



**LUIZ FERNANDO ROSA FILHO**

**“AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE UMA REDE DE SENSORES SEM FIO NO CULTIVO DE CANA-DE-AÇÚCAR”**

*“ASSESSING THE PERFORMANCE OF A WIRELESS SENSOR NETWORK IN THE CULTIVATION OF CANE”*

**LIMEIRA  
2012**



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA**

LUIZ FERNANDO ROSA FILHO

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE UMA REDE DE SENSORES SEM FIO NO  
CULTIVO DE CANA-DE-AÇÚCAR**

Orientador: Prof<sup>o</sup> Dr<sup>o</sup> Leonardo Lorenzo Bravo Roger

*ASSESSING THE PERFORMANCE OF A WIRELESS SENSOR NETWORK IN THE  
CULTIVATION OF CANE*

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado da Faculdade de Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas, na área de Concentração de Tecnologia e Inovação como requisito para a obtenção do título de Mestre em Tecnologia.

*Dissertation submitted to the Master Course, Faculty of Technology, State University of Campinas, in the area of concentration for Technology and Innovation as a requirement for obtaining the title of Master of Technology.*

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE A VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO DEFENDIDA POR LUIZ FERNANDO ROSA FILHO E ORIENTADO PELO PROF. DR. LEONARDO LORENZO BRAVO ROGER.

---

**LIMEIRA, 2012**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA POR SILVANA MOREIRA DA SILVA SOARES –  
CRB-8/3965  
BIBLIOTECA UNIFICADA FT/CTL  
UNICAMP

Rosa Filho, Luiz Fernando, 1984-  
R71a Avaliação do desempenho de uma rede de sensores  
sem fio no cultivo de cana-de-açúcar / Luiz Fernando  
Rosa Filho. – Limeira, SP : [s.n.],  
2012.

Orientador: Leonardo Lorenzo Bravo Roger.  
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de  
Campinas, Faculdade de Tecnologia.

1. Redes de sensores sem fio. 2. Cana-de-açúcar.  
3. Topologia. I. Bravo Roger, Leonardo Lorenzo.  
II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de  
Tecnologia. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em inglês: Assessing the performance of a wireless sensor network in the  
cultivation of cane sugar

Palavras-chave em inglês (Keywords):

- 1- Wireless sensor network
- 2- Sugar cane
- 3- Topology

Área de concentração: Tecnologia e Inovação

Titulação: Mestre em Tecnologia

Banca examinadora: Benedito Renê Fischer, Francisco José Arnold, Leonardo  
Lorenzo Bravo Roger

Data da Defesa: 05-07-2012

Programa de Pós-Graduação em Tecnologia

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TECNOLOGIA**  
**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: TECNOLOGIA E INOVAÇÃO**

Avaliação do desempenho de uma Rede de Sensores Sem Fio no cultivo de Cana-de-Açúcar

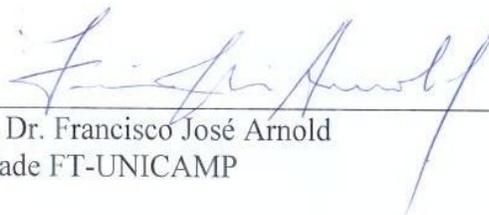
**Autor:** Luiz Fernando Rosã Filho

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Dissertação:



---

Prof. Dr. Leonardo Lorenzo Roger Bravo, Presidente  
FT/UNICAMP



---

Prof. Dr. Francisco José Arnold  
Unidade FT-UNICAMP



---

Prof. Dr. Benedito Renê Fischer  
Unidade IGCE - UNESP

## **DEDICATÓRIA**

*Dedico este trabalho a Deus, aos meus familiares e as pessoas envolvidas em  
minha vida durante este trabalho.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por estar comigo em todos os momentos, por me conceder oportunidades em minha vida.

Agradeço a minha família por ter me ajudado a superar todos os obstáculos para que eu pudesse concluir este trabalho, em especial meu papai Luiz nas ajudas em viagens e até durante alguns experimentos deste trabalho, minha mamãe Nilce pela paciência e compreensão da minha ausência durante os períodos de escrita e pesquisa deste trabalho e minha irmã Ecila.

Ao Professor Dr. Leonardo Lorenzo Bravo Roger, meu orientador, que confiou em meu trabalho e dedicou-se em cada momento desta pesquisa.

Ao Professor Dr. Francisco José Arnold, apoiando em vários momentos durante a pesquisa, companheiro nas viagens até outros órgãos, visita na Embrapa em São Carlos - SP, experimentos realizados em plantação e ajudas essenciais na realização do trabalho.

Aos professores, funcionários e colegas da FT, pelo grato período de convivência, e em especial ao João.

A minha namora e Professora Cristina que me incentivou em momentos difíceis da dissertação.

Ao projeto FINEP que forneceu os equipamentos permitindo a realização deste trabalho.

Aos mestrandos Elaine Cangussu aluna da FEAGRI e Clerivaldo José aluno da FT durante os testes iniciais e interpretação dos experimentos.

A todos os amigos que ganhei durante este período, em especial Daniel Lopes, Garcia, Alexandre, Eli, Sr<sup>o</sup>. Cicero e Sr<sup>a</sup>. Sandra e todos que de alguma forma contribuíram para que eu realizasse esse trabalho.

*“Você pode conseguir qualquer coisa que queira na vida, se você ajudar o suficiente outras pessoas a conseguirem o que elas querem.”.*

Zig Ziglar

## RESUMO

Esta dissertação descreve os procedimentos para instalação, configuração e utilização de uma RSSF em cultivo de Cana-de-Açúcar enfatizando o conceito de Agricultura de Precisão. O foco do trabalho foi identificação das distâncias e posicionamento dos elementos da rede de modo a diminuir o número de elementos que garantam uma maior cobertura possível da rede, mantendo um funcionamento adequado nesse tipo de aplicação. Contudo, possibilita-se uma diminuição de custo para implantação e viabilização da utilização de tecnologia de Redes de Sensores Sem Fio em cultivo da Cana-de-Açúcar.

O gerenciamento adotado para a Rede de Sensores Sem Fio foi abordagem requisição e resposta (RR) e modo de energia de Alta Potência (HP). Foi avaliado experimentalmente que no cultivo de Cana-de-Açúcar o desempenho de uma RSSF com topologia estrela na camada sorvedouro e nós sensores é superior à topologia em malha e recomendamos a Topologia Híbrida também chamada em *Árvore* para esse tipo de aplicação da RSSF.

Também no importante quesito de consumo de bateria os experimentos mostraram que o modo requisição resposta em configuração HP, não é adequado para tempos na ordem de 2 minutos, deixando aos administradores das redes e aos agricultores deste tipo de cultivo a definição de um tempo adequado de programação das requisições e respostas nos motes.

Palavras-chave: Rede de Sensores Sem Fio, Topologia e Cana-de-Açúcar.

## ABSTRACT

This paper describes the processes for installation, configuration and use of a WSN in sugar cane emphasizing the concept of Precision Agriculture. The focus of the study was to identify the distances and positioning of the network elements so as to reduce the number of elements that can ensure better coverage of the network, maintaining a proper functioning of this type of application. However, it allows a decrease in cost for deployment and use of technology the Wireless Sensor Networks in the cultivation of sugar cane.

The management adopted for Wireless Sensor Network approach is Request and Response (RR) in Mode Energy Power High (HP). Was evaluated experimentally that in cultivation of sugar cane, the performance of a WSN with star topology between sorvedouro and sensor nodes is best than the mesh topology and is recommend a hybrid topology or tree topology for this kind of application of WSN.

Also in the item important battery-consumer this application, experiments have shown that the Mode Power High, setting Request Response, is not suitable for times 2 in 2 minutes , leaving the network administrators and farmers such cultivation defining a timing of scheduling of requests and responses in the motes.

Keywords: Wireless Sensor Network, Sugar Cane and Topology.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.4.1 – Topologias Zigbee para RSSF (ZIGBEE).....	13
Figura 2.4.2 – Topologia Estrela utilizando uma RSSF da Crossbow (MOTEVUEW, 2012) durante medição em plantação de Cana-de-Açúcar (FAZENDA ITAIQUARA, 2012).....	14
Figura 2.4.3 - Roteamento de uma RSSF: Roteamento tradicional (lado esquerdo) e Roteamento Centrado em Dados (lado direito) (RUIZ et al ,2003).....	15
Figura 3.1.1 - Mote IRIS XM2110 com antena padrão (MPR/MIB, 2007). ....	24
Figura 3.1.2 - Diagrama de Blocos do Mote IRIS XM2110 (MPR/MIB, 2007).....	24
Figura 3.1.3 – Tela do software MOTECONFIG 2.0 para programação e configuração do Mote (MOTECONFIG, 2007). ....	26
Figura 3.1.4 - Mote IRIS XM2110 + MDA300CA alimentados por baterias do tipo AA... ..	27
Figura 3.2.1 - Placa MDA300CA dotada dos sensores de temperatura e umidade (MTS/MDA, 2007).....	28
Figura 3.3 – Management Information Base modelo MIB520 (MPR/MIB, 2007).....	29
Figura 3.4.1 – Tela do Programa MOTEVUEW 2.0 (XMESH, 2007). ....	31
Figura 4.2 – Fluxograma Metodologia do Trabalho.....	38
Figura 5.1.1 – Variação do Sinal RSSI (dBm) em relação ao tempo em ambiente de Laboratório. ....	40
Figura 5.1.2 – Variação do Consumo de Energia das baterias AA do Mote em relação ao Tempo(h) em ambiente de Laboratório ROCCIA , 2011. ....	41
Figura 5.1.3 – Comportamento estável das leituras de pacotes de saúde em relação ao tempo em ambiente de Laboratório.....	42

Figura 5.1.4 – Utilização da Largura de Banda em relação ao tempo de funcionamento em ambiente de Laboratório.....	43
Figura 5.2.1 – Posicionamento linear do gerente principal e Mote de uma RSSF em campo aberto.....	44
Figura 5.2.2 – Diminuição do Sinal RSSI (dBm) em relação à distância do Mote com posicionamento do sorvedouro na altura 0,8 metros em condições de enlace de Espaço Livre.....	45
Figura 5.2.3 – Variação do percentual de perda e retransmissões de pacotes em relação à distância do Mote com posicionamento do sorvedouro na altura 0,8 metros condições de enlace de espaço livre.....	47
Figura 5.3 – Mote IRIS dotado de placa de sensoriamento posicionando com altura 0,8m aplicado em plantação de Cana-de-Açúcar FAZENDA ITAIQUARA, 2011.....	48
Figura 5.3.1 – Variação do Sinal RSSI (dBm) em relação à distância dos motes com posicionamento do sorvedouro na altura 0,8 metros.....	49
Figura 5.3.2 – Variação do percentual de perda e retransmissões de pacotes em relação à distância dos motes com posicionamento do sorvedouro na altura 0,8 metros.....	49
Figura 5.3.3 – Utilização da Largura de Banda em relação à distância dos motes com posicionamento do sorvedouro na altura 0,8 metros.....	50
Figura 5.4.1 – Exemplo de um posicionamento do Nó Sorvedouro (Gerente) e Nó Sensor (Agente) em relação ao solo.....	51
Figura 5.4.2 – Exemplo de um posicionamento dos Nós (Mote) de uma RSSF utilizada neste trabalho.....	51
Figura 5.4.3 – Nó Sorvedouro posicionando com altura de 6 metros em plantação de Cana-de-Açúcar FAZENDA ITAIQUARA, 2012.....	52
Figura 5.4.4 – Variação do Sinal RSSI (dBm) em relação à distância dos motes com posicionamento do sorvedouro na altura 2 metros.....	54

Figura 5.4.5 – Variação do percentual das perdas e retransmissões de pacotes em relação à distância dos motes com posicionamento do sorvedouro na altura 2 metros. ....	55
Figura 5.4.6 – Utilização da Largura de Banda em relação à distância dos motes com posicionamento do sorvedouro na altura 2 metros. ....	55
Figura 5.4.7 – Variação do Sinal RSSI (dBm) em relação à distância dos motes com posicionamento do sorvedouro na altura 4 metros. ....	56
Figura 5.4.8 – Variação do percentual das perdas e retransmissões de pacotes em relação à distância dos motes com posicionamento do sorvedouro na altura 4 metros. ....	57
Figura 5.4.9 – Utilização da Largura de Banda em relação à distância dos motes com posicionamento do sorvedouro na altura 4 metros. ....	57
Figura 5.4.10 – Variação do Sinal RSSI (dBm) em relação à distância dos motes com posicionamento do sorvedouro na altura 5 metros. ....	58
Figura 5.4.11 – Variação do percentual das perdas e retransmissões de pacotes em relação à distância dos motes com posicionamento do sorvedouro na altura 5 metros. ....	59
Figura 5.4.12 – Utilização da Largura de Banda em relação à distância dos motes com posicionamento do sorvedouro na altura 5 metros. ....	59
Figura 5.4.13 – Variação do Sinal RSSI (dBm) em relação à distância dos motes com posicionamento do sorvedouro na altura 6 metros. ....	60
Figura 5.4.14 – Variação do percentual das perdas e retransmissões de pacotes em relação à distância dos motes com posicionamento do sorvedouro na altura 6 metros. ....	61
Figura 5.4.15 – Utilização da Largura de Banda em relação à distância dos motes com posicionamento do sorvedouro na altura 6 metros. ....	61
Figura 5.5.1 – Comparativo da variação do Sinal RSSI (dBm) em relação à distância (m) dos motes com sorvedouro posicionado nas alturas 0,8m e 6m. ....	63

Figura 5.5.2 – Comparativo da variação do percentual de pacotes perdidos em relação às distâncias com sorvedouro posicionado nas alturas 0,8m, 2m, 4m, 5m e 6m.....	64
Figura 5.5.3 – Comparativo da variação do percentual de pacotes retransmitidos em relação às distâncias com sorvedouro posicionado nas alturas 0,8m, 2m, 4m, 5m e 6m.....	65
Figura 5.5.4 - Utilização da Largura de Banda em relação às distâncias dos motes com sorvedouro posicionado em alturas 0,8m, 2m, 4m, 5m e 6m.....	65
Figura 5.5.5 – Variações das qualidades de link do transmissor em relação às distâncias com sorvedouro posicionado em alturas 0,8m , 2m , 4m, 5m e 6m.....	66
Figura 5.5.6 – Variações das qualidades de link do receptor em relação às distâncias com sorvedouro posicionado em alturas 0,8m, 2m, 4m, 5m e 6m.....	67
Figura A.1 – Tela do Moteconfig 2.0 com as configurações para a estação de base de gerenciamento.....	77
Figura A.2 – Tela do Moteconfig 2.0 com as configurações para os nós sensores.....	78

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Os principais recursos do Micro controlador ATMEGA1281V (MPR/MIB, 2007). .....	29
Tabela 5.4.1 – Tabela de variação do Sinal RSSI em relação à distância com Nó Sorvedouro nas posições 0,8m, 2m, 4m, 5m e 6m. ....	57
Tabela 5.5 – Coeficientes angulares da taxa de variação da RSSI (sinal percebido no Sorvedouro) dos experimentos 0,8m ,2m ,4m ,5m e 6m.....	71

## LISTA DE ABREVIATURAS

ACKNOWLEDGEMENT	Mensagem de confirmação de recebimento de mensagem
AD HOC	Tipo de rede que não possui um nó
AM	Agentes Móveis
BACKBONE	Capítulo central de alta velocidade pela qual outros segmentos de rede estão conectados
BEST EFFORT	Melhor Esforço
BIT	Dígito binário
BRIDGE	Interface que conecta segmentos de redes diferentes
BYTE	Conjunto de 8 bits
dBm	Unidade de potência em decibéis (dB) referenciada a um nível de 1 miliwatt (mW)
DOWNSTREAM	Entrega de pacotes da estação de base para o(s) nó(s)
EEPROM	Memória programável eletricamente
FFDS	<i>Full Functional Devices</i>
FLASH	Memória não-volátil de armazenamento de chips de computador que pode ser apagada e reprogramada eletricamente
GATEWAY	Interface entre a RSSF e o computador
GUARANTEED DELIVERY	Garantia de Entrega
HEALTH PACKET	Pacote de Saúde
HP	<i>High Power</i>

IEEE	<i>Institute Eletrical and Engineers</i>
IRIS	Plataforma de sensoriamento da <i>Crossbow Technology Inc.</i>
KILOBYTE	Conjunto de 1024 <i>bytes</i>
LAN	Local Area Network ou Rede de alcance local
LOGS	Registros de eventos
MANAGER OF MANAGERS	Gerente de gerentes de uma RSSF.
MANNA	Arquitetura de Gerenciamento de RSSF
MDA300	Placa sensora para o mote XM2110
MEMS	Micro-eleto-mecânica
MIB	<i>Management Information Base</i>
MOTE	Módulo de processamento e comunicação sem fios ou nó
MULTIHOP	Múltiplos saltos através do enlace
NESC	Linguagem de programação para o desenvolvimento de Aplicativos para o TinyOS
OQPSK	<i>Offset Quadrature Phase Shift Keying</i>
PAN	Personal Area Network
POSTGRESQL	Sistema Gerenciador de Banco de Dados Objeto Relacional de código aberto
QOS	Qualidade de Serviço
RAM	<i>Random Access Memory</i>
RF	Rádio Frequência
RFDS	<i>Reduced Functional Devices</i>

RISC	<i>Reduced Instruction Set Computer</i>
ROM	<i>Read Only Memory</i>
RSSF	Rede de Sensores Sem Fios
RSSI	Intensidade do sinal de RF no receptor
SNIFFER	Interceptador e analisador de pacotes de redes
SRAM	Memória estática de acesso aleatório
TINY OS	Sistema operacional de código aberto escrito em linguagem NesC
TINYSCRIPT	Linguagem de programação do TinyOS
TOSBASE	Baseada nos algoritmos nativos do TinyOS
UPSTREAM	Entrega de pacotes de um nó para a estação de base
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
UTP CROSSOVER	Tipo de cabo padrão Ethernet para conectar dispositivos sem a presença dos concentradores de cabos
WAN	Wide Area Network ou Rede de longo alcance geográfico
WINDOWS GUI	Interface gráfica do sistema operacional Microsoft Windows
XM2110	Modelo de mote da plataforma IRIS
XMESHBASE	Código baseado no protocolo de rede desenvolvido pela Crossbow
XOTAP	Aplicativo para programação remota dos nós sensores
XSERVE	Aplicação versátil que permite monitorar e gerenciar a RSSF

# SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	vii
<b>ABSTRACT</b> .....	viii
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	ix
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	xiii
<b>LISTA DE ABREVIATURAS</b> .....	xiv
<b>1. INTRODUÇÃO.</b> .....	1
<b>1.1 CONTRIBUIÇÕES.</b> .....	4
<b>1.2 MOTIVAÇÃO.</b> .....	4
<b>1.3 OBJETIVOS DO TRABALHO.</b> .....	5
<b>1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.</b> .....	6
<b>2. REVISÃO LITERARIA DAS REDES DE SENSORES SEM FIO E CONCEITOS BÁSICOS DE AGRICULTURA DE PRECISÃO</b> .....	7
<b>2.1 CONCEITOS BÁSICOS DE REDES DE SENSORES SEM FIO.</b> .....	8
<b>2.2 ELEMENTOS DE UMA RSSF.</b> .....	8
<b>2.3 CARACTERISTICAS DOS NÓS DE UMA RSSF.</b> .....	9
<b>2.4 TOPOLOGIAS DE REDES DE SENSORES SEM FIO ZIGBEE</b> .....	11
<b>2.4.1 AGREGAÇÃO DE DADOS.</b> .....	14
<b>2.5 CONCEITOS DE GERENCIAMENTO DE REDES DE SENSORES SEM FIO.</b> .....	15
<b>2.5.1 ESTRATÉGIAS DE GERENCIAMENTO.</b> .....	18

