado no *datasheet* do kit Chipcon CC2430 é um consumo de 26.9 mA para a transmissão de um pacote, adotando uma bateria de 3V no nó sensor, tem-se o consumo de potência de:

$$P = VI \quad (6.1)$$

$$P = 3 * 26.9x10^3 \quad (6.2)$$

$$P = 8.07mW \quad (6.3)$$

$$(6.4)$$

#### 6.2.1.4 Consumo na Recepção

O consumo na recepção caracteriza-se pelo consumo em potência gasto ocasionado na recepção de dados, no qual para o kit Chipcon CC2430 o consumo especificado é de 26.7 mA.

Para a recepção de um pacote a potência consumida é de:  $P = VI$

$$P = 3*26.710^3$$

$$P = 8.01mW$$

#### 6.2.1.5 Características da Antena

A antena que vem com o kit Chipcon CC2430, é uma antena omnidirecional, a Tabela 6.1 apresenta suas características de transmissão e recepção.

Tabela 6.1 – Parâmetros para o modelo de Antena utilizado no ns-2

Parâmetro	Símbolo	Valores
Distância	d	10m
Ganho transmissão da Antena	Gt	1.66
Ganho recepção da Antena	Gr	1.66
Altura antena de recepção	hr	1.5m
Altura antena de recepção	ht	1.5m
Potência de transmissão	Pt	1mW
Sistema de perdas	L	1

#### 6.2.2 Resumo

Este Capítulo abordou o cenário onde o desenvolvimento foi realizado, apresentando a ferramenta ns-2 como base para realizar a implementação e simulação do algoritmo. A seguir será apresentado os resultados obtidos nas simulações para diferentes cenários de redes.

## 7 RESULTADOS OBTIDOS E ANÁLISE DE DESEMPENHO

Algumas das características básicas das redes de sensores são as altas densidades de elementos, restrições severas em relação ao consumo de energia, muitos fluxos de informações além da redundância de dados enviados e o trabalho cooperativo realizado pelos nós.

A partir destas informações, e segundo (TAN, 2006), pode-se definir algumas das métricas chaves para medição de desempenho de uma rede de sensores móveis. Basicamente estas métricas visam garantir uma qualidade de serviço da rede que maximize a vida útil dos sensores permitindo uma troca de informações entre eles que seja suficiente. Dentre as métricas propostas por (TAN, 2006) este trabalho irá utilizar o consumo de energia em potência e o erro de localização, fazendo a média total de erros localização da rede. Para calcular o Erro de Localização (EL), a equação a seguir é utilizada:

$$EL = \sqrt{(x_{estimado} - x_{real}) + (y_{estimado} - y_{real})^2}$$

O número de troca de mensagens para estimar a posição está ligado diretamente ao consumo do nó sensor. Embora este tópico seja pouco explorado pela comunidade científica, a energia despendida pelo processo de aquisição das coordenadas tem um papel importante na vida útil de uma rede, sobretudo quando é considerado um cenário móvel. Para realizar estas análises, foram feitos testes com diferentes padrões de redes de sensores, ilustrados na Tabela 7.1. Segundo (LUZ MARTINS, 2012), a maior fonte de consumo da rede é o rádio, que é responsável pelo envio e recebimento de mensagens, a transmissão e a função que mais consome energia na rede e propostas que busquem a redução do número de mensagens na rede otimizam diretamente a autonomia dos nós.

Tabela 7.1 – Padrões de Simulação

Tamanho da rede	100 m - 100m
Alcance dos nós	40m
Velocidade mínima	1m/s
Velocidade Máxima	20m/s
Tamanho do Pacote	64bytes
Número de Nós	6 - 100
Linha de Visada	Sim/Não

A Figura 7.1 demonstra um cenário com 6 nós sensores estáticos, sendo 5 nós âncoras representados pela cor azul e 1 nó desconhecido representado pela cor vermelha. Dois tipos de cenários foram utilizados para este padrão de distribuição dos nós, um cenário simulando um ambiente aberto, com linha de visada e um segundo cenário que simula obstáculos entre os nós sensores. A Tabela 7.2 apresenta as posições X e Y calculadas pelo algoritmo, o erro em relação a posição real e quantos nós de referência foram utilizados para o cálculo, indicando em qual ambiente o resultado foi capturado.