2.5.1.1 GERENCIAMENTO CENTRALIZADO.....	19
2.5.1.2 GERENCIAMENTO DISTRIBUÍDO. ....	20
2.5.1.3 GERENCIAMENTO HIERÁRQUICO. ....	20
2.6 CONCEITOS GERAIS DE AGRICULTURA DE PRECISÃO.....	21
<b>3. APRESENTAÇÃO E DESCRIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS DA RSSF.....</b>	<b>23</b>
3.1 CARACTERIZAÇÕES DOS MOTES. ....	23
3.2 PLACA DE SENSORIAMENTO.....	27
3.3 MIB520.....	28
3.4 SOFTWARE.....	29
3.4.1 MOTE VIEW 2.0. ....	30
3.5 MODOS DE ENERGIA.....	31
<b>4. METODOLOGIA DO TRABALHO.....</b>	<b>33</b>
4.1 INTERPRETAÇÕES DAS MÉTRICAS. ....	33
4.2 FLUXOGRAMA DO TRABALHO. ....	37
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>39</b>
5.1 AVALIAÇÃO DA RSSF EM AMBIENTE LABORATÓRIO.....	39
5.2 AVALIAÇÃO DA REDE EM AMBIENTE ABERTO. ....	43
5.2.1 VALIDAÇÃO TEÓRICA DESTA MEDIÇÃO. ....	45
5.3 APLICAÇÃO DA REDE DE SENSORES SEM FIO NO CULTIVO AGRÍCOLA. ....	47
5.4 DESEMPENHO DA RSSF ALTERANDO A POSIÇÃO DO SORVEDOURO.....	51
5.4.1 RESULTADOS DO EXPERIMENTO ALTERANDO ALTURA DO NÓ SORVEDOURO. .....	52

5.5 COMPARATIVO DOS EXPERIMENTOS COM VARIAÇÃO DO POSICIONAMENTO DO NÓ SORVEDOURO.....	62
5.6 DISCUSSÕES.....	68
<b>6. CONCLUSÃO.....</b>	<b>71</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>	<b>72</b>
<b>ANEXO A.....</b>	<b>76</b>
A.1 INSTALAÇÃO E CONFIGURAÇÃO DO MOTE DA ESTAÇÃO DE BASE E MOTES DOS NÓS SENSORES.....	76
A.1.1 PROGRAMAÇÃO DO MOTE ACOPLADO NA ESTAÇÃO DE BASE.....	76
A.1.2 INSTALAÇÃO DOS PROGRAMAS NOS MOTES.....	77

# 1. INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, o Brasil é o maior produtor de Cana-de-Açúcar, sua participação no comércio internacional é aproximadamente 40% de toda produção do planeta segundo FAOSTAT, 2011. O açúcar e álcool derivados da Cana-de-Açúcar são apontados com destaque nas pesquisas sobre exportação do agronegócio brasileiro, ficando atrás apenas dos derivados da soja e de carnes. O Estado de São Paulo hoje detém em média 60% da produção do mercado nacional, dados do IBGE, 2011. Contudo, percebemos a necessidade de investimentos das indústrias açucareiras do Brasil e entidades interessadas no desenvolvimento ou aperfeiçoamento dos processos, manejo e obtenção de produtos com melhor qualidade, satisfazendo as exigências do mercado externo e interno HAMERSKI , 2009.

As Redes de Sensores Sem Fios ou RSSF são basicamente redes constituídas por elementos chamados nós. Os elementos são implementados com multifuncionalidades e dotados, ou não, de placa de sensoriamento. Os nós possuem capacidade de coletar e processar dados e a parte de comunicação sem fio. Cada nó sensor pode estabelecer uma comunicação origem e destino, também podendo ser uma comunicação multi-saltos, ou seja, utilizando nó intermediário para realizar a comunicação origem e destino, uma das características das redes sem fio do tipo *ad hoc* AKYILDIZ et al., 2002. As RSSF são utilizadas em ambientes hostis como florestas, vulcões, gasodutos entre outros SON et al., 2006. Há aplicação de RSSF nas áreas militares, comerciais, científicas e industriais. HEIDEMANN et al., 2004.

Os elementos de uma Rede de Sensores Sem Fios são basicamente os nós, neste trabalho chamado de *Mote* e Estação Base representado em nosso trabalho como *MIB* e as unidades de sensoriamento como, por exemplo, sensores de temperatura, umidade, pressão e outras. Neste trabalho a unidade de sensoriamento é representada pela placa *MDA300*, uma unidade de sensoriamento de temperatura e umidade desenvolvido pela CROSSBOW.

Todas as redes de comunicação sem fio possuem uma característica crucial, as falhas na comunicação entre seus elementos, interferindo diretamente nas informações geradas pela rede. Os dados criados, enviados e recebidos pelos nós da rede sem fio estão sujeitos a perdas descrito em MILLER et al., 2005.

Podemos citar algumas características cruciais de uma Rede de Sensores Sem Fios como: restrições de hardware e software, tolerância a falhas de comunicação entre os elementos, topologia de rede dinâmica, alta densidade de nós, perda de elementos da rede e os nós realizam tarefas colaborativas AKYILDIZ et al., 2002.

Os nós sensores tipicamente são compostos por um terminal de comunicação sem fio, unidade de energia e dispositivo sensor, além de possuir algumas características como tamanho portátil, limitação de capacidade de processamento e armazenamento, comunicação sem fio, limitação de energia e multifuncionalidades STEFAN et al., 2007.

O funcionamento satisfatório de uma RSSF depende de vários fatores, podemos citar o tráfego dos dados como uma característica crucial para funcionamento, ou seja, recebimento dos dados capturados pelos nós sensores no concentrador da rede. Na maioria, as RSSF em suas aplicações são encontradas com grande quantidade nós e os recursos dos seus elementos são limitados conforme suas características tecnológicas INTANAGONWIWAT et al., 2000.

Para garantir a confiabilidade dos dados e funcionamento da rede é necessário utilização do gerenciamento da RSSF, sendo definido conforme sua aplicação e operação. Em aplicação agrícola, devido às condições de instalação deste ambiente, muitas vezes não permitindo a movimentação dos seus elementos são utilizadas as abordagens Requisição/Resposta e Notificação de Eventos (PODEROSO, 2009 ; SILVA, 2006).

Atualmente, são realizados vários estudos relacionados às abordagens de gerenciamento Agentes Móveis ou AM, Notificação de Eventos ou NE e Requisição/Resposta ou RR.

A abordagem de gerenciamento RR foi escolhida, baseado em estudos comprovando as vantagens em relação às outras existentes e aplicáveis em agricultura segundo SILVA, 2006. Na abordagem RR, quando ocorre perda de uma resposta o gerente poderá agir após identificar o motivo da perda. A principal desvantagem dessa abordagem é o grande volume de dados no momento da requisição/resposta dos elementos próximos aos gerentes, ocorrendo aumento dos pacotes que transitam na rede, aumento de processos nos elementos, perda de dados e causando maior consumo de energia e utilização da largura da banda, todavia encontramos em JORGITO et al.,2009 propostas e estudos que apresentam soluções utilizando mecanismos de agregação de dados.

Neste projeto, utilizamos equipamentos previamente pesquisados e adquiridos com recursos financeiros do FINEP e parceria com a FEAGRI. Basicamente, os equipamentos contêm *software e hardware* específicos para redes de sensores sem fios e configuração direcionada para abordagens RR, ou seja, os gerentes da rede requisitam informações da rede e seus elementos retornam resposta dos elementos da rede.

As RSSF são redes do tipo *Ad hoc* PERKINS, 2000 mutáveis de topologias de redes e abordagens de gerenciamento (LOUREIRO et al., 2002; AKYILDIZ et al., 2002). A dissertação apresenta estudos do comportamento da RSSF em cenários de laboratório em sua fase de teste e solução em aplicação de cultivo agrícola. A metodologia da pesquisa utiliza as principais métricas para teste do desempenho das RSSF, podemos destacar o consumo de energia, largura da banda, perda de pacotes, retransmissão de pacotes e intensidade do sinal percebida na estação base.

O projeto avalia uma Rede de Sensores Sem Fio em cultivo de Cana-de-Açúcar. A plantação de Cana gerenciada nesse projeto é destinada para extração dos derivados álcool e açúcar. A plantação utilizada neste trabalho esta na Fazenda da Usina Itaiquara de Açúcar e Álcool S.A. localizada na cidade de Tapiratiba, divisa da cidade de São José do Rio Pardo, Região Leste do Estado de São Paulo, localizada nas coordenadas: 21° 28' 34'' de Latitude Sul e 46° 48' 13'' de Longitude Oeste e Altitude 755 metros. Segundo CEPAGRI, 2012 a temperatura máxima com variação entre 25°C e 30°C.

Os resultados obtidos através da aplicação de uma Rede de Sensores Sem Fios em ambiente de cultivo da Cana-de-Açúcar permitem identificação das vantagens da sua utilização e aponta seus problemas. Este trabalho continua pesquisas já realizadas por ROCCIA, 2011 em outros cultivos agrícolas, apresenta uma solução para aplicação de uma RSSF em cultivo da Cana-de-Açúcar, impõe novos desafios e oportunidades de pesquisas.

## 1.1 CONTRIBUIÇÕES

As principais contribuições deste projeto vão desde a implantação de uma RSSF em cultivo de Cana-de-Açúcar, a identificação dos problemas da aplicação da rede neste ambiente agrícola, até uma solução de posicionamento dos elementos para aumento da cobertura da RSSF.

Podemos classificar as contribuições, conforme abaixo:

- ✓ Identificação de posicionamento dos nós para garantir uma maior cobertura da RSSF em cultivo de Cana-de-Açúcar.
- ✓ Identificação dos procedimentos para instalação, configuração e implementação de uma RSSF e seus elementos utilizando kit Crossbow;
- ✓ Avaliação do comportamento da RSSF na abordagem RR considerando as métricas de gerenciamento em ambiente aberto e num cultivo da Cana-de-Açúcar.

Os equipamentos, resultados e contribuições desta dissertação podem subsidiar novas pesquisas relacionadas a redes de sensores sem fio aplicados em agricultura e complementares.

## 1.2 MOTIVAÇÃO

Pontuamos nossa principal motivação, a ascensão do mercado agrícola no Brasil (FAOSTAT, 2011 ; USDA, 2012 ) e necessidade das entidades interessadas pelo manejo eficiente de culturas agrícolas como da Cana-de-Açúcar adotando tecnologias, apontado no trabalho de HAMERSKI, 2009 . As Redes de Sensores Sem Fio, contudo, podem proporcionar a redução de custos com insumos e melhorias na produtividade da plantação. Em seguida são apontadas algumas informações referentes ao mercado agrícola do Brasil e do mundo:

- ✓ O Departamento de Agricultura dos Estados Unidos estima que as exportações de açúcar do Brasil em 2012/13 sejam de 25,25 milhões de toneladas, alta de 600 mil toneladas no ano, devido à forte demanda internacional;
- ✓ O governo chinês estabeleceu uma meta de consumo de cinco milhões de toneladas de biocombustíveis no período de 2011 a 2015, quase o dobro do que foi estipulado no plano quinquenal anterior 2006 a 2010 UNICA, 2012.

Encontramos alguns desafios que nos motivam a estudar as Redes de Sensores Sem Fio aplicados na agricultura como: os custos de implantação ainda são pouco atraentes, a busca de soluções para baixar o consumo de energia do nó sensor aumentando seu tempo de funcionamento, a comunicação confiável entre os nós, entre outros pertinentes às características intrínsecas de uma RSSF.

### **1.3 OBJETIVOS DO TRABALHO**

O objetivo geral do projeto é a identificação dos procedimentos a serem realizados para instalação, configuração e utilização da rede de sensores sem fio em cultivo de Cana-de-Açúcar.

Apontamos nossos objetivos específicos na identificação das distâncias e posicionamento dos elementos da rede, necessários para garantir satisfatoriamente o seu funcionamento. Contudo, foi colocado como foco da nossa atenção diminuir o número de elementos e aumentando a cobertura da rede em sua aplicação, consecutivamente diminuição de custo para implantação de uma RSSF em cultivo da Cana-de-Açúcar. Finda na apresentação de uma solução, uma Rede de Sensores Sem Fio baseado na abordagem requisição e resposta para monitoramento da cultura de Cana-de-Açúcar.

A avaliação do comportamento da rede é necessária para apontar as características e problemas na aplicação em agricultura, especificamente em cultivo de Cana-de-Açúcar.

## 1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O presente trabalho de dissertação está organizado em partes, primeiro a Introdução contendo um breve relato das redes de sensores sem fio e cenário do mercado da agricultura da Cana-de-Açúcar, seguidos das subseções contribuições, motivação, objetivos e organização do trabalho. Apresentado no capítulo 2 uma revisão literária de Redes de Sensores Sem Fio e no último subcapítulo 2.6 apontamos alguns trabalhos e conceitos sobre Agricultura de Precisão, a caracterização e apresentação dos equipamentos de uma RSSF estão localizadas no capítulo 3. Um fluxograma foi proposto contendo as etapas da Metodologia do Trabalho no capítulo 4. Os Resultados e Discussões são ilustrados no capítulo 5, a conclusão do trabalho está no capítulo 6. No anexo A mostra, os trâmites para programação e configuração dos *Motes* da RSSF da Crossbow Technology.

## **2. REVISÃO LITERARIA DAS REDES DE SENSORES SEM FIO E CONCEITOS BÁSICOS DE AGRICULTURA DE PRECISÃO.**

Neste capítulo apresentamos os conceitos básicos de redes de sensores sem fio. Apontamos a importância das normas publicadas pelo IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*), padronizando e referenciando atuais pesquisas relacionadas a tecnologias de redes sem fio no mundo. Descrevemos as características dos elementos das RSSF e as principais topologias *Zigbee*.

As redes sem fio, conhecidas como wireless, sofrem bem mais interferências de fatores externos do que as redes cabeadas tal situação ocorre devido à forma de propagação dos dados. Em uma rede cabeada, os cabos podem ser de diferentes tipos de materiais, contudo, existe uma proteção física em relação ao meio onde está instalado. As redes sem fio baseiam seu funcionamento na transmissão de informação por ondas de rádio frequência utilizando um canal de comunicação que sofre interferências de objetos e barreiras físicas, provocando efeitos de atenuação, reflexão e difração que geram erros na transmissão. Geralmente a esse aumento de pacotes errados, a rede responde com um aumento do número de retransmissões, com o conseqüente aumento do consumo de bateria dos elementos da rede, sendo este um assunto crítico no seu desempenho. A principal vantagem da tecnologia sem fio é seu alcance, podendo chegar a lugares de difícil acesso, provavelmente, uma rede convencional cabeada não chegaria (HAYKIN, S.; MOHER, M., 2008).

A grande maioria dos padrões sem fio existentes permite plena conectividade e atende aos padrões dos órgãos internacionais. Utilizando equipamentos padronizados, as redes sem fio podem ser interconectadas às redes de cabeamento convencional sem maiores problemas e os equipamentos, utilizando dispositivo wireless, interagem com as máquinas da rede estruturada e vice-versa, sem qualquer restrição. Por esse motivo, podem ser utilizadas em WAN conhecidas como rede de longa distância ou LAN - rede Local ou PAN também chamadas de Rede de Sensores, seja para a conexão de pontos distantes, seja simplesmente para diminuir ou eliminar o cabeamento existente na rede local (SILVA, 2006).

## **2.1 CONCEITOS BÁSICOS DE REDES DE SENSORES SEM FIO**

A RSSF é uma tecnologia emergente, em que pequenos elementos denominados nós sensores são utilizados com intuito de monitorar ou gerenciar áreas de difícil acesso, tais como plantações, oceanos, desertos, florestas, áreas industriais e etc. Os nós sensores reunidos formam uma Rede de Sensores Sem Fio que captura e transmitem dados, processando localmente as informações e repassando os dados resultantes de um nó sensor para outro nó sensor ou de um nó sensor para um concentrador de dados RUIZ et al., 2003.

O constante desenvolvimento das tecnologias de rede sem fios se consolida a partir da publicação dos padrões 802.11 a/b/g pela IEEE. A grande evolução da ascensão tecnológica do padrão se vincula a tecnologia de comunicação sem fio, MEMS (micro-eleto-mecânica), comunicação sem fio e computação SILVA, 2006.

Atualmente, o mais conhecido padrão de Redes de Sensores Sem Fio é o IEEE 802.15.4 e está tornando um padrão de fato para RSSF. Existem também diversas outras tecnologias para Redes Sem Fio e muitas delas já aderiram ao padrão IEEE, motivadas pelas diversas vantagens, como a interoperabilidade, baixo custo e principalmente demanda do mercado IEEE , 1999.

## **2.2 ELEMENTOS DE UMA RSSF**

Os nós sensores são pequenos dispositivos, com baixo consumo de energia, capazes de auto-organização, cooperação, processamento, comunicação e monitoramento de objetos, animais, condições meteorológicas, etc. Colônias de sensores podem ser lançadas ou estrategicamente posicionadas em locais inóspitos ao ser humano, provendo informações cruciais para a tomada de decisão ou para pesquisas científicas (AKYILDIZ et al , 2002; INTANAGONWIWAT et al, 2000).

Uma rede de sensores pode ser formada por centenas ou até milhares de nós sensores posicionados dentro do fenômeno ou objeto a ser observado ou próximo a ele. Estes nós são dispositivos compostos de transceptor, fonte de energia, unidade de sensoriamento, processador e

memória. Como as redes de sensores sem fio são capazes de se auto-organizar, torna-se dispensável um planejamento minucioso de posicionamento dos sensores TILAK et al, 2002.

Os principais elementos de uma RSSF são:

- ✓ O nó sensor; (por exemplo, o *Mote* da Crossbow)
- ✓ O observador e; (define quais dados serão úteis)
- ✓ Fenômeno observado. (por exemplo, a umidade do solo no cultivo da Cana-de-Açúcar)

O nó sensor é um dispositivo que tem por finalidade fazer uma monitoração de um determinado fenômeno e efetuar a transmissão dos dados ou das “medidas” observadas através de uma comunicação sem fio. Os nós sensores “fontes” podem ser equipados com vários tipos de transdutores, capazes de medir diferentes magnitudes físicas, tais como calor, temperatura, pressão, umidade, pH, concentração de nitrogênio no solo, etc. Um nó sensor fonte consiste, tipicamente, de uma unidade de sensoriamento com processador embarcado, memória, fonte de energia e um transmissor-receptor ( RUIZ et al 2004; TILAK et al 2002).

O observador caracteriza-se pelo usuário final que deseja obter informações disseminadas pela rede de sensores sobre os fenômenos observados. O observador determina quais consultas deseja da rede de sensores, tais como, temperatura, pressão, umidade etc. Assim múltiplos observadores podem coexistir em uma rede de sensores dependendo da sua unidade de sensoriamento TILAK et al, 2002.

### **2.3 CARACTERÍSTICAS DOS NÓS DE UMA RSSF**

Podemos destacar as características cruciais de uma RSSF, tais como:

- ✓ Topologia Dinâmica: Segundo AREZIO, 2006 o nó de uma RSSF podem se deslocar de forma dinâmica e imprevisível, continuamente ou em movimentos esparsos, alterando constantemente a topologia da rede e estabelecendo enlaces de comunicação simétricos e assimétricos. A mudança da topologia devido à mudança de local de algum nó sensor deve ser identificada, em algum momento, pelos demais nós-sensores;

- ✓ Largura de Banda Limitada: Comparada com as redes cabeadas, as redes sem fio apresentam, de fato, uma largura de banda limitada. Além disso, a variedade da capacidade dos enlaces de comunicação, os efeitos provenientes do compartilhamento de acesso ao meio de transmissão e as interferências afetam, de forma significativa, a taxa máxima de transmissão dos elementos SILVA, 2006 ;
- ✓ Capacidade de Energia Limitada: Os sensores de uma RSSF podem ter sido dispostos em locais de difícil acesso e, desta forma, a única fonte de energia é provida de baterias. Como a substituição destas baterias muitas vezes é impossível ou inviável, o consumo de energia torna-se crítico em determinadas aplicações STEFAN, et al 2007;
- ✓ Rede Descentralizada: As redes sem fio *ad hoc* não possuem um ponto central, isso implica a possibilidade de múltiplos caminhos entre um remetente e um destinatário, aumentando a robustez da rede em caso de falhas dos nós sensores SILVA , 2006.
- ✓ Falhas: Os nós sensores podem morrer, por falta de energia ou devido à exposição a condições inóspitas, além de falhas no gerente, causando a falta de gerenciamento da rede RUIZ et al, 2004.
- ✓ Escalabilidade – Em uma RSSF pode se adotar, dependendo da aplicação, uma grande quantidade de nós sensores ou elementos, conseqüentemente fluirá na rede uma grande quantidade de dados (GANDHIYA; MANISEKARAN, 2009).

A comunicação entre nós sensores das RSSF através de múltiplos saltos pode ser considerada uma das características mais importantes, principalmente quando consideramos o quesito área de cobertura (GANDHIYA ; MANISEKARAN, 2009).

Na comunicação de um par de nós sensores (sensor fonte e sensor sorvedouro), o fato de não estar um ao alcance do outro não implica, que o par de nós sensores não poderão se comunicar, pois utilizando a agregação de dados, um nó sensor intermediário poderá viabilizar a

comunicação. Neste tipo de comunicação, os sensores intermediários atuam como roteadores, recebendo e encaminhando dado (*store and forward*) RUIZ, 2004. Precisamente, neste projeto, foi utilizada esta característica para aumentar a distância entre os nós, oferecendo assim uma solução para o sensoriamento de grandes extensões de cultivo de Cana-de-Açúcar minimizando o número de nós necessários para a montagem de rede.

## 2.4 TOPOLOGIAS DE REDES DE SENSORES SEM FIO ZIGBEE

Utilizando o protocolo de rede Zigbee, as RSSF podem ser configuradas em diversas topologias diferentes, cada uma com seu próprio conjunto de desafios, vantagens e desvantagens.

As topologias adotadas são selecionadas com base nas características funcionais dos elementos que compõem este tipo de rede, relacionadas aos equipamentos deste trabalho e citadas a seguir:

- ✓ Dispositivos de borda (*End points*): estes nós atuam nas bordas da rede e são capazes somente de monitorar o ambiente e enviar seus dados para um ponto de acesso, sendo desprovidos de capacidade de roteamento RUIZ et al , 2004. Em redes Zigbee, são denominados RFDs (*Reduced Functional Devices*). O *mote* XM2110, por exemplo, poderá ser configurado para operar com um RFD CROSSBOW, 2007.
  
- ✓ Roteadores (*Routers*): são nós capazes de estender a área de cobertura da rede, buscar rotas alternativas ao deparar-se com obstáculos, e ainda, manter tabelas de roteamento atualizadas, para os casos de contingência quando há congestionamento em algum ponto da rede RUIZ et al , 2004. Em redes Zigbee são considerados FFDs (*Full Functional Devices*). Por exemplo, o *mote* XM2110 pode operar como FFD por padrão, quando programados nos modos de energia HP (*High Power*) ou LP (*Low Power*) XMESH, 2007.

- ✓ Portas de ligação (*Gateways*): agregam dados oriundos da rede, atuam como interface entre a RSSF e o computador ou rede local ou ainda com a *Internet*. Através do *gateway* é possível aplicar as operações de monitoramento e gerenciamento da RSSF. (SARAIVA, 2003). A placa MIB 520 em conjunto com um PC ou Laptop é um exemplo de *Gateway* em uma RSSF MPR/MIB, 2007.
- ✓ Sistema de *software*: fornece um protocolo de rede que permite a autoconfiguração e o autogerenciamento da rede, como por exemplo, XMESH.

As topologias são ilustradas na Figura 2.4.1 e descritas em seguida:

- ✓ Topologia estrela: nesta configuração todos os nós comunicam-se diretamente com o ponto de acesso, não havendo nenhum tipo de comunicação entre eles. Neste tipo de topologia, a área de cobertura fica limitada ao alcance de comunicação dos *motest*, e obstáculos pode impedir a comunicação em alguns pontos da rede ilustrada na Figura 2.4.1.a. Contudo o consumo de energia é o mais baixo entre as topologias empregadas em RSSF (XMESH, 2007; ZIGBEE, 1999).
- ✓ Topologia em Malha: nesta configuração, todos os nós são idênticos: são todos roteadores. A comunicação ocorre entre os nós e o ponto de acesso ou entre os próprios nós. Neste modo de operação, obstáculos que impeçam a comunicação podem ser contornados através dos roteadores, ampliando-se, a confiabilidade da rede ilustrada na Figura 2.4.1.b. Além disso, a área de cobertura também é ampliada tendo em vista que múltiplos caminhos podem ser construídos dinamicamente para levar os dados de uma extremidade à outra da rede (XMESH, 2007; ZIGBEE, 2011).
- ✓ Topologia híbrida ilustrada na Figura 2.4.1.a ou em árvore: nesta configuração operam os nós com capacidades distintas. Os nós das bordas operam como RFDs e os nós centrais

operam como FFDs Diversas pequenas redes podem ser configuradas usando este modelo. Sua principal vantagem é aliar o baixo consumo de energia da topologia Estrela com a confiabilidade e capacidade de cobrir grandes áreas da topologia em Malha, esta topologia foi utilizada neste trabalho (XMESH, 2007; ZIGBEE,2011).

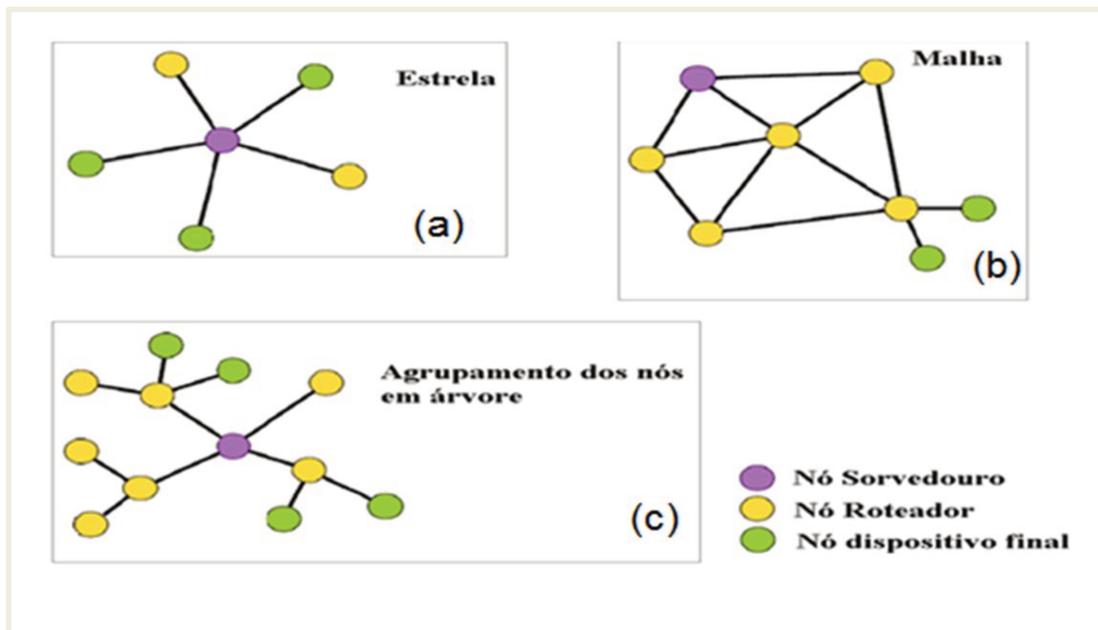


Figura 2.4.1 – Topologias Zigbee para RSSF - ZIGBEE, 2011.

Na Figura 2.4.2 ilustra uma Topologia Estrela na camada do nó sorvedouro de uma RSSF utilizada nos experimentos dessa dissertação realizada no cultivo de Cana-de-Açúcar.

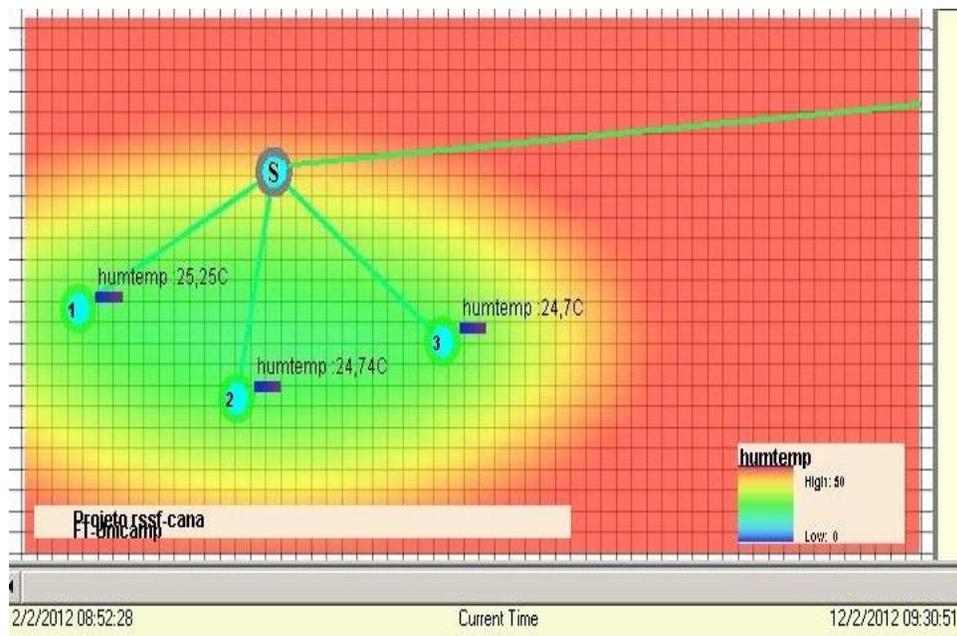


Figura 2.4.2 – Topologia Estrela utilizada para a RSSF da Crossbow (MOTEEVIEW, 2012) durante medição em plantação de Cana-de-Açúcar FAZENDA ITAIQUARA, 2012.

### 2.4.1 AGREGAÇÃO DE DADOS

As RSSFs criam um novo paradigma, diferentemente das redes tradicionais, nas redes de sensores sem fio, os nós sensores não necessitam ter uma identidade “endereço”. As aplicações desenvolvidas mantêm o foco nos dados, os quais são identificados por atributos, por exemplo: *IDnode* (atributo para identificar um nó), *Agreg\_node* (atributo com números de nós agregados), *distance\_to\_source* (atributo de informação de distância entre os nós) entre outros atributos que poderão ser implementados para otimizar a rede (HEIDEMANN, 2004.; ESTRIN, 2004).

Como as RSSFs são centradas em dados, o processo de disseminação dos dados, deve ser analisado no nível da aplicação, de forma que seja possível definir se os dados serão simplesmente retransmitidos, agregados com outros dados e transmitidos ou apenas eliminados RUIZ, 2003. A Figura 2.4.3 ilustra as diferenças entre o processo de roteamento tradicional e a roteamento com agregação de dados ilustramos os nós sensores A, B e C transmitindo dados para o nó sorvedouro S. No roteamento tradicional, a transmissão dos dados até o ponto sorvedouro

“S”, resultaria na transmissão de 9 mensagens e no processo de transmissão dos dados no roteamento com agregação de dados, seriam transmitidas apenas 6 mensagens. A figura (b) mostra que, o primeiro nó sensor em destaque, agrega dados de “a” e “b” em “ab”, o segundo nó sensor em destaque, agrega os dados de “ab” com os dados do nó sensor “c”, provendo uma única mensagem “abc” ou dados de “a”, “b” e “c”. O processo de agregação de dados provê economia de energia e redução no tráfego da RSSF.

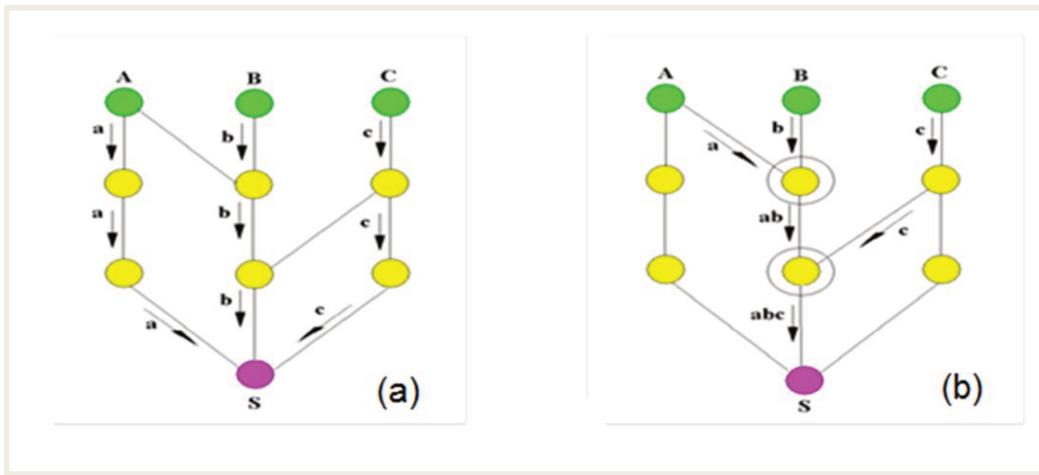


Figura 2.4.3 - Roteamento de uma RSSF: Roteamento tradicional (a) e Roteamento Centrado em Dados (b) RUIZ, 2003.

## 2.5 CONCEITOS DE GERENCIAMENTO DE REDES DE SENSORES SEM FIO

Redes de Sensores Sem Fio (RSSF) possuem características intrínsecas e fortemente ligadas à aplicação e que impedem que as estratégias de gerenciamento utilizadas em redes sem fio e *ad hoc* possam ser empregadas no gerenciamento de RSSF. De uma maneira geral, as redes sem fio e *ad hoc* são projetadas para suportar uma enorme gama de aplicações e serviços, sua topologia é conhecida, as estratégias de gerenciamento são claras, a realização da configuração e manutenção da rede é planejada e executada por técnicos seguindo normas pré-estabelecidas, entre outras ROCCIA, 2011.

Uma proposta pioneira de arquitetura de gerenciamento é chamada Manna citada por RUIZ, 2004. Essa arquitetura tem como objetivo principal, oferecer soluções integradas de

gerenciamento de RSSF. A proposta de arquitetura Manna é composta por um conjunto de modelos específicos para gerenciamento de RSSF. O modelo de arquitetura Manna considera as funcionalidades das RSSF, tais como: configuração, manutenção, sensoriamento, processamento e a comunicação. A literatura sobre RSSF também sugere algumas abordagens de gerenciamento de RSSF tais como Agentes Móveis, Requisição/Resposta e Notificação de Eventos SILVA, 2006.

As RSSFs são projetadas para um funcionamento não assistido, os nós sensores uma vez depositados na região monitorada devem se autoconfigurar e se auto-organizar. Falhas por indisponibilidades dos nós por um período ou definitivamente são comuns e a manutenção é impraticável considerando a quantidade de nós que pode chegar a centenas e milhares. Outros fatores como variação de temperatura e umidade podem afetar o funcionamento dos nós e acarretar um mau funcionamento de forma parcial e até total da rede. Por essas razões existe a necessidade de utilização e criação de novas abordagens de gerenciamento RSSF.

A Abordagem de Gerenciamento por Agentes Móveis (AM) usa códigos de gerenciamento que migram da entidade de gerenciamento (EG) da rede para os elementos gerenciados (ER), e nestes, executam processamento local dos dados. A idéia básica de AM é migrar o código para os nós, realizar o processamento dos dados e depois encaminhar os dados já processados para a (ER). Dessa forma, o tráfego da rede tende a diminuir tendo em vista que dados redundantes e imprecisos são descartados ROCCIA, 2011.

Na Abordagem de Gerenciamento Requisição / Resposta (RR), a entidade de gerenciamento, por exemplo, o Sorvedouro envia periodicamente mensagens de requisição aos elementos gerenciados, por exemplo, o nós sensores. Os nós sensores recebem a requisição, recuperam as informações solicitadas em sua base de dados local, alimenta essas informações em uma mensagem resposta e a envia para o Gerente. O Gerente recebe a resposta, realiza o processamento e análise dessa resposta, tomando as decisões necessárias relativas ao gerenciamento, que muitas vezes podem ser ajustes e configurações de parâmetros dos nós sensores.

Outra abordagem de Gerenciamento bastante utilizadas em RSSF chamam-se Notificações de Eventos. Nesta abordagem, quando a rede entra em atividade, todos os elementos

gerenciados enviam para a entidade de gerenciamento, parâmetros de seu estado atual. Toda vez que algum parâmetro ultrapasse limites pré-estabelecidos os agentes enviam uma mensagem ao gerente com essas informações. Assim como na Abordagem RR, o gerente recebe a mensagem, realiza o processamento e análise do conteúdo dessa mensagem e se necessário envia mensagens contendo os ajustes pertinentes ROCCIA, 2011.

Nessas atividades de gerenciamento são usadas métricas que permitem a entidade de gerenciamento selecionar as ações mais adequadas para manter a rede funcional com qualidade dos serviços suportados. Dentre essas métricas podemos citar consumo de energia, largura de banda, perda de pacotes, requisitos de memória, intensidade do sinal no receptor e qualidade do link no receptor e transmissor. Os parâmetros da rede são definidos através das métricas citadas, sendo possível avaliação do desempenho de uma RSSF.

Os nós sensores depois de ligados permanecem ativos até o esgotamento da energia, uma das restrições de hardware impostas aos nós sensores é a energia limitada e finita. Além disso, tendo em vista a grande quantidade de nós sensores e seus respectivos posicionamentos na área monitorada, a substituição ou reposição de energia é uma hipótese descartada dependendo da aplicação descrito por RUIZ, 2004 , assim, gerenciar o consumo de energia permitirá racionalizar o consumo de energia aumentando o tempo de funcionamento da rede.

A largura de banda estabelece o valor máximo, por exemplo, valores em bits por segundo de dados que podem trafegar por um canal de comunicação. O tráfego de informações entre os elementos da rede está limitado pela largura de banda disponível e consome certa quantidade dessa banda. Assim, medir a banda utilizada pelos elementos da rede, e ainda, identificar a distribuição do uso dessa banda, permitirá adotar estratégias de gerenciamento visando o uso equilibrado da banda disponível ROCCIA, 2011.

A comunicação entre os elementos da rede é realizada por meio do envio de pacotes de dados entre esses elementos. O parâmetro da métrica perda de pacotes indica a quantidade de pacotes que se perderam durante a transmissão dos dados entre o receptor e transmissor. Vários fatores podem causar a perda de pacotes. Por exemplo, o esgotamento de energia de um elemento da rede, falha na comunicação entre o receptor e transmissor, portanto, avaliar essa métrica

permitirá descobrir em quais pontos da rede está ocorrendo perdas de pacotes e evitar consumo extra de energia em função das retransmissões desses pacotes de dados.

Outra métrica é o Tempo de Resposta que indica o tempo gasto para que as funções de gerenciamento sejam executadas uma única vez. Na abordagem RR, isso significa a quantidade de tempo despendida para enviar as requisições a todos os elementos gerenciados e receber as respectivas respostas. O tempo de resposta está intimamente ligado com ocorrência de perda de pacotes. Quanto maior for o índice de pacotes perdidos, maior será o tempo de resposta ROCCIA, 2011.