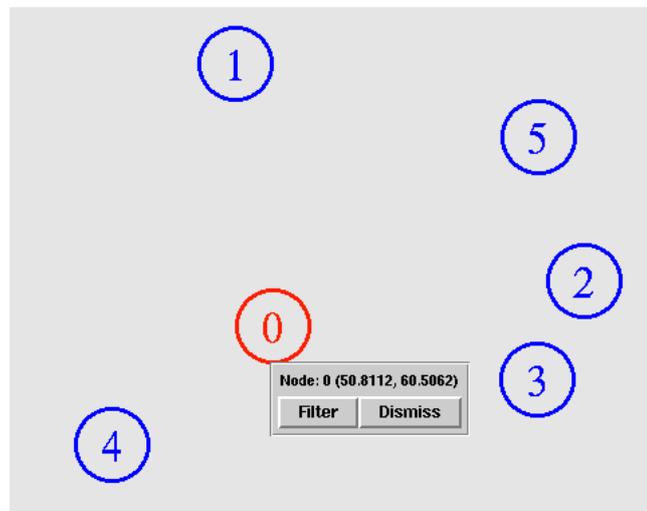


Figura 7.1 – Cenário de uma rede de sensores estáticos

Tabela 7.2 – Resultados obtidos para o cenário da Figura 7.1

Com linha de Visada	Quantidade Nós Referência	Erro%	Xcalculado m	Ycalculado m
Não	3	6.22	53.13	62.57
Sim	3	1.12	50.39	60.13

A Figura 7.2 apresenta um cenário estático onde é utilizado âncoras e nós referência para o cálculo de posição, seus resultados são demonstrados na Tabela 7.3. Pode-se observar os nós âncoras em azul, os nós referência na cor vermelha e os nós número 4 e 5 na cor amarela, estes não conseguiram calcular a sua posição devido estar fora de alcance de nós vizinhos para troca de mensagens.

A Tabela 7.4 apresenta os parâmetros do cenário da rede de sensores móvel, a ser simulada. O gráfico apresenta a média de erros entre os 7 sensores em cada amostra, a Figura 7.3 apresenta os resultados em um cenário com obstáculos enquanto a Figura 7.4 cenário sem obstáculos. O padrão de movimentação dos nós e os tempos para captura das amostras são os mesmos para os dois cenários. Esta variação representa o erro calculado em função do raio de

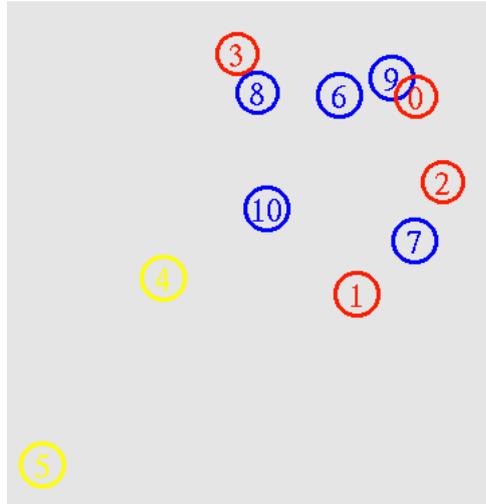


Figura 7.2 – Cenário de uma rede de sensores com 11 nós estáticos.