O caminho de envio de mensagens entre os elementos da rede é traçado dinamicamente com base na intensidade do sinal de rádio no receptor. Essa métrica indica o nível de sinal de rádio percebido por um nó sensor em relação a outro nó vizinho. Normalmente os nós sensores mantêm uma lista dos nós sensores vizinhos, sendo esta lista formada através dos valores de RSSI percebidos pelo nó sensor em relação a cada nó vizinho. Os nós vizinhos com maior nível de RSSI são eleitos preferencialmente para a troca de mensagens entre os nós. Se o valor de RSSI for muito baixo, o nó sensor terá que procurar por novas rotas para enviar informações. Isso reflete nas outras métricas já citadas Neste capítulo. A ausência de nível de sinal causa a interrupção da comunicação naquele nó sensor. Isso repercute também na topologia da rede, sendo esta última dinamicamente alterada em função da variação do nível de RSSI. Os valores de RSSI são maiores quando os nós estão próximos uns dos outros e vai diminuindo na medida em que os nós se distanciem. Então, estudar esta métrica é fundamental tanto para determinar a localização ideal dos nós sensores no ambiente monitorado, quanto para avaliar o seu efeito nas outras métricas tais como perda de pacotes, consumo de energia, tempo de resposta e largura de banda ROCCIA, 2011.

### **2.5.1 ESTRATÉGIAS DE GERENCIAMENTO**

A estratégia de gerenciamento identifica os locais onde às entidades de gerenciamento, por exemplo, gerentes e nós sensores executarão suas funções na rede. Podemos destacar três

estratégicas de gerenciamento: a centralizada, a distribuída e a hierárquica. Encontradas na Literatura sobre Estratégia de Gerenciamento de RSSF citada em RUIZ L, 2004.

### **2.5.1.1 GERENCIAMENTO CENTRALIZADO**

A característica principal de um gerenciamento centralizado é o controle da rede realizado por apenas um único gerente. Para a função Gerente é necessário uma máquina com maior poder computacional para armazenar os dados da rede e executar tarefas complexas.

Na Estratégia de Gerente Centralizado, a estação base recebe as mensagens dos nós da rede seguindo uma estratégia, onde os Agentes próximos da estação base encaminham as mensagens dos nós mais distantes SILVA, 2006. O Gerente é composto por um banco de dados, formado pelas mensagens geradas pelos nós sensores. Nesta estratégia o gerente tem uma visão global da rede, ajudando nas tomadas de decisão, porém apresenta desvantagens como: sobrecarga de processamento, pois em uma rede com grande quantidade de elementos, também é grande a quantidade de dados recebidos no Gerente da rede havendo sobrecarga de comunicação no mesmo; cada notificação de eventos ou requisição de resposta enviada pelos elementos da rede pode causar sobrecarga nos enlaces próximos ao Gerente, criando problemas de comunicação. Essas sobrecargas devidas ao fluxo de dados centralizado podem provocar problemas de perda de pacotes, colisão e congestionamento. Torna-se crítica à tolerância a falhas, se por algum motivo o gerente falhar, toda rede ficará sem monitoração e controle ou até se algum agente falhar a parte isolada ficaria sem gerência. Todas as desvantagens descritas levam ao atraso nas tomadas de decisão RUIZ, 2004.

### **2.5.1.2 GERENCIAMENTO DISTRIBUÍDO.**

Na estratégia distribuída, são disseminados na rede vários gerentes, o gerente é responsável por um domínio de gerenciamento e os gerentes de diferentes domínios comunicam entre si quando necessário, desta forma, os gerentes colaboram para tomarem as melhores decisões considerando a rede como um todo.

As principais vantagens são a tolerância a falhas, paralelismo e escalabilidade. Nenhum elemento ficará sem controle, mesmo que ocorra falha em algum gerente, devido ao gerenciamento distribuído entre vários gerentes, que podem auto-adicionar elementos subtraídos de outra gerência. Se necessário expandir a rede, basta adicionar novos elementos (gerentes e agentes), nivelando a carga dos gerentes atuais da rede. Uma desvantagem crucial desta técnica de gerenciamento, devido os gerentes possuir multi-funções é o esgotamento de energia mais rápido SILVA, 2006.

### **2.5.1.3 GERENCIAMENTO HIERÁRQUICO.**

O modelo gerente de gerentes (*“Manager of Managers”*) é utilizado nesta estratégia de gerenciamento, é uma técnica de distribuição da rede em vários domínios de gerenciamento. O gerente de um domínio gerencia apenas seus agentes, assim cada domínio é gerenciado paralelamente, não existindo comunicação entre os gerentes de domínio. O gerente de gerentes é responsável pelo controle e gerenciamento da rede toda e apenas comunica-se com os gerentes de domínio RUIZ, 2004.

O Gerenciamento Hierárquico possui as vantagens de tolerância a falhas e escalabilidade, pois as tarefas da rede são distribuídas entre os domínios de gerencia. Assim, diminui o processamento excessivo no gerente da rede, provocado pela transmissão e recepção dos dados. Também é possível ter uma rede com hierárquica com múltiplos níveis, basta adicionar novos gerentes de gerentes SILVA, 2006.

Um problema encontrado nesta estratégia está relacionado aos gerentes de domínios, que executarão tarefas de gerenciamento, aumentando o consumo de energia e tempo de processamento. Estes problemas podem ser solucionados com o desenvolvimento de algoritmo de escalonamento de gerentes de domínio INTANAGONWIWAT et al. ,2000 ou adoção de novas tecnologias proposto por STEFAN, 2001 , onde os nós sensores da rede operam em faixas de frequência elevadas em até 24 Ghz.

## **2.6 CONCEITOS BÁSICOS DE AGRICULTURA DE PRECISÃO**

A Agricultura de Precisão é um novo paradigma de cultivo, cujo conceito está relacionado com as variações temporais e espaciais da área de plantio, e tem como meta, a aplicação de insumos de acordo com as necessidades e características do talhão. Para aprimorar as condições de colheita, aumento de qualidade e produtividade dos produtos, são adotadas estratégias de monitoramento e controle em aplicações agrícolas CRUZ , 2002.

Na agricultura, o fenômeno observado caracteriza o objeto, solo ou fruto cujo observador mantém interesse e que está sendo monitorada pela rede de sensores. É possível a observação concorrente de múltiplos fenômenos em uma única rede de sensores, devido às características heterogêneas dos nós sensores, assim as informações coletadas podem ser analisadas e filtradas pela rede de sensores. (TILAK, ABU-GHAZALEH, HEINZELMAN, 2002).

Para o desenvolvimento de algum tipo de cultivo, a agricultura tradicional encara a região do plantio como sendo uniforme, não faz distinções das diferentes características ambientais das regiões da plantação. Na estratégia da Agricultura de Precisão, um dos métodos aplicados é utilização de um valor médio das diversas características da região. Assim, são coletados os dados de diversos pontos da região do cultivo, calcula-se o valor médio considerando as características dos diversos pontos e utiliza-se o valor encontrado como referência geral para toda essa região SARAIVA, 2003.

As RSSFs têm se mostrado uma tecnologia bastante interessante na Agricultura de Precisão que tem como finalidade a aplicação localizada de insumos, baseada em informações sobre a variabilidade da área de cultivo. O uso de ferramentas de tecnologia e de sensores é imprescindível para obter e manipular dados do campo sendo possível realizar o monitoramento em tempo real e remoto, além de prover flexibilidade e facilidade de configuração dos elementos da rede. As informações coletadas da RSSF e interpretadas torna-se ferramenta de apoio para tomada de decisões CUGNASCA, 2002.

Segundo CAMILLI, 2004 a tecnologia de RSSF pode ser utilizada na construção de mapas de gerenciamento de informações que podem ser correlacionadas com mapas de colheita para se descobrir fatores geradores de maior produtividade em determinadas áreas de cultivo.

RSSFs podem também ser utilizadas em casas de vegetação, realizando o sensoriamento em tempo real de características como temperatura e umidade, dentro da própria casa de vegetação (GONDA; CUGNASCA; CAMILLI, 2005).

A eficiência do cultivo em ambientes controlados depende de diversos fatores, que podem afetar diretamente ou indiretamente na produção. As variáveis: temperatura, umidade do ar e do solo, radiação e concentração de gás carbônico são mais monitoradas. (GONDA; CUGNASCA, 2006).

A utilização da RSSF em ambiente agrícola está sujeita à atenuação do sinal, devido as barreiras da vegetação e tem relação linear com o volume de vegetação. Isto pode ser resolvido pelo aumento da altura das antenas de transmissão dos nós sensores e pela adequada disposição dos nós nas entrelinhas GIACOMIN, 2007.

### 3. APRESENTAÇÃO E DESCRIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS DA RSSF

Neste capítulo são apresentados os equipamentos e programas utilizados em nosso trabalho. Apresenta basicamente os trâmites utilizados para configuração do kit da *Crossbow Technology Inc* CROSSBOW TECHNOLOGY, 2007. O kit *Crossbow Wireless Sensors Network* é composto pelos módulos *Motes*, placas de sensores *MDA* e placas *MIB* caracterizados a seguir.

#### 3.1 CARACTERIZAÇÕES DOS MOTES

Os *Motes* foram desenvolvidos por integrantes da Universidade de Berkeley em um projeto inicial chamado de MICA, gerando as versões MICAZ, MICA2 e MICA2\_DOT. A empresa *Crossbow* após implementação e aperfeiçoamento nasceu o IRIS XM2110 integrante do kit *Crossbow Wireless Sensors Network* utilizado neste trabalho e apresentado na Figura 3.1.1 e seu respectivo Diagrama de Blocos Figura 3.1.2 (MPR/MIB, 2007).

O *mote* IRIS XM2110 ilustrado na Figura 3.1.1 opera na frequência de 2483,5 MHz, usa um rádio ATMELRF230, é compatível com o padrão IEEE 802.15.4, é equipado com um transceptor de rádio frequência integrado com o micro controlador Atmega1281V e compatível com a plataforma Zigbee. O *mote* IRIS possui sistema operacional *Tiny OS 2.0*, é alimentado por duas baterias do tipo AA aproximadamente 3,1 *Volts*, sua capacidade de memória é o dobro dos seus antecessores, ou seja, 512 Kbytes de memória externa do tipo *Flash* para armazenamento dos dados coletados e outras informações de usuários, podendo armazenar mais de 100.000 leituras. O seu alcance de rádio é aproximadamente 3 vezes maior das famílias de *motes* anteriores MICAZ, MICA2 e MICA2\_DOT. A antena do *Mote* IRIS XM2110 tem 1,2 polegadas de comprimento é caracterizada como omnidirecional. Tipo de cabo utilizado para extensão da antena são RG178 /U e RG 316 / U (CROSSBOW, 2007; ZIGBEE, 2011; MPR/MIB, 2007).

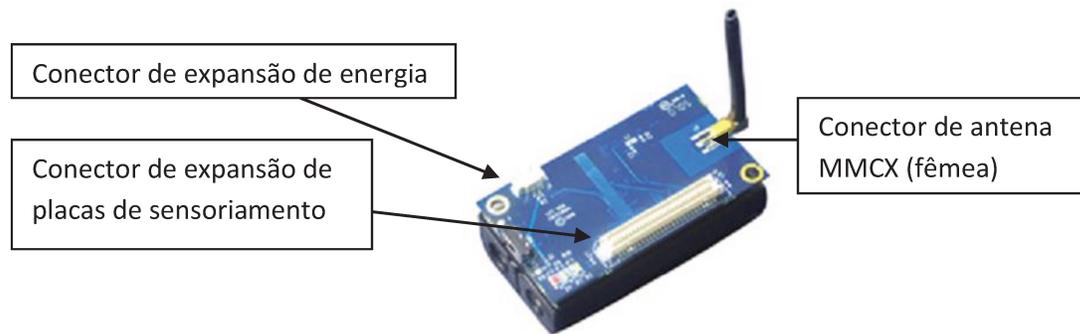


Figura 3.1.1 - *Mote* IRIS XM2110 com antena padrão – (MPR/MIB, 2007).

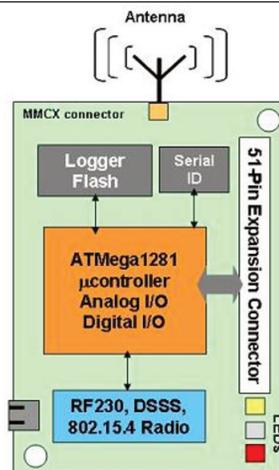


Figura 3.1.2 - Diagrama de Blocos do *Mote* IRIS XM2110 (MPR/MIB, 2007).

O *mote* IRIS XM2110 é composto por um micro controlador ATMEGA1281V, arquitetura AVR, opera na frequência de 7,37 MHz e trabalha com 8 bits, possui 32 registradores de acumuladores conectados diretamente a ULA (Unidade Lógica e Aritmética), é baseado no conjunto de instruções RISC (*Reduced Instruction Set Computer*), permite operação em seis modos de energia, que é uma característica fundamental para WSN. A Tabela 3.1 aponta as características deste micro controlador (MPR/MIB, 2007).

Tabela 3.1 - Os principais recursos do Micro controlador *ATMEGA1281V* (MPR/MIB, 2007).

<b>Recurso</b>	<b>Descrição</b>
Memória de Flash	128 KB
EEPROM	4 KB
SRAM	8 KB
Registradores (Acumuladores)	32
Modos de energia	6
Interfaces	I2C, USART, SPI

O *chip* de rádio utilizado pelo XM2110 é o Atmels-AT86RF230 compatível com o padrão IEEE 802.15.4 projetado para baixo consumo de energia e baixas tensões para aplicações de RSSF. Este sistema de rádio utiliza a modulação O-QPSK (*Offset Quadrature Phase Shift Keying*). Opera na faixa de 2,4GHz divididos em 15 canais numerados de 11 a 26 de 5 MHz cada entre 2,405 GHz à 2,480 GHz e pode obter taxas de transferência de até 250 Kbps.

A potência de transmissão pode ser programada através do sistema operacional embarcado TinyOS 2.0 ou utilizando o próprio software MoteConfig 2.0 na parte de programação do *mote*, a potência pode ser configurada entre 3 dBm e -17,2 dBm no campo *RF Power* apresentado na Figura 3.1.3 . A RSSI (*Received Signal Strength Indication*) é obtida diretamente da leitura do AT86RF230 e enviada em todos os pacotes de rádio (MPR/MIB, 2007; MOTECONFIG, 2007; CROSSBOW, 2011).

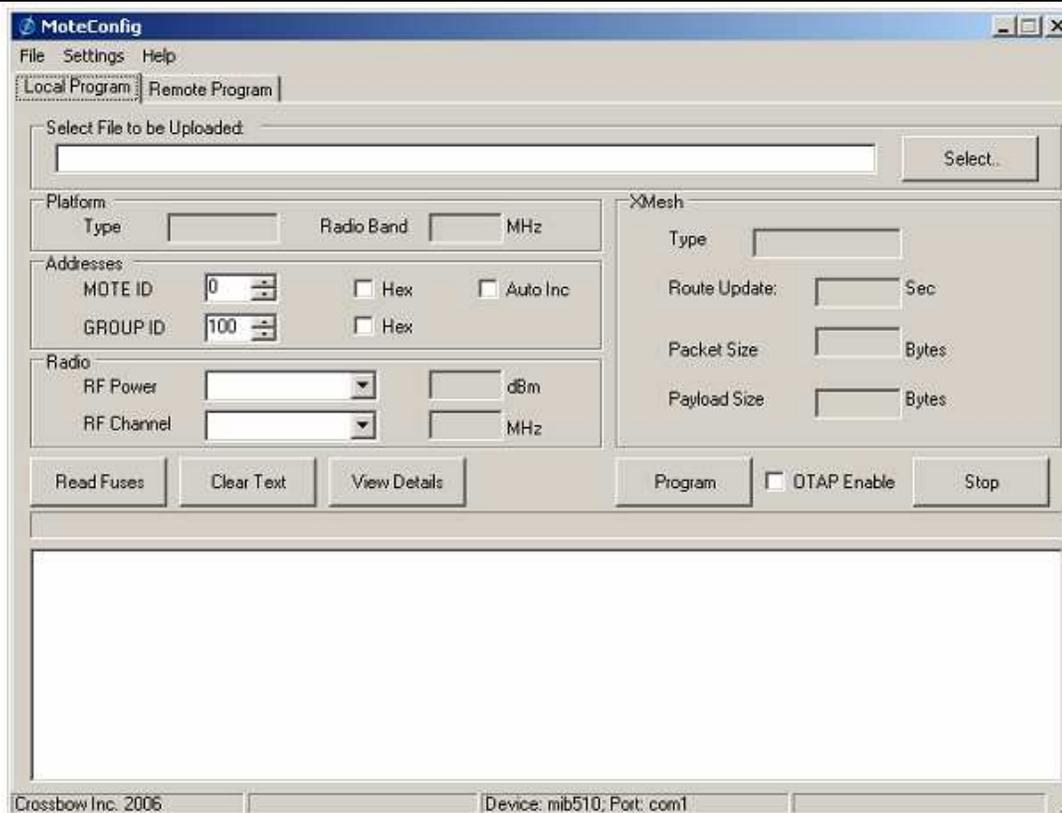


Figura 3.1.3 – Tela do software MOTECONFIG 2.0 para programação e configuração do *Mote* (MOTECONFIG, 2007).

A Tela do software MOTECONFIG 2.0 utilizado para programar e reprogramar os motes da rede Crossbow é ilustrada na Figura 3.1.3. e os trâmites para realizar esses procedimentos estão descritos no ANEXO A desta dissertação.

Os nós sensores ou *Motes* são dispositivos compostos de multifuncionalidade dotados ou não da placa de sensoriamento. Neste trabalho utilizamos o *Mote* IRIS XM2110 dotado de uma placa de sensoriamento tipo MDA300CA ilustrado na Figura 3.1.4.

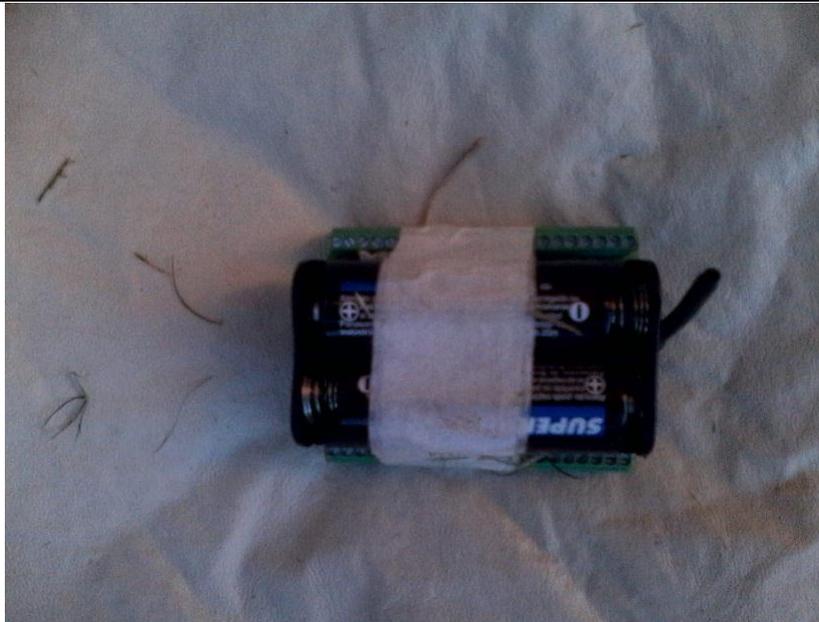
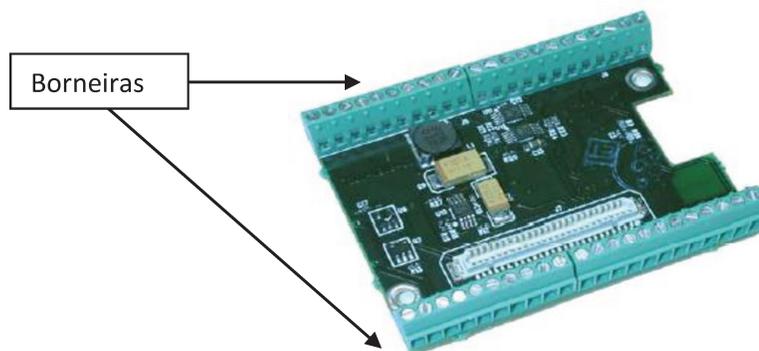


Figura 3.1.4 - *Mote* IRIS XM2110 + MDA300CA alimentados por baterias do tipo AA.