Tabela 7.3 – Resultados obtidos para o cenário da Figura 7.2

Linha de Visada	ID do Nó	Quantidade Nós Referência	Erro%	Xcalculado m	Ycalculado m
Sim	0	3	1.63	88.00	87.78
Sim	1	3	2.08	74.16	39.29
Sim	2	3	1.33	94.63	66.73
Sim	3	3	4.31	44.82	95.12
Sim	4	-	-	-	-
Sim	5	-	-	-	-
Não	0	3	16.38	84.62	79.42
Não	1	3	26.87	73.17	53.73
Não	2	3	13.36	87.78	69.40
Não	3	3	16.55	53.37	100
Não	4	-	-	-	-
Não	3	-	-	-	-

alcance do dispositivo de rádio dos nós, seu padrão de movimentação e se possui linha de visada para comunicação entre os nós ou não.

Tabela 7.4 – Padrões de Simulação

Tamanho da rede	100 m - 100m
Alcance dos nós	40m
Velocidade mínima	1m/s
Velocidade Máxima	20m/s
Velocidade Média	6.34m/s
Número Total de Nós	12
Número de Nós Âncoras	5
Número de Nós Desconhecidos	7
Tempo de Simulação	500s

A Tabela 7.6 apresenta outra configuração do cenário de uma rede móvel onde foi si-

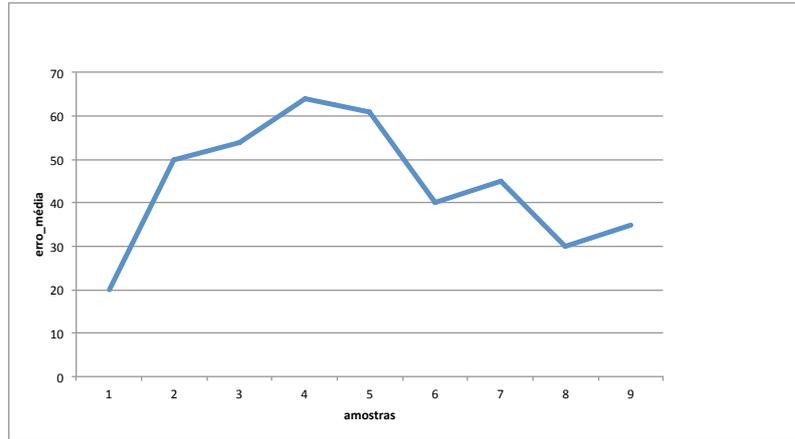


Figura 7.3 – Erro médio calculado para o Cenário com Obstáculos

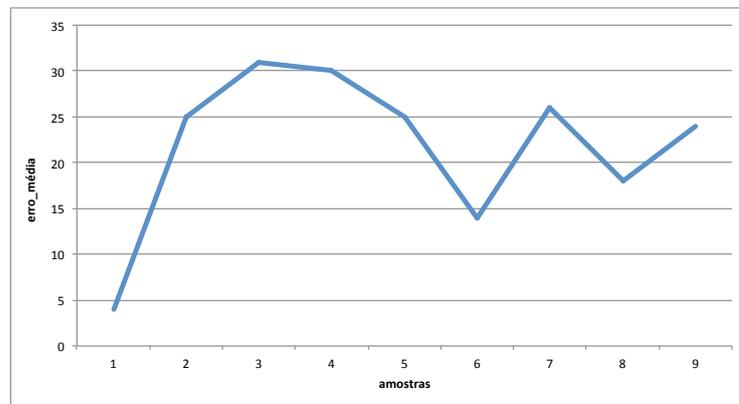


Figura 7.4 – Erro médio calculado para o Cenário sem Obstáculos

Tabela 7.5 – Padrões de Simulação

Tamanho da rede	100 m - 100m
Alcance dos nós	40m
Velocidade mínima	1m/s
Velocidade Máxima	20m/s
Velocidade Média	6.34m/s
Número Total de Nós	100
Número de Nós Âncoras	10 - 50
Número de Nós Desconhecidos	90 - 50
Tempo de Simulação	500s

mulado diferentes comportamentos em relação a quantidade de nós âncoras presentes na rede, variando de 10% até 50% de âncoras presentes na rede. Este padrão de simulação objetiva verificar o erro calculado em relação à quantidade de âncoras presentes na rede.