### 3.2 PLACA DE SENSORIAMENTO

A placa de sensoriamento contidas no *kit WSN* da Crossbow ilustrada na Figura 3.2.1. A placa de sensoriamento é conectada no *mote* IRIS XM2110 através do conector com 51 pinos e é alimentada pela mesma fonte de energia do *mote*. Suas aplicações são: instrumentação sem fio de baixa potência; monitorar variáveis de temperatura e umidade; monitoramento de uma determinada área ou local; análise do ambiente aplicado; entre outros. Sendo possível implementar outros tipos de sensores através das portas mini-bornes localizado nas laterais da placa (MTS/MDA, 2007).



---

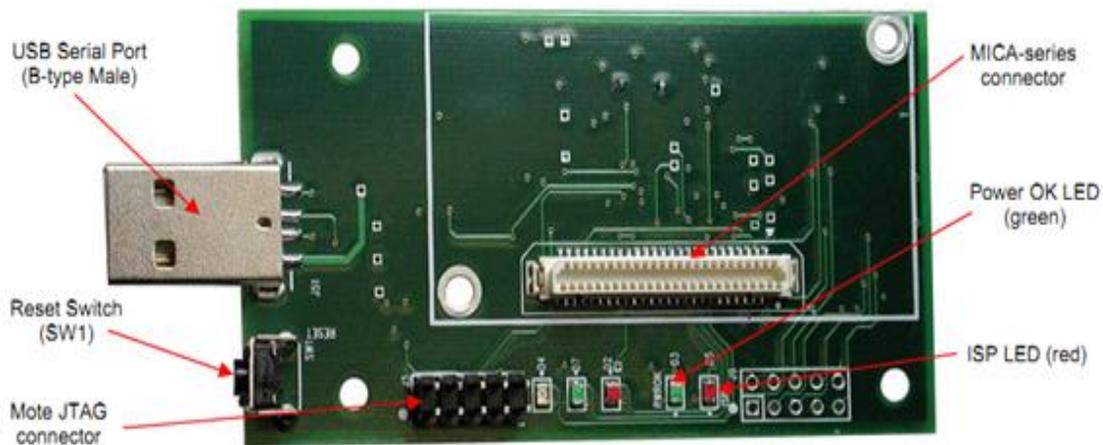
Figura 3.2.1 - Placa MDA300CA dotada dos sensores de temperatura e umidade (MTS/MDA, 2007).

### 3.3 MIB520

Além dos *motes* e das placas de sensores, o *hardware* que compõe a RSSF conta ainda com placas de aquisição de dados, que fazem o papel de *gateway* entre a RSSF e o computador que executa as aplicações de monitoramento e de gerenciamento da rede. Essas placas de aquisição são denominadas MIB *Management Information Base* (MPR/MIB, 2007).

A placa de aquisição MIB520 possui interface USB, permite a conexão dos *motes* das famílias IRIS e MICA através do conector de 51 pinos. Comunica-se com o computador através da interface USB utilizando mapeamento de portas de comunicação (COM) virtuais, sendo uma porta de comunicação (COM) virtual dedicada à programação dos *motes* e a outra dedicada à comunicação dos dados relativos à rede (MPR/MIB, 2007). A Figura 3.3 ilustra a MIB520.

No Anexo A é descrito basicamente como é feita a programação do *Mote* acoplado na MIB.



---

Figura 3.3 – *Management Information Base* modelo MIB520 (MPR/MIB, 2007).

### 3.4 SOFTWARE

Acompanha este *kit* de RSSF um conjunto de *software* que opera sobre o protocolo de rede XMESH desenvolvido pela *Crossbow Technology Inc*(XMESH, 2007).

*Mote Tier* é uma aplicação que é executada nos nós sensores e que possui algoritmos de rede necessários para formação de um *backbone* que conecta todos os nós da rede até o sorvedouro e faz o sensoriamento da região onde os nós estão instalados. Nesta categoria podemos citar XMDA300\_2110\_HP e XMDA300\_2110\_LP (XMESH, 2007).

A configuração destas aplicações nos nós sensores é realizada através do *software* de configuração desenvolvido pela *Crossbow Technology Inc*, denominado MOTECONFIG 2.0. O Moteconfig 2.0 ilustrado na Figura 3.1.3 é um utilitário baseado em Windows GUI (interface gráfica do sistema operacional Microsoft Windows) desenvolvido para programação dos *notes*. Este utilitário proporciona uma interface simples para instalar aplicações XMESH ou TinyOS compiladas nos *notes*. É possível definir através de sua interface o identificador do nó sensor, o identificador do grupo de trabalho dos nós sensores, a potência e o canal de rádio frequência. Outra opção selecionar a opção de reprogramação de todos os nós sensores através do OTAP

(*Over the Air Programming*), porém essa opção só funcionará no modo de energia HP (*High Power*), onde os nós sensores ficam ligados continuamente. CROSSBOW, 2007.

O XOTAP é uma aplicação que trabalha em conjunto com o XSERVE ou diretamente com a porta serial da interface do computador (COM) e se comunica com a RSSF. Com XOTAP, é possível reprogramar os nós sensores remotamente utilizando a própria rede de sensores, sem que seja preciso reprogramar cada nó através do conector de expansão de 51 pinos da MIB520 ilustrado na Figura 3.3.

O XSERVE é uma aplicação versátil que permite monitorar e gerenciar a RSSF. Possui serviços básicos de roteamento, atua como intermediário entre as aplicações e a RSSF permitindo uma comunicação direta entre elas, e ainda, pode atuar como um conversor de dados, convertendo dados que estão representados como unidades de pacotes em unidades de medida mais apropriadas. Todos os dados gerados pelas atividades da rede são armazenados em um banco de dados PostgreSQL (Sistema Gerenciador de Banco de Dados Objeto Relacional de código aberto). Os dados formatados pelo XSERVE são apresentados no formato XML (*Extensible Markup Language*), que é uma recomendação mundial para linguagens de marcação de textos. Possui ainda suporte a serviços para *Internet*, tornando possível realizar as atividades de monitoramento e gerenciamento da RSSF através de acesso remoto. XMESH, 2007.

### **3.4.1 MOTE VIEW 2.0**

O Programa *Moteview 2.0* ilustrado na Figura 3.4.1 baseado em Windows GUI, monitora os dados obtidos pelos nós sensores e observar o comportamento da RSSF em termos de: perda de pacotes, quantidade de retransmissões, pacotes reenviados, quantidade de pacotes de gerenciamento gerados através da rede, qualidade do link de rádio de cada nó sensor e estado das baterias todas as métricas utilizadas na dissertação XMESH, 2007.

Além disso, as tarefas de gerenciamento da rede são realizadas de maneira simples e transparente ao usuário. As leituras obtidas pelos nós sensores são disponibilizadas através de

planilhas e que permitem facilmente detectar qualquer anormalidade. Todas as informações exibidas pelo MOTEVIEW 2.0 ficam armazenadas em um banco de dados POSTGRESQL 8.0.

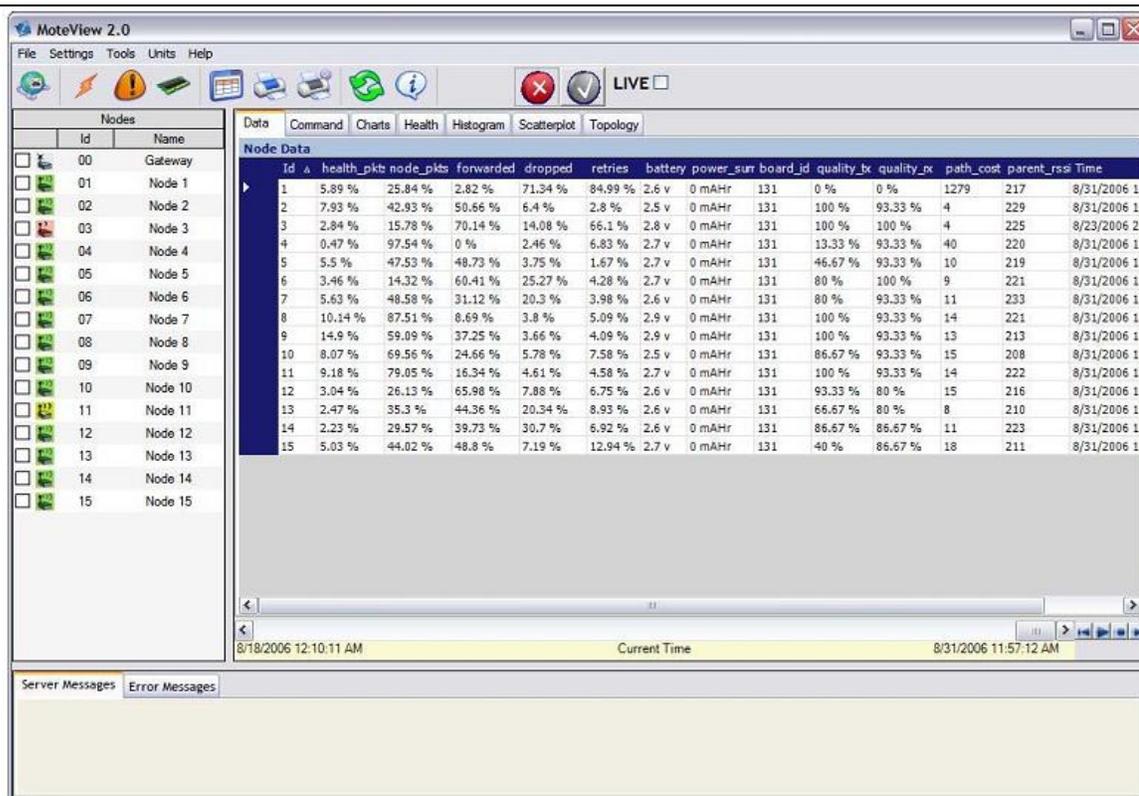


Figura 3.4.1 – Tela do Programa MOTEVIEW 2.0 (XMESSH, 2007).

### 3.5 MODOS DE ENERGIA

O protocolo XMESSH possui modos de energia com esgotamento das baterias diferenciado, por exemplo, HP ou LP (programação do *Mote* descrita no Anexo A)

No Modo de Energia HP (*High Power*), os nós configurados neste modo de energia ficam acordados durante todo o tempo, possuem capacidade de roteamento de pacotes, utilizam altas larguras de banda, têm baixa latência e foi o Modo de Energia utilizado neste trabalho. No Modo de Energia LP (*Low Power*), os nós utilizam baixa largura de banda, têm alta latência, possuem

capacidade de roteamento de pacotes, permanecem dormindo a maior parte do tempo sendo acordados somente quando devem enviar ou receber mensagens, ou para checar o trafego de rádio.

No Anexo A é demonstrado basicamente “passo a passo” como programar o *Mote IRIS* com modos de energia HP e LP utilizando o programa Moteconfig 2.0. da Crossbow Technology.

## 4. METODOLOGIA DO TRABALHO

A metodologia do trabalho consiste nas avaliações da RSSF, utilizando como parâmetros as métricas de perda de pacotes, retransmissão de pacotes, utilização da largura da banda e intensidade do sinal percebido no sorvedouro. Inicialmente a RSSF foi aplicada em ambiente de laboratório e ambiente aberto para definir parâmetros de comparação. Posteriormente, aplicação da RSSF em cultivo agrícola utilizando métodos identificados na primeira fase da aplicação da rede.

Na aplicação da RSSF em ambiente agrícola identificaram-se novos parâmetros para comparação com a solução proposta da variação do posicionamento do sorvedouro ou nó intermediário. As métricas de avaliação utilizadas são citadas em outras pesquisas direcionadas na aplicação de uma RSSF em Agricultura, por exemplo, em ROCCIA, 2011.

### 4.1 INTERPRETAÇÕES DAS MÉTRICAS

Em todos os casos os experimentos foram repetidos duas vezes, isso significa que observadas as informações de 2 pacotes de saúde do nó, para definir cada valor medido. Na interpretação dos dados consideramos valores médios dos experimentos. As informações contidas nos pacotes de saúde ou *health packtes* dizem respeito ao tráfego de rádio, quantidade de pacotes enviados no intervalo de tempo, intensidade do sinal de rádio no receptor (RSSI), pacotes perdidos, tensão da bateria, taxa de retransmissões e pacotes encaminhados XMESH, 2007.

Um *Mote IRIS* passível de programação e reprogramação é utilizado na Estação Base, ou seja, um *Mote IRIS* em conjunto com uma placa *MIB520*. Na camada da rede, onde, os nós estão localizados dentro da plantação é utilizado Nó dotado de Sensor ou *Mote IRIS* dotado de *MDA300*. Para que o *mote* funcione nas configurações citadas é preciso realizar a programação, descritas basicamente no Anexo - A. A solução de adição de um sorvedouro ou intermediário é basicamente um *Mote IRIS* programado com Modo de Energia HP.

As informações contidas no pacote de saúde ou *health packet* são descritas da seguinte maneira:

- ✓ Identificação do nó sensor (*NodeId*): cada nó sensor é identificado na RSSF por um número inteiro na faixa de 1 a 9999. A estação de base sempre será identificada com o valor igual a zero.
- ✓ Pacotes de Saúde (*Health Packets*): essa informação indica a quantidade de pacotes de gerenciamento que foram originados pelo nó desde a última inicialização do sistema. A informação é exibida em número de pacotes iniciado em um.
- ✓ Total de Pacotes (*Node Packets*): este dado inclui todos os pacotes que foram gerados no nó desde a última inicialização do sistema. Entende por todos os pacotes: pacotes de saúde do nó, pacotes de saúde do vizinho e pacotes de atualização de rota. A informação é exibida em número de pacotes.
- ✓ Pacotes Encaminhados (*Forwarded Packets*): representa a quantidade de pacotes que o nó encaminhou de outros nós. A informação é exibida em número de pacotes ou porcentagem de pacotes.
- ✓ Pacotes Perdidos (*Dropped Packets*): indica a quantidade de pacotes que o nó perdeu. É considerado perdido ou descartado um pacote que foi retransmitido oito vezes sem ter confirmação de entrega. A informação é exibida em número de pacotes ou porcentagem de pacotes.

- ✓ Pacotes Retransmitidos (*Retries*): representa o número total de retransmissões que o nó foi obrigado a fazer devido ao fato de que o nó não recebeu a confirmação de entrega do pacote.
- ✓ Tensão da Bateria (*Battery Voltage*): indica a tensão de energia residual disponível no nó.
- ✓ Soma de Energia (*Power Sum*): este valor é sempre 0 pois será utilizado em versões futuras da *Crossbow Technology Inc.*
- ✓ Identificação da Placa Sensora (*Board Id*): indica o tipo de placa sensora que está anexada ao mote.
- ✓ Qualidade do nível de *link* (*Quality level-link*): representa uma estimativa da qualidade de sinal de rádio (*ETX*) percebida por transmissor (*quality\_tx*) e receptor (*quality\_rx*). Seu valor é expresso por um número inteiro de 0 a 15, corresponde de 0 a 100% e é obtido tomando-se como base a contabilização das colisões de pacotes. Esse valor é calculado utilizando-se a equação 4.a

$$Quality = 1 / \text{número de retransmissões}$$

4.a

onde:

*Quality* = estimativa da qualidade do sinal de rádio

*número de transmissões* = quantidade de pacotes transmitidos

- ✓ RSSI do *Mote* gerente (*Parent RSSI*): indica a intensidade do sinal de rádio percebido na estação de base. Esse valor é exibido como um número inteiro. Os valores obtidos do *software* MOTVIEW 2.0 podem ser convertidos para dBm, ou seja, se o valor lido for menor ou igual a 0, assume-se o valor -91 dBm; se o valor lido for maior do que 28, assume-se o valor -10 dBm; e se o valor estiver entre 1 e 28, utiliza-se equação 4.b.

$$dBm = RSSI_{BASEVAL} + 3 \cdot (RSSI - 1) \quad 4.b$$

onde:

$dBm$  = nível do sinal no receptor;

$RSSI_{BASEVAL}$  = constante de valor igual a -91 e indica a sensibilidade do rádio;

$RSSI$  = é o valor lido diretamente pelo MOTVIEW 2.0;

- ✓ Utilização da Largura de Banda: A largura de banda estabelece o valor máximo (em *bits* por segundo) de informação que pode ser trafegado por um canal de comunicação. O tráfego de informações entre os elementos da rede está limitado pela largura de banda disponível e consome certa quantidade dessa banda. Para determinar a largura de banda utilizada nos experimentos realizados, utiliza a equação 4.c.

$$LB = ((node_{pkts} + retries + dropped + forwarded) * 55 * 8) / (1024 * t) \quad 4.c$$

onde:

$LB$  = largura de banda em kbps;

$node_{pkts}$  = total de pacotes de dados;

$retries$  = total de pacotes retransmitidos;

*dropped* = total de pacotes perdidos;  
*forwarded* = total de pacotes encaminhados;  
*t* = unidade de tempo em segundos;  
*55* = tamanho do pacote em *bytes*;  
*8* = quantidade de *bits* em 1 *byte*  
*1024* = converter de *bytes* para kbps.

## 4.2 FLUXOGRAMA DO TRABALHO

A metodologia de trabalho foi planejada e ilustrada no fluxograma da Figura 4.2. Os experimentos foram aplicados em laboratório, em ambiente aberto e em cultivo agrícola. No experimento em laboratório, identificamos o desempenho da rede em ambiente fechado e definimos os primeiros parâmetros, utilizando Modo de Energia HP. Os elementos dos experimentos em ambiente aberto e em cultivo agrícola foram programados com configurações idênticas de Potência do Sinal, Canal de Rádio Frequência, Banda do Rádio e Modo de Energia.

O cenário da aplicação inicial da RSSF é o Laboratório de Antenas da FT – UNICAMP, com dimensões 5 metros X 8 metros, coberto e sem nenhum equipamento eletrônico ativo dentro da sala. Após identificação dos procedimentos de instalação e programação de uma RSSF foram interpretados e analisados os dados coletados pela rede. Assim, foi possível estabelecer parâmetros iniciais de uma RSSF. Em um segundo momento após procedimentos de instalação, interpretação dos dados, definido as informações de parâmetros da uma RSSF, realizamos um novo experimento, analisando as métricas da medição em ambiente aberto, sendo possível determinar a distância de alcance entre os *nodes* ou nós em um campo de futebol com dimensões 120m X 45m.

Após aplicações em laboratório e em ambiente aberto foi instalada e configurada uma RSSF em cultivo real de Cana-de-Açúcar. Foram encontrados vários problemas, ilustrados nas medições iniciais, como por exemplo, alcance de apenas 6 metros na camada de comunicação entre os nós. Os estudos e conceitos sobre RSSF possibilitou criar uma solução com alteração de posicionamento dos *nodes* em aplicação agrícola, visto que, após experimentos em uma plantação

de Cana-de-Açúcar na Fazenda Itaiquara encontrado o crucial problema de cobertura da RSSF. A dimensão do cenário para experimentos da RSSF aplicados em cultivo agrícola é aproximadamente 200m<sup>2</sup> da Fazenda Itaiquara, aonde esta localizado parte da plantação de Cana-de-Açúcar utilizado pela Usina. Na aplicação de uma RSSF em cultivo agrícola variando o posicionamento do Mote é apresentada uma possível solução.