Os gráficos apresentados pelas Figuras 7.5 e 7.6 ilustram os resultados obtidos para diferentes quantidades de âncoras na rede conforme o padrão da Tabela 7.6. Os resultado foram obtidos com os cenários sem e com obstáculos a partir de um mesmo instante da simulação.

Tabela 7.6 – Padrões de Simulação

Tamanho da rede	100 m - 100m
Alcance dos nós	40m
Velocidade mínima	1m/s
Velocidade Máxima	20m/s
Velocidade Média	6.34m/s
Número Total de Nós	100
Número de Nós Âncoras	10 - 50
Número de Nós Desconhecidos	90 - 50
Tempo de Simulação	500s

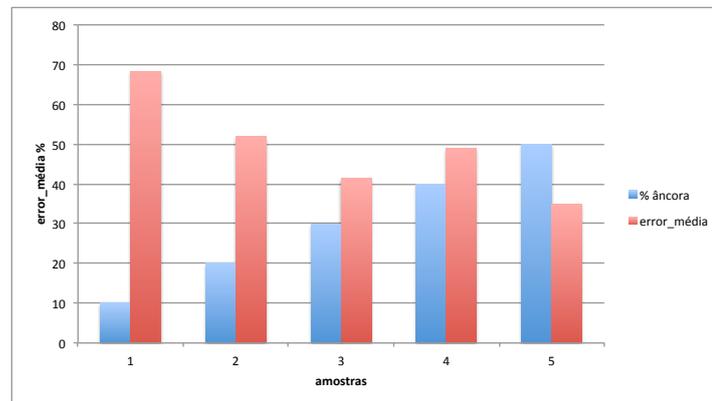


Figura 7.5 – Média de erro em relação a quantidade de âncoras na rede, Cenário com Obstáculos

A utilização do filtro juntamente com a técnica de RSSI para estimar a distância, garantem um baixo consumo devido a rápida e simples aquisição dos dados, garantindo um baixo fluxo de mensagens trocadas entre os nós para estimar sua posição. O comportamento do algoritmo mostra-se satisfatório, uma vez que (ANDREAS SAVVIDES CHIH-CHIEH HAN, 2001) indica erros de 20% a 30% na medida de distância entre nós em redes estáticas que utilizam o método de RSSI para estimar distância entre os nós.

### 7.0.3 Resumo

Este Capítulo abordou os resultados obtidos em simulação face aos diferentes cenários no qual o algoritmo se propõem operar. Nota-se que em relação a precisão o método de RSSI não é muito indicado para cenários com obstáculos. Entretanto, dependerá muito do tipo de aplicação alvo que o algoritmo será utilizado, se é mais importante ter precisão ou baixo custo e baixo consumo.

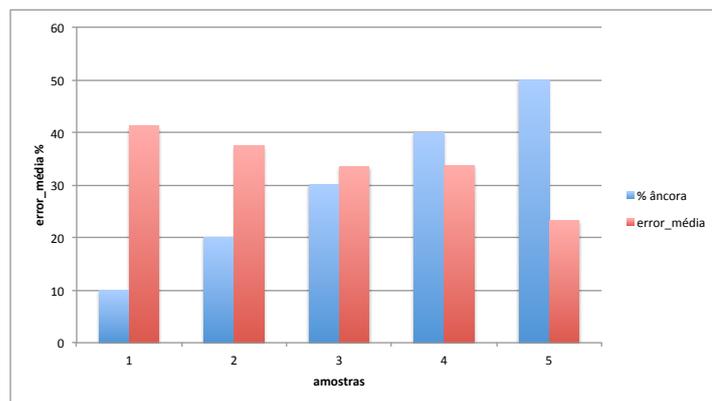


Figura 7.6 – Média de erro em relação a quantidade de âncoras na rede, Cenário sem Obstáculos

## 8 CONCLUSÃO

Como pode-se observar no decorrer do trabalho, o cenário de redes de sensores móveis aplicado em um ambiente com movimento não controlado de âncoras e nós desconhecidos é o pior caso que se tem para aplicar um algoritmo de localização.

O presente trabalho buscou uma metodologia que melhor se adequasse a este ambiente, visando garantir o baixo consumo de uma rede de sensores, para isto, garantiu o uso de poucos nós referência para o cálculo de estimativa de posição. O desempenho do algoritmo pode ser medido com base nas métricas de consumo, erro na localização estimada e número de nós referência para estimar posição. Estas métricas foram apresentadas nos gráficos e tabelas do Capítulo anterior.

O número de nós referência tem um impacto significativo no consumo em potência, por isto, buscou-se atacar de duas maneiras este problema. Primeiro utilizando somente 3 pontos de referência, segundo utilizando a técnica de MMSE para realizar o cálculo de posição, o qual tem uma baixa complexidade para resolução das equações, desta forma, garantindo um baixo processamento e conseqüentemente um menor tempo de resposta e menor consumo.

Após os testes realizados e descritos no Capítulo anterior, torna-se claro os benefícios da integração dos métodos estudados, garantindo a funcionalidade de uma rede de sensores totalmente móvel e sem qualquer tipo de controle. Tendo como principal contribuição o estudo de diferentes técnicas, obtendo como resultado a escolha das que mais se adequam ao propósito do trabalho. Baixo consumo e uma rede totalmente móvel, para isto, foi selecionada a utilização de poucos nós de referência para estimativa de posição, utilização da técnica de RSSI para estimativa de distância juntamente com o método de MMSE para realizar a estimativa da posição.

Desta maneira, o presente trabalho apresentou uma abordagem inovadora ao utilizar em conjunto os métodos citados, aplicados a redes com nós e âncoras móveis, garantindo a usabilidade do algoritmo tanto em redes de sensores estáticos como móveis.

### 8.1 Trabalhos Futuros

Como trabalho futuro destaca-se o uso de técnicas de tolerância a falhas, como incorporar ao algoritmo de localização um detector de nós com erros muito elevados na estimativa de posição. Por exemplo no cenário com obstáculos, o erro médio calculado ficou elevado devido

aos sensores com erros elevados. Um método de estimar este erro no próprio nó sensor impedirá de este servir como nó de referência para outro sensor, desta maneira, não disseminando o erro na rede. Uma metodologia parecida é apresentada por (LUZ MARTINS, 2012), denominada Método Híbrido de Detecção de Defeitos em Redes de Sensores Móveis Utilizando Algoritmo de Localização.

## REFERÊNCIAS

- A. BOUKERCHE H. OLIVEIRA, E. F. N.; LOUREIRO, A. A. Secure localization algorithms for wireless sensor networks. **IEEE Communications Magazine**, [S.l.], v.46, p.96–101, 2008.
- ABU-MAHFOUZ, A. M. **Accurate and Efficient Localization in Wireless Sensor Networks using a Best-Reference Selection**. 2011. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) — Philosophiae Doctor (Computer Engineering) UNIVERSITY OF PRETORIA.
- ANDREAS SAVVIDES CHIH-CHIEH HAN, M. B. S. Dynamic Fine-Grained Localization in Ad-Hoc Networks of Sensors. **7th ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing**, [S.l.], p.166 – 179, 2001.
- BISWAS, P.; YE, Y. Semidefinite programming for ad hoc wireless sensor network localization. **3rd International Symposium on Information Processing in Sensor Networks — IPSN**, [S.l.], p.46–54, 2004.
- BULUSU N.; HEIDEMANN, J. E. D. Gps-less low cost outdoor localization for very small devices. **IEEE Personal Communications Magazine**, [S.l.], 2000.
- CAMP T.; BOLENG, J. D. V. A survey of mobility models for ad hoc network research. **Wireless Communications Mobile Computing**, [S.l.], v.2, n.5, 2002.
- CAPKUN, S.; HUBAUX, J. P. Secure positioning in wireless networks. **IEEE Journal on Selected Areas in Communications**, [S.l.], v.24, n.2, p.221–232, 2006.
- D. LIECKFELDT, J. Y.; TIMMERMANN, D. An algorithm for distributed beacon selection. **6th Annual IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communication — PerCom**, [S.l.], p.17–21, Março 2008.
- DELLAERT FOX, B. Monte Carlo Localization for Mobile Robots. **IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)**, [S.l.], May 1999.
- F. FRANCESCHINI M. GALETTO, D. M.; MASTROGIACOMO, L. A review of localization algorithms for distributed wireless sensor networks in manufacturing. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, [S.l.], v.22, n.7, p.698–716, 2009.