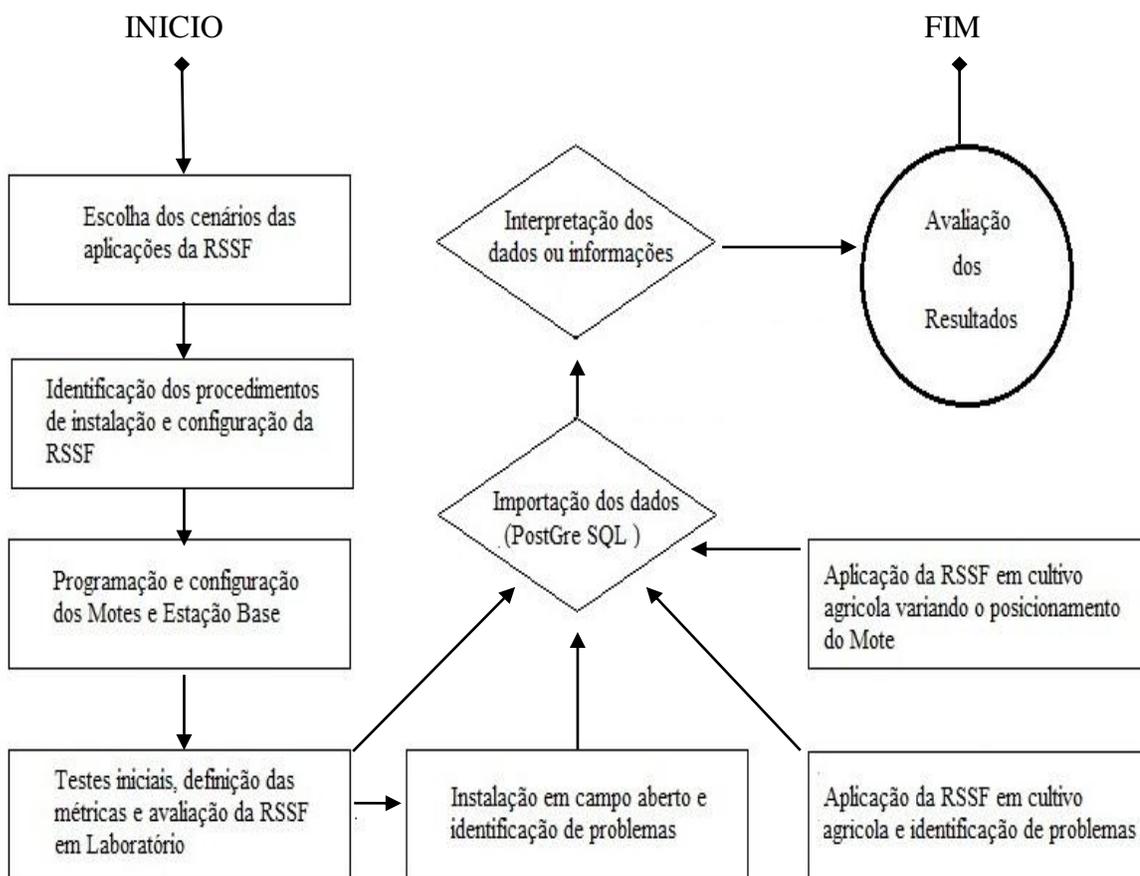


Figura 4.2 – Fluxograma Metodologia do Trabalho.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são descritos e ilustrados os resultados obtidos após experimentos e interpretação dos dados. No capítulo 5.1 foram apresentados os resultados do experimento em Laboratório, identificado tempo de esgotamento da bateria, comportamento do Sinal RSSI em relação ao tempo de funcionamento e eficiência das leituras de pacotes saúde durante a semana de testes.

Para identificar a distância de alcance do *Mote* foi realizado o experimento em ambiente aberto. No subitem 5.3 o posicionamento dos elementos da rede foi mantido na altura 0,8m devido às restrições de *hardware* CROSSBOW, 2007 e encontrados alguns problemas da aplicação de uma RSSF em ambiente agrícola, assim, apresentado uma possível solução, adição de um elemento da RSSF e variação da altura deste elemento chamado de Sorvedouro ou nó intermediário.

### 5.1 AVALIAÇÃO DA RSSF EM AMBIENTE LABORATÓRIO

O experimento em laboratório possibilitou identificação do funcionamento da rede através da identificação de métricas utilizadas para avaliação do desempenho da Rede, estudo da interpretação dos dados coletados e trâmites de instalação e configuração de uma RSSF com o kit disponível.

Observamos que cada pacote de saúde contém dados referentes às métricas durante o período das requisições e respostas, o período da leitura de um pacote de saúde é 2 minutos. A leitura do pacote de saúde é diretamente proporcional ao desempenho do RSSI, pois quando o Sinal está abaixo de -91 dBm (aproximadamente 79,4  $\mu\text{W}$ ) não há comunicação entre os nós e não são recebidos dados no receptor. Nesta avaliação foi ilustrado o comportamento da variação do sinal RSSI em relação ao tempo de funcionamento. Configuramos o *Mote* com potência mínima permitida do equipamento: -17,2dBm (aproximadamente 19,05  $\mu\text{W}$ ), distância de 3 metros entre os elementos e ambiente de laboratório. A duração desta medição foi

aproximadamente 1 semana e foram encontradas a função polinomial que representa a variação do sinal percebido pelo nó sorvedouro conforme a variação do tempo de funcionamento ilustrado na Figura 5.1.1. Também foi obtida uma função linear para o consumo de energia das baterias em relação ao tempo de funcionamento, ilustrada na Figura 5.1.2.

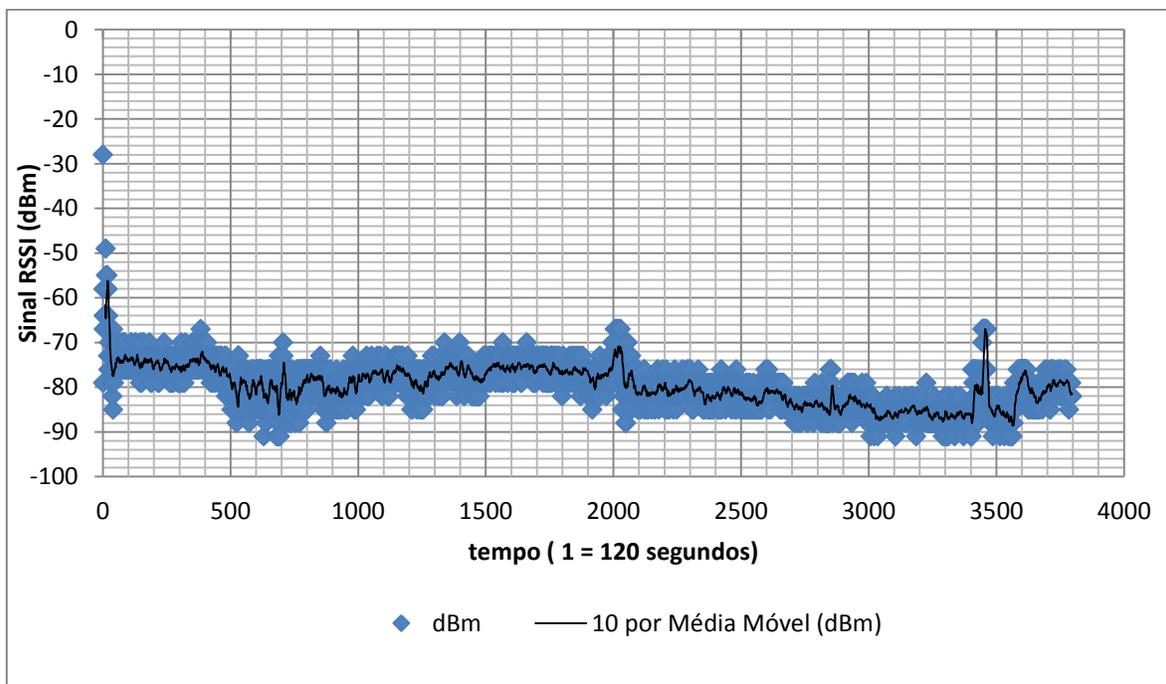


Figura 5.1.1 – Média Móvel do Sinal RSSI (dBm) em relação ao tempo em ambiente de Laboratório.

O tempo de funcionamento da rede é diretamente proporcional ao tempo de esgotamento da bateria dos seus elementos, conforme ilustrado na Figura 5.1.2.. Foi avaliada a variação do consumo da bateria em relação ao tempo. Aqui observamos que não é satisfatória a utilização de 2 baterias AA com voltagem contígua de  $\sim 3,1V$  no Modo de Energia HP. O Mote desliga ou “morre” quando o nível da bateria alcança aproximadamente  $2,1v$ , por tanto, sugerimos a utilização de energia alternativa para os elementos da RSSF nos ambientes agrícolas quando seja necessário utilizar o Modo de Energia HP, para evitar esgotamento das baterias antes da colheita.

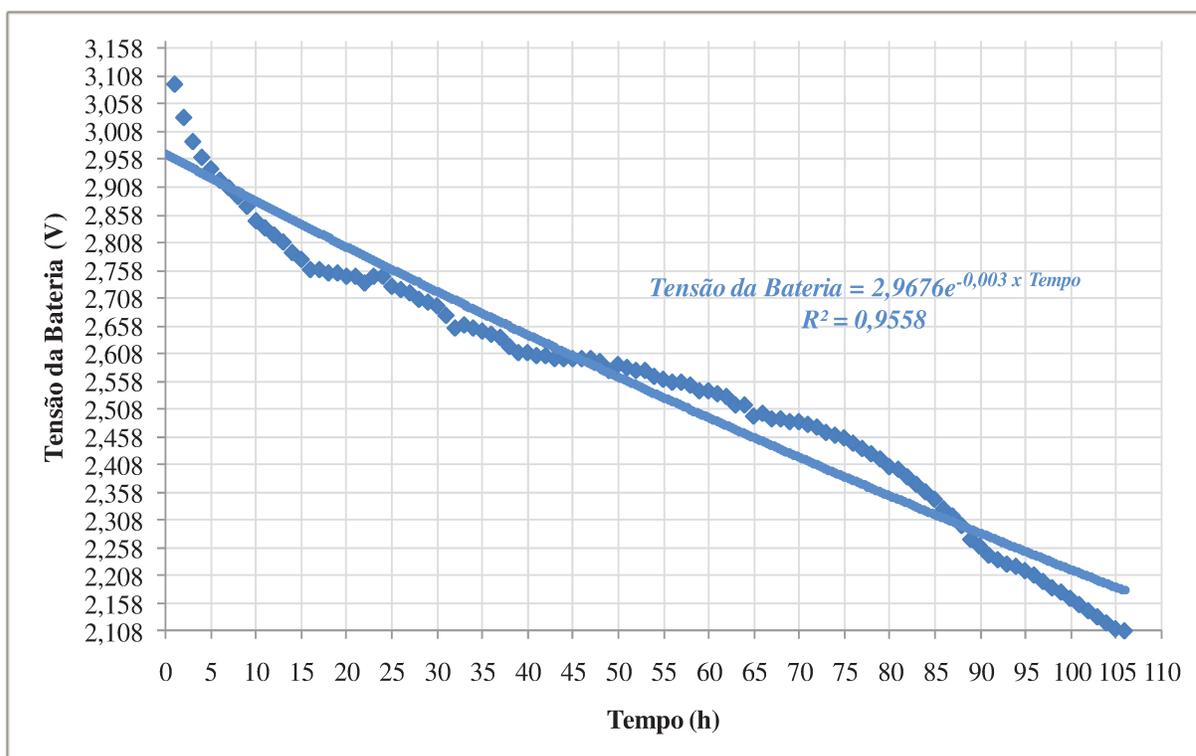


Figura 5.1.2 – Variação do Consumo de Energia das baterias AA do *Mote* em relação ao Tempo(h) em ambiente de Laboratório ROCCIA, 2011.

O gráfico da Figura 5.1.3 demonstra o desempenho da leitura dos pacotes de saúde do *mote*. Teste iniciado no dia 05 de abril de 2012, às 15 horas, 44 minutos e 40 segundos, o primeiro pacote saúde foi recebido no *mote* e no dia 10 de abril de 2012, às 22 horas, 48 minutos e 21 segundos o pacote numero 3813 foi recebido no sorvedouro. O pacote de saúde é processado e recebido a cada 2 minutos.

A utilização de largura de banda, também está ilustrada na Figura 5.1.4 com intuito de identificar o desempenho desta métrica em relação ao tempo de funcionamento.

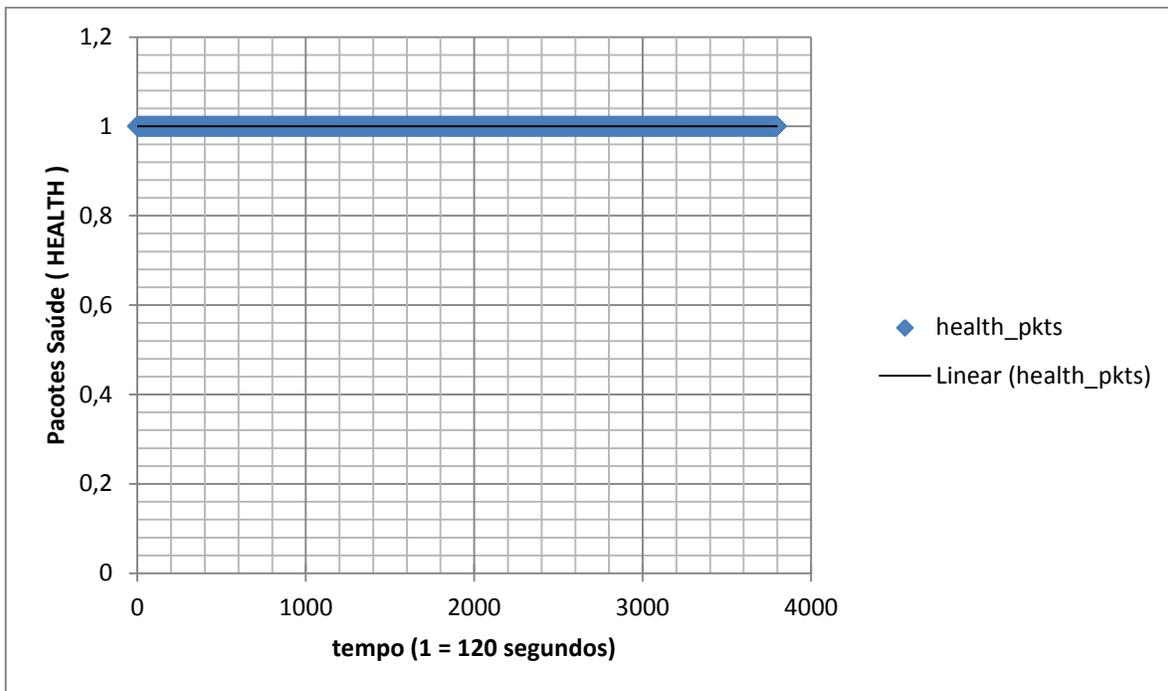


Figura 5.1.3 – Comportamento estável das leituras de pacotes de saúde em relação ao tempo em ambiente de Laboratório.

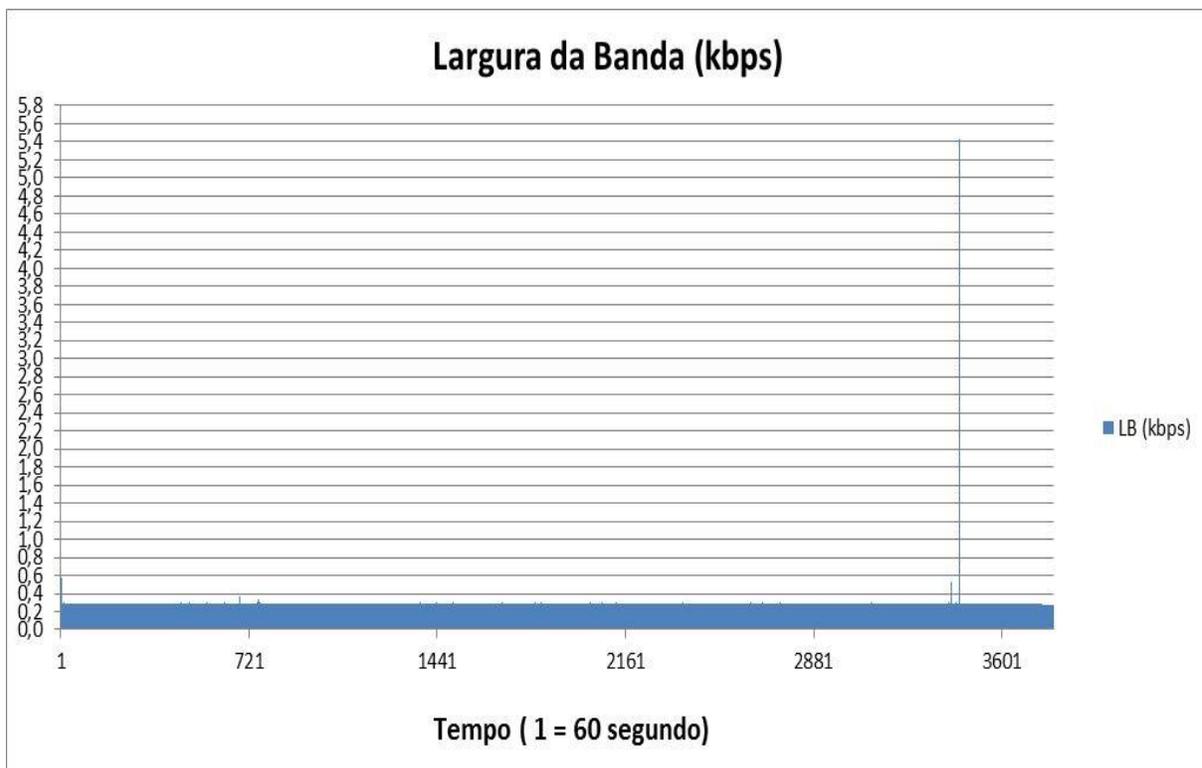


Figura 5.1.4 – Utilização da Largura de Banda em relação ao tempo de funcionamento em ambiente de Laboratório.

## 5.2 AVALIAÇÃO DA REDE EM AMBIENTE ABERTO

Nesta avaliação em ambiente aberto a Potência do Sinal é 3 dBm (2 mW) nos *Motes*, máxima potência permitida do equipamento conforme informado no capítulo 3.1 .O experimento permitiu identificação da distância de alcance dos elementos sem obstruções, experimento necessário para identificar a distância máxima de comunicação entre o nó sorvedouro e a estação base, sem retransmissões de pacotes que aumentem o consumo de bateria. É importante destacar quais são as melhores condições de enlace entre os nós. Este tipo de link é conhecido como enlace por espaço livre, devido ao fato de não existir nenhum obstáculo visível entre os nós que possa provocar uma atenuação adicional. É ilustrado na Figura 5.2.1 um *Mote* nó intermediário e uma *MIB* gerente principal da RSSF. O posicionamento da altura 0,8m dos *Motes* considera as restrições de *hardware* CROSSBOW, 2007.

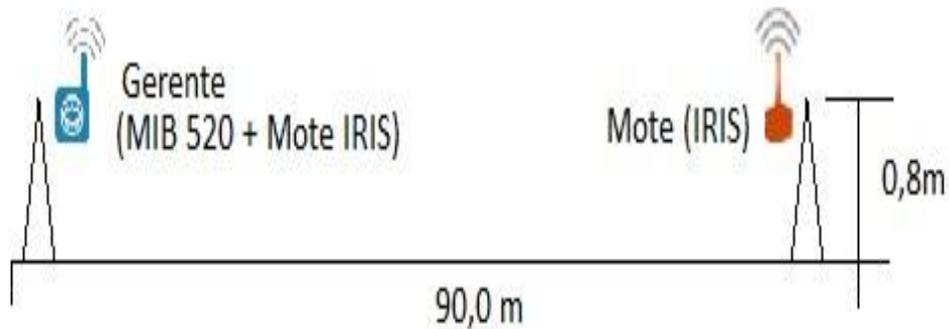


Figura 5.2.1 – Posicionamento linear do gerente principal e *Mote* de uma RSSF em campo aberto.

No início do experimento, estando o Gerente MIB 520, muito próximo do mote e até uma distância aproximada de 5 metros, o sinal apresentou um valor de -10 dBm, quando o gerente é afastado gradativamente do Mote o nível de sinal vai diminuindo devido ao aumento da atenuação de espaço livre. Quando a distância alcança 90 metros, o sinal RSSI está abaixo do valor -91dBm e a porcentagem de pacotes perdidos e pacotes retransmitidos aumenta abruptamente como indica a Figura 5.2.3 página 47 . Os valores gerados dos experimentos foram interpretados através de médias dos valores após 3 repetições do experimento como recomendado por ROCCIA, 2011.

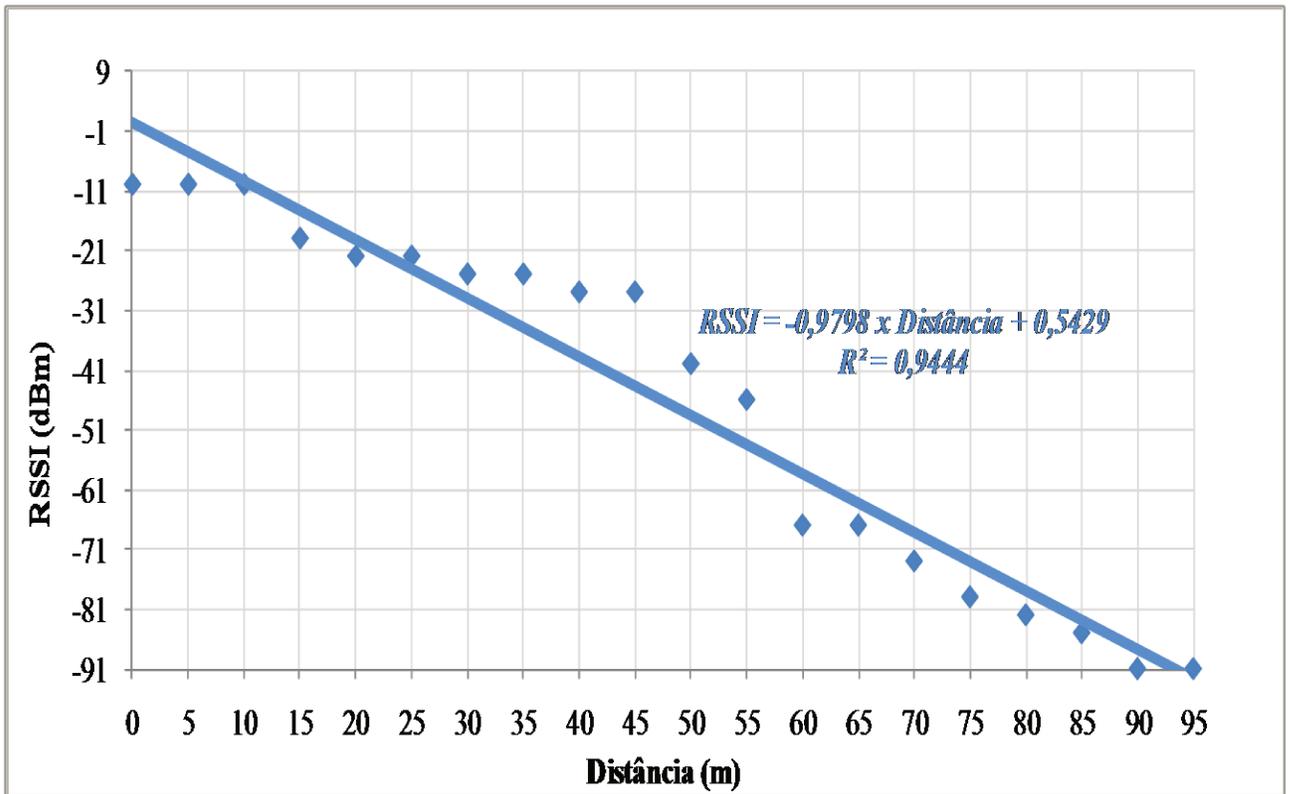


Figura 5.2.2 – Diminuição do Sinal RSSI (dBm) em relação à distância do *Mote* com posicionamento do sorvedouro na altura 0,8 metros em condições de enlace de espaço livre.

### 5.2.1 VALIDAÇÃO TEÓRICA DESTA MEDIÇÃO

A perda por espaço livre, ou seja, apenas parte da energia transmitida através das ondas eletromagnéticas é captada pela antena receptora. Esta energia é tanto menor quanto maior a frequência e a distância. Esta perda, denominada perda no espaço livre ( $L_{fs}$ ), pode ser calculada, segundo a recomendação (ITU-R PN 525-2) da União Internacional de Telecomunicações, pela seguinte expressão:

$$L_{fs} = 92,4 + 20 \log r_{(Km)} + 20 \log f_{(GHz)}$$

5.a

onde,

$L_{fs}$  = Perda por espaço livre em dB

r = Distância em Km

f = Frequência em GHz

Considerando que a frequência de trabalho de 2,45 GHz , calcula-se a atenuação por espaço livre para uma distância de 95 m ( ou seja 0,095 Km) resultando um valor de -79,8 dB, ou seja, uma perda de sinal de 79,8dB.

O nível de potência para essa distância é possível calculá-lo subtraindo do nível de potência existente na distância de 0 Km ( -10 dBm), a atenuação por espaço livre. Dessa forma obtém-se que o valor teórico esperado do nível de potência a uma distância de 95 m de -89,8 dBm. Deve observar-se que esse valor é muito próximo do limiar de -91 dBm especificado pelo fabricante. Isso significa que a medição experimental se corresponde com o resultado teoricamente previsto e em termos prático significa que os elementos da rede estão tanto o hardware quanto o software funcionando adequadamente e que as medições realizadas são totalmente confiáveis. Na figura 5.2.3 visualizamos pacotes perdidos acima de 30% e retransmitidos acima de 70% quando a potência em dBm , sinal percebido esta próximo de -91dBm.

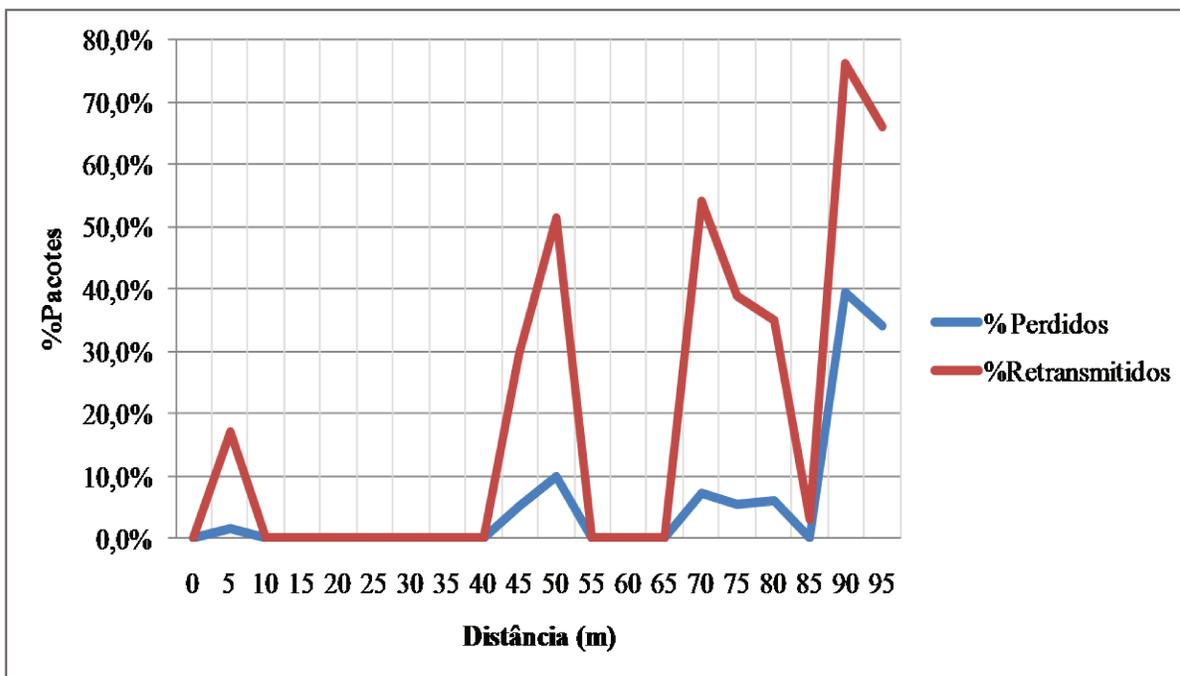


Figura 5.2.3 – Variação do percentual de perda e retransmissões de pacotes em relação à distância do *Mote* com posicionamento do sorvedouro na altura 0,8 metros condições de enlace de espaço livre.

### 5.3 APLICAÇÃO DA REDE DE SENSORES SEM FIO NO CULTIVO AGRÍCOLA.

Os experimentos em ambiente agrícola foram realizados na Fazenda Itaiquara. A plantação cultiva a variedade CB41/76 de Cana-de-Açúcar numa área total de aproximadamente 30 hectares de plantação. Foi utilizado para realização dos experimentos uma área de 200 m<sup>2</sup>. As plantas com idade 12 meses de cultivo, início do período de colheita, dispersas em fileiras com uma média de 16 colmos por m<sup>2</sup> e plantas da Cana-de-Açúcar com altura média de 4 metros.

Neste capítulo identificamos os principais problemas da aplicação de uma RSSF em ambiente de cultivo agrícola de Cana-de-Açúcar. Conforme testes já realizados em campo aberto, mantido as configurações com posicionamento dos elementos ilustrado na Figura 5.3 da rede 0,8m em relação ao solo, potencia programada em 3dBm, Modo de Energia *HP*, Canal 11 e Frequência do Mote em 2.4GHz.

Foram detectados problemas de alcance da rede na plantação, devido às barreiras, ou seja, grande densidade da folhagem e colmos das plantas que aumentam a atenuação do sinal recebido.



Figura 5.3 – *Mote* IRIS dotado de placa de sensoriamento posicionando com altura 0,8m aplicado em plantação de Cana-de-Açúcar FAZENDA ITAIQUARA, 2011.

Para o experimento em cultivo de Cana-de-Açúcar, avaliamos o nível de sinal percebido do *mote* e consideramos as métricas de perdas de pacotes, retransmissões de pacotes e utilização da largura de banda ilustrados nas Figuras 5.3.1, 5.3.2 e 5.3.3 deste capítulo. Esses gráficos ilustram que nas adversas condições de uma vegetação densa, como é o caso de um canavial, a distância entre os nós da rede não alcança 7 m sem que inicie a retransmissão de pacotes para conseguir a comunicação, gerando aumento de consumo de bateria que essas retransmissões provocam. Por outro lado, resultado proibitivo, desde o ponto de vista de número de elementos necessários para cobrir grandes extensões de cultivo de cana-de-açúcar colocando os nós à uma distância de apenas 6 m, caso se utilize uma topologia estrela ilustrada no segundo capítulo e Figura 2.4.1.

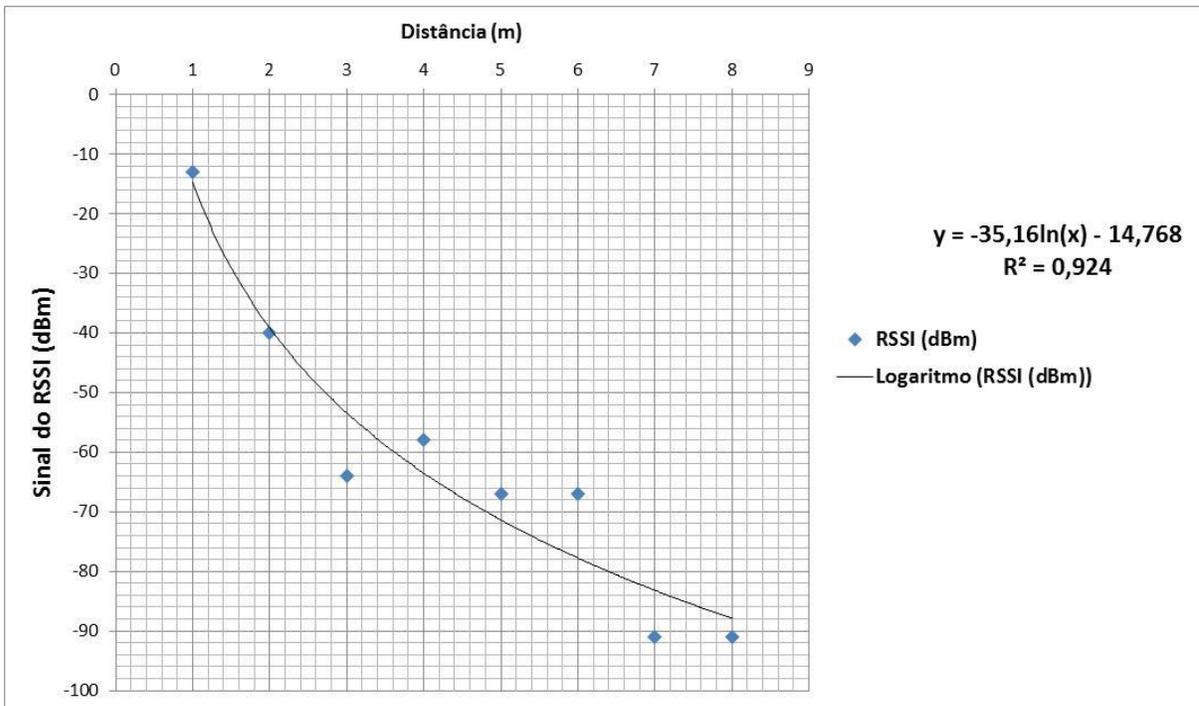


Figura 5.3.1 – Variação do Sinal RSSI (dBm) em relação à distância dos *nodes* com posicionamento do sorvedouro na altura 0,8 metros.

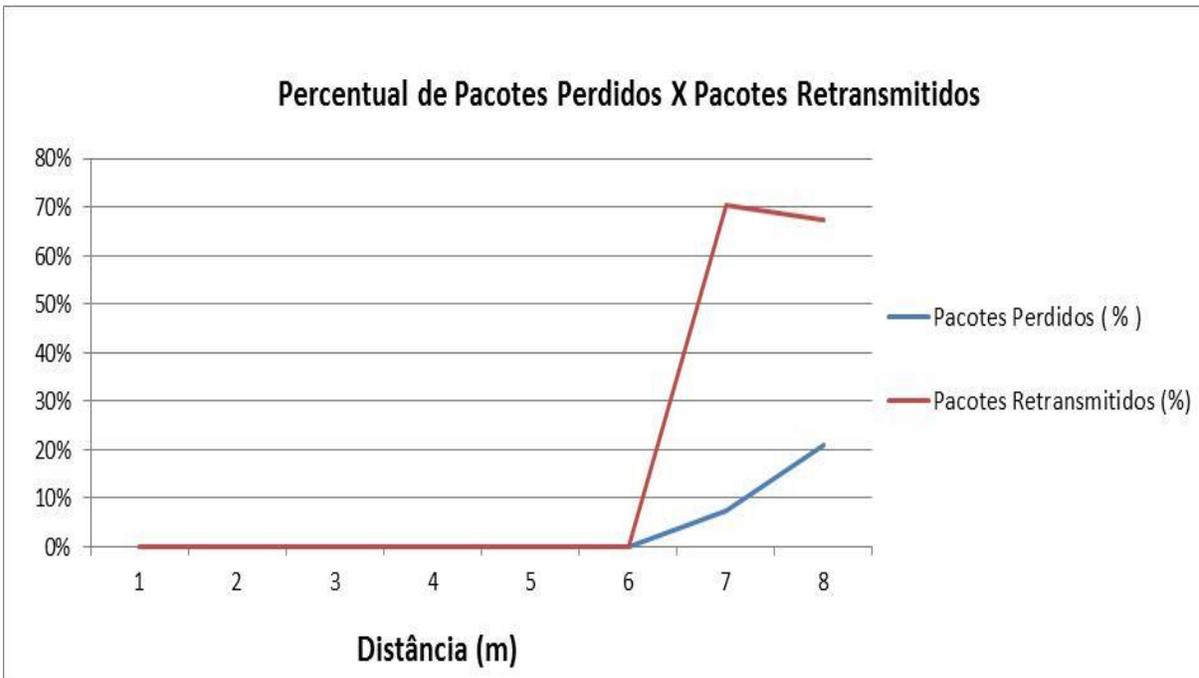


Figura 5.3.2 – Variação do percentual de perda e retransmissões de pacotes em relação à distância dos *nodes* com posicionamento do sorvedouro na altura 0,8 metros.

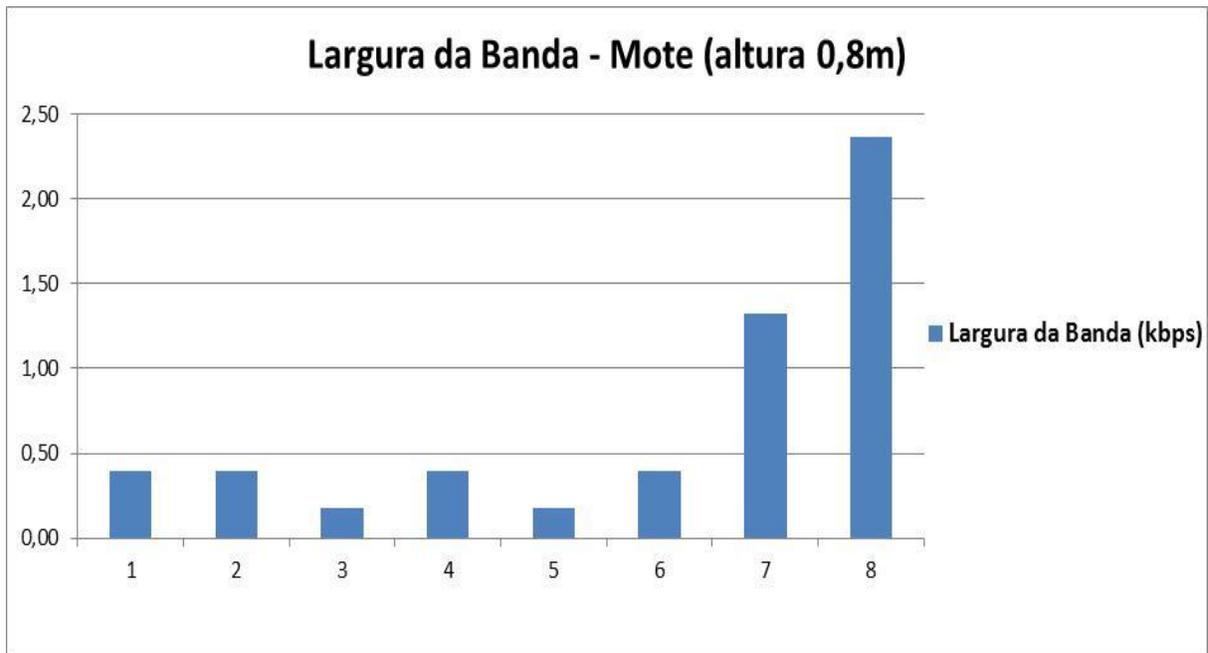


Figura 5.3.3 – Utilização da Largura de Banda em relação à distância dos *motes* com posicionamento do sorvedouro na altura 0,8 metros.

#### 5.4 DESEMPENHO DA RSSF ALTERANDO A POSIÇÃO DO SORVEDOURO

Devido à inviabilidade de utilização da topologia em Malha, apontada no capítulo anterior, apresentamos uma solução adotando topologia em Árvore, uma integração da topologia Estrela com características da topologia em Malha para montagem da RSSF, alterando o posicionando do Sorvedouro. A Figura 5.4.1 ilustra uma solução particular de posicionamento do sorvedouro e nó sensor, visando aumentar a distância entre os nós da rede.

Para esse experimento e avaliação, mantido a metodologia da aplicação do subitem 5.3 com exceção do posicionamento do nó sorvedouro, pois definimos quatro alturas para posicionar o sorvedouro, realizar os experimentos e avaliar o comportamento da RSSF.