GHADA K., J. L. Y. J. G. W. Cross-Layer Design for Topology Control and Routing in MANETs. **Wireless Communications and Mobile Computing JNL**, [S.l.], 2010.

GREENE, W. **Econometric Analysis**. Third Edition.ed. [S.l.]: Prentice Hall, 1997.

HU, E. Localization for mobile sensor networks. , [S.l.], 2004.

HU, L.; EVANS, D. Using directional antennas to prevent wormhole attacks. **11th Network and Distributed System Security Symposium — NDSS**, [S.l.], p.131–141, Fevereiro 2004.

I. F. AKYILDIZ W. SU, Y. S.; CAYIRCI, E. A survey on sensor networks. **IEEE Communications Magazine**, [S.l.], v.40, n.8, p.102–114, Fevereiro 2002.

J. LIU, Y. Z.; ZHAO, F. Robust distributed node localization with error management. **7th ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing**, [S.l.], p.250–261, Maio 2006.

J. WANG, R. K. G.; DAS, S. K. A survey on sensor localization. **Journal of Control Theory and Applications**, [S.l.], v.8, n.1, p.2–11, 2010.

J. YICK, B. M.; GHOSAL, D. Wireless sensor network survey,"*Computer Networks*. , [S.l.], v.52, n.12, p.2292–2330, Abril 2008.

K. Y. CHENG, V. T.; LUI, K. S. Improving aps with anchor selection in anisotropic sensor networks. **Joint International Conference on Autonomic and Autonomous Systems and International Conference on Networking and Services — ICAS-ICNS**, [S.l.], p.49–54, 2005.

LUZ MARTINS, L. G. da. **MÉTODO HÍBRIDO DE DETECÇÃO DE DEFEITOS EM REDES DE SENSORES MÓVEIS UTILIZANDO ALGORITMO DE LOCALIZAÇÃO**. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) — UFSM.

M. HUSSAIN, P. K.; SUP, K. WSN research activities for military application. **11th International Conference on Advanced Communication Technology — ICACT**, [S.l.], v.1, p.271–274, Fevereiro 2009.

MATHIEU BOUET, A. L. d. S. RFID Tags: positioning principles and localization techniques. **IEEE**, [S.l.], 2008.

N. B. PRIYANTHA H. BALAKRISHNAN, E. D.; TELLER, S. Anchor-free distributed localization in sensor networks. **MIT Laboratory for Computer Science, Tech. Rep.**, [S.l.], Abril 2003.

N. PATWARI J. N. ASH, S. K. A. O. H. I. R. L. M.; CORREAL, N. S. Locating the nodes: cooperative localization in wireless sensor networks. **IEEE Signal Process**, [S.l.], v.22, p.54–69, 2005.

N. WIRAWAN S. RACHMAN, I. P.; MITA, N. Design of low cost wireless sensor networks-based environmental monitoring system for developing country. **14th IEEE Asia-Pacific Conference on Communications — APCC**, [S.l.], p.1–5, Outubro 2008.

NICULESCU. Ad hoc positioning system (aps) using aoa. **Twenty-Second Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies - INFOCOM**, [S.l.], v.3, p.1734–1743, 2003.

OLIVEIRA, L. L. de. **Algoritmo de Localização de Nós para Redes de Sensores Móveis**. 2009. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) — UFSM.

PARKINSON B.; GILBERT, S. N. Global positioning system - ten years later. of the IEEE. **Proceedings of the IEEE**, [S.l.], v.71, n.10, p.1177–1186, 1983.

Q. SHI H. HUO, T. F.; LI, D. A distributed node localization scheme for wireless sensor networks. **Wireless Personal Communications**, [S.l.], v.53, n.1, p.15–33, 2010.

R. MAHESHWARI, J. G.; DAS, S. R. Detecting wormhole attacks in wireless networks using connectivity information. **26th IEEE International Conference on Computer Communications — INFOCOM**, [S.l.], p.107–115, 2007.

RAHMAN, M. Z.; KLEEMAN, L. Paired measurement localization: a robust approach for wireless localization. **IEEE Transactions on Mobile Computing**, [S.l.], v.8, n.8, p.1087–1102, 2009.

RAPPAPORT, T. S. **Wireless Communications Prin- Wireless Communications Principles Practice**. First Edition.ed. [S.l.]: Prentice Hall, 1996.

RASMUSSEN, K. B.; CAPKUN, S. Implications of radio fingerprinting on the security of sensor networks. rd **IEEE International Conference on Security and Privacy in Communications Networks — SecureComm**, [S.l.], p.331–340, 2007.

REGHELIN, R. **Um Algoritmo Descentralizado de Localização para Rede de Sensores Sem Fio Usando Calibragem Cooperativa e Heurísticas**. 2007. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) — UFSC.

S. H. TOH K. H. DO, W. Y. C.; LEE, S. C. Health decision support for biomedical signals monitoring system over a WSN. **2nd International Symposium on Electronic Commerce and Security — ISECS**, [S.l.], v.1, p.22–24, Maio 2009.

S. TIAN X. ZHANG, X. W. P. S.; ZHANG, H. A selective anchor node localization algorithm for wireless sensor networks. **International Conference on Convergence Information Technology — ICCIT**, [S.l.], p.21–23, 2007.

SRINIVASAN, A.; WU, J. **Wireless sensor networks (WSNs): secure localization**. 2008. 1545-1571p.

SSU K.-F.; OU, C.-H. J. H. Localization with mobile anchor points in wireless sensor networks. **IEEE Transactions on Vehicular Technology**, [S.l.], v.54, n.3, p.1187–1197, 2005.

TAN, H. X. Quality of Service in Wireless Sensor Networks. **Final Report submitted in CS6204**, [S.l.], 2006.

TEERAWAT ISSARIYAKUL, E. H. **Introduction to Network Simulator NS2**. [S.l.]: Springer, 2009.

VIVEKANANDAN. Concentric anchor-beacons (cab) localization for wireless sensor networks. **IEEE International Conference on Communications**, [S.l.], v.9, p.3972 – 3977, 2006.

X. JI, H. Z. Sensor positioning in wireless ad-hoc sensor networks using multidimensional scaling. **23rd Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies — INFOCOM**, [S.l.], v.4, p.2652–2661, March 2004.

YU G.; YU, F. F.-L. A three dimensional localization algorithm using a mobile anchor node under wireless channel. **IEEE International Joint Conference on Neural Networks**, [S.l.], p.477–483, 2008.

ZHANG B.; YU, F. An energy efficient localization algorithm for wireless sensor networks using a mobile anchor node. **International Conference on Information and Automation - ICIA**, [S.l.], p.215–219, 2008.

ZHEN HU1 DONGBING GU2, Z. S. H. L. Localization in Wireless Sensor Networks Using a Mobile Anchor Node. **IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics**, [S.l.], 2008.