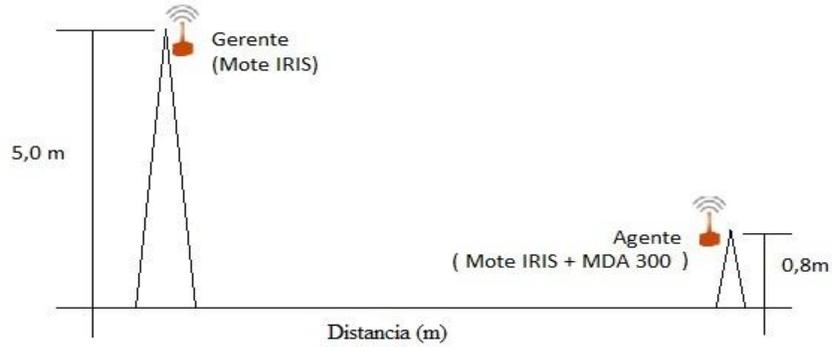


Figura 5.4.1 – Exemplo de um posicionamento do Nó Sorvedouro (Gerente) e Nó Sensor (Agente) em relação ao solo.

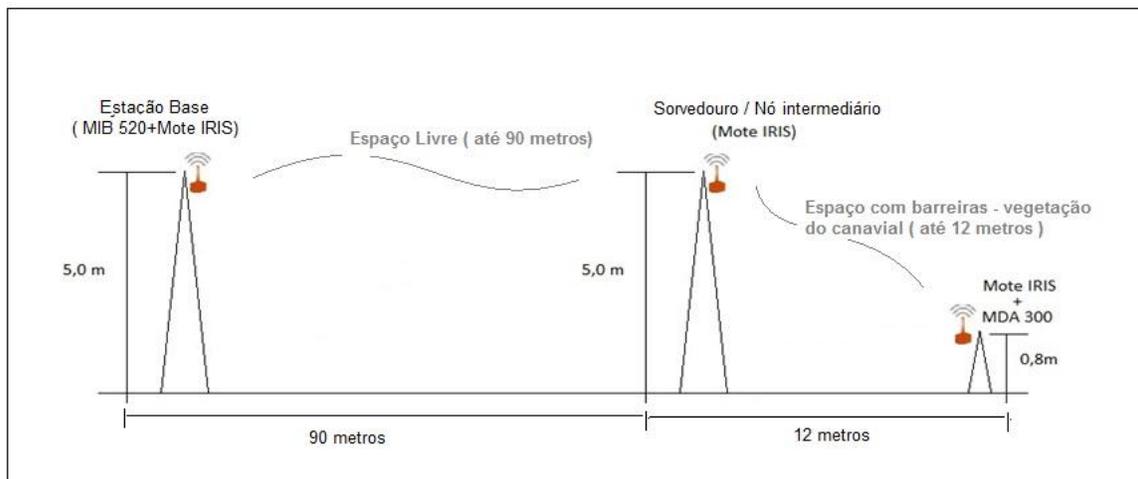


Figura 5.4.2 – Exemplo de um posicionamento dos Nós (Mote) de uma RSSF utilizada neste trabalho.



Figura 5.4.3 – Nó Sorvedouro posicionado com altura de 6 metros em plantação de Cana-de-Açúcar FAZENDA ITAIQUARA, 2012.

#### **5.4.1 RESULTADOS DO EXPERIMENTO ALTERANDO ALTURA DO NÓ SORVEDOURO.**

Adotado a metodologia de alteração de posicionamento do Nó Sorvedouro nas alturas 2m, 4m, 5m e 6m em relação ao solo foram obtidos novas métricas mostradas nas ilustrações deste subitem. A Variação do Sinal RSSI em relação à distância é apresentada na Tabela 5.4.1 através da média de três medições em cada posição.

Para realizar o experimento, a posição de altura do nó sensor foi mantida em 0,8m em relação ao solo, alteramos a distância entre os elementos e a altura do Nó Sorvedouro em relação ao solo.

Tabela 5.4.1 – Tabela de variação do Sinal RSSI em relação à distância com Nó Sorvedouro nas posições 0,8m , 2m, 4m, 5m e 6m.

<b>Tabela de variação do sinal RSSI (dBm) em relação a distância</b>					
	<b>Altura do Mote e variação do sinal (dBm)</b>				
<b>Distância(m)</b>	<b>0,8m</b>	<b>2m</b>	<b>4m</b>	<b>5m</b>	<b>6m</b>
<b>1</b>	-13	-13	-10	-13	-13
<b>2</b>	-40	-19	-13	-43	-55
<b>3</b>	-64	-40	-40	-49	-52
<b>4</b>	-58	-58	-40	-70	-61
<b>5</b>	-67	-61	-52	-79	-70
<b>6</b>	-67	-67	-55	-64	-70
<b>7</b>	-91	-88	-58	-70	-70
<b>8</b>	-91	-88	-61	-79	-76
<b>9</b>	-91	-91	-67	-85	-85
<b>10</b>	-91	-91	-70	-76	-85
<b>11</b>	-91	-91	-88	-85	-85
<b>12</b>	-91	-91	-91	-85	-85
<b>13</b>	-91	-91	-91	-88	-88
<b>14</b>	-91	-91	-91	-91	-91
<b>15</b>	-91	-91	-91	-91	-91

A Tabela 5.4.1 ilustra o Sinal Percebido no Sorvedouro em dBm nas distâncias entre 1 até 15 metros. O Nó Sorvedouro instalado na posição 0,8m em relação ao solo obteve um alcance aproximado de 6 metros, apresentado os resultados das métricas no subitem 5.3. O nó sorvedouro na altura 2m o alcance chegou em 8 metros, na instalação com Nó Sorvedouro na altura 4m a cobertura é 11m e na instalação do Nó Sorvedouro nas alturas 5 e 6 metros o alcance é 13 metros. A limitação da distância considera o sinal -91dBm como ausência de comunicação entre os elementos.

Os resultados do experimento com posição da altura do Nó Sorvedouro 2m e Nó Sensor 0,8m são ilustrados nas Figuras 5.4.4, 5.4.5 e 5.4.6.

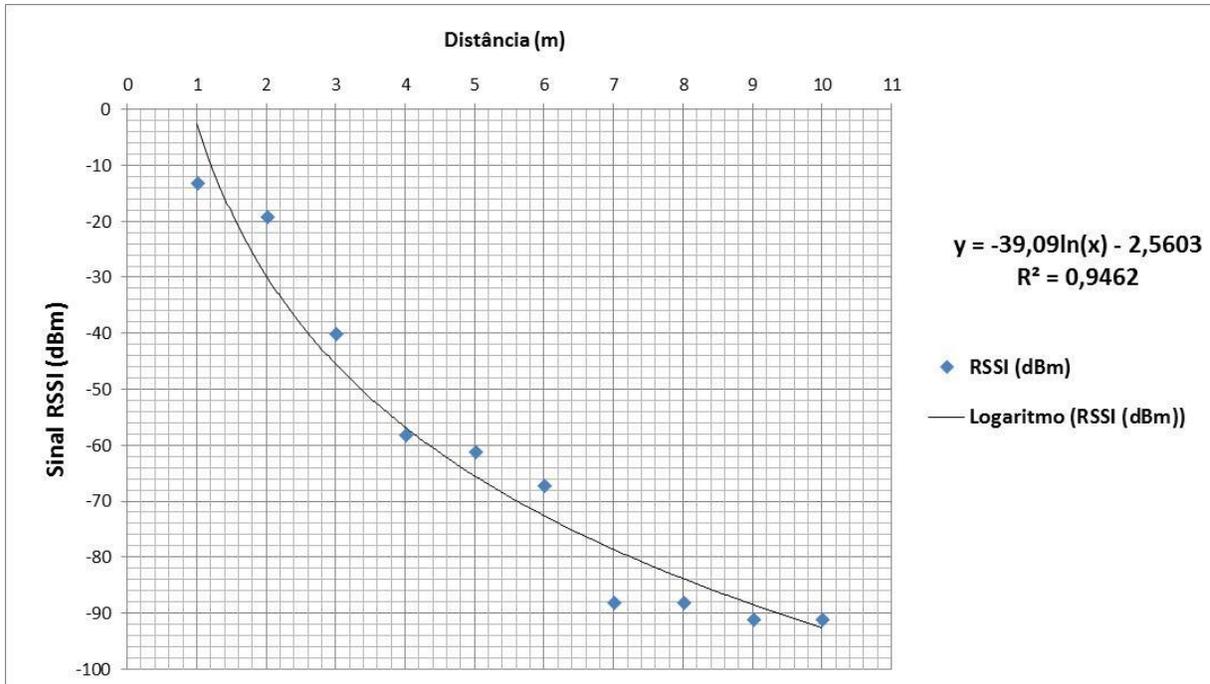


Figura 5.4.4 – Variação do Sinal RSSI (dBm) em relação à distância dos *motes* com posicionamento do sorvedouro na altura 2 metros.

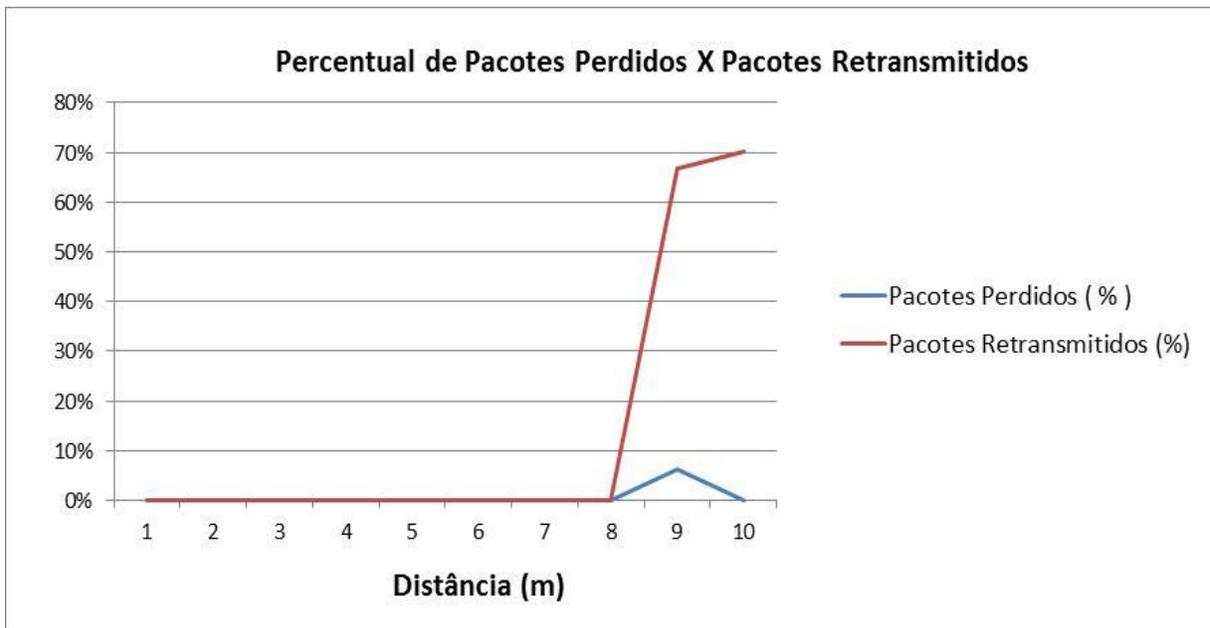


Figura 5.4.5 – Variação do percentual das perdas e retransmissões de pacotes em relação à distância dos *motes* com posicionamento do sorvedouro na altura 2 metros.

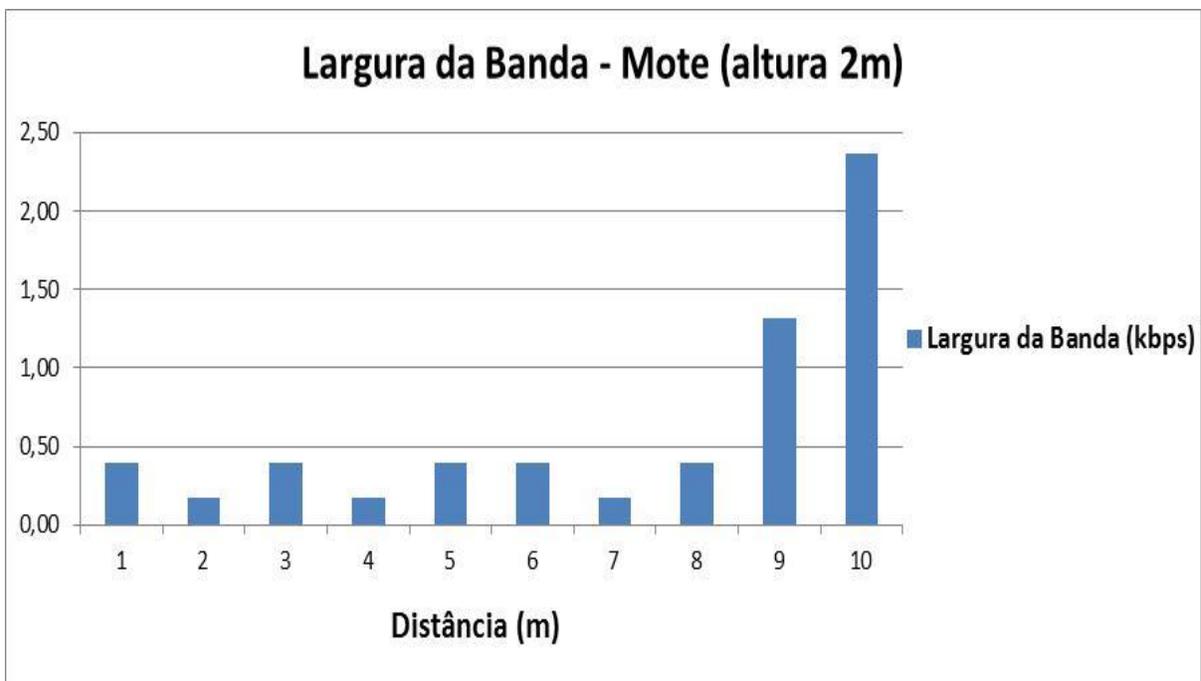


Figura 5.4.6 – Utilização da Largura de Banda em relação à distância dos *motes* com posicionamento do sorvedouro na altura 2 metros.

A variação do percentual das perdas e retransmissões de pacotes em relação à distância dos *nodes* com posicionamento do sorvedouro na altura 2 metros inicia-se após entre 7 e 8 metros e atinge 70% dos pacotes retransmitidos quando a distância está entre 9 e 10 metros conforme ilustrado na Figura 5.4.5.

A ilustração da Figura 5.4.6 sinaliza utilização de aproximadamente 2,5kbps da largura de banda quando o nó está posicionado em 10 metros de distância.

Os resultados do experimento com posição da altura do Nó Sorvedouro 4m e Nó Sensor 0,8m são ilustrados nas Figuras 5.4.7, 5.4.8 e 5.4.9.

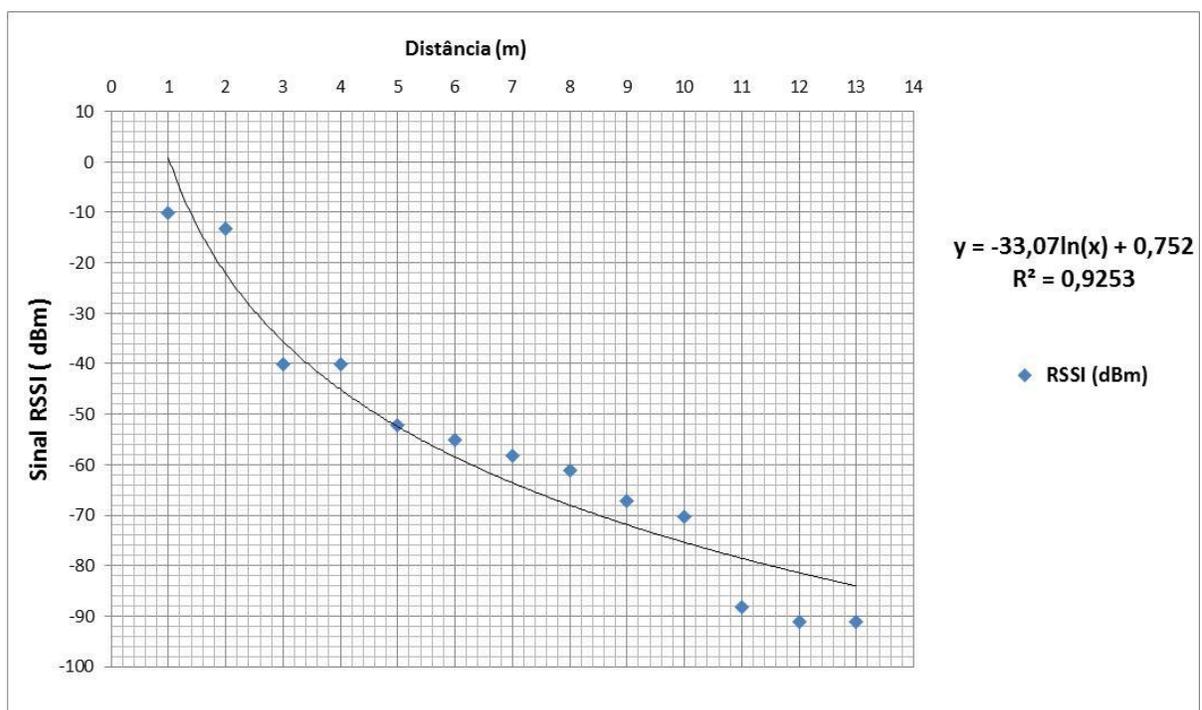


Figura 5.4.7 – Variação do Sinal RSSI (dBm) em relação à distância dos *nodes* com posicionamento do sorvedouro na altura 4 metros.

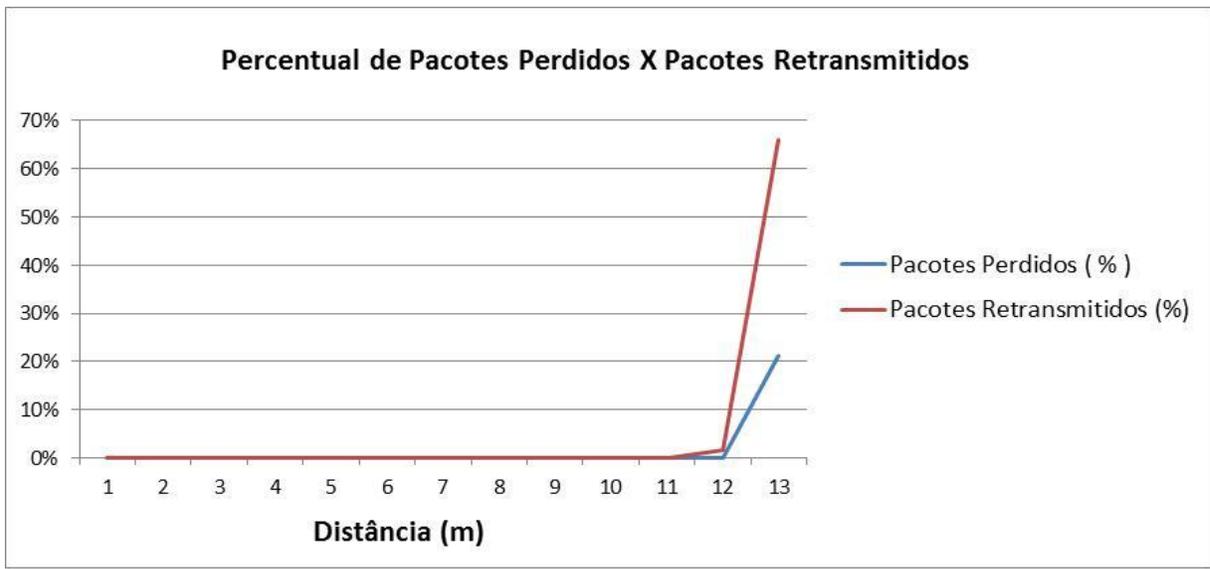


Figura 5.4.8 – Variação do percentual das perdas e retransmissões de pacotes em relação à distância dos *motes* com posicionamento do sorvedouro na altura 4 metros.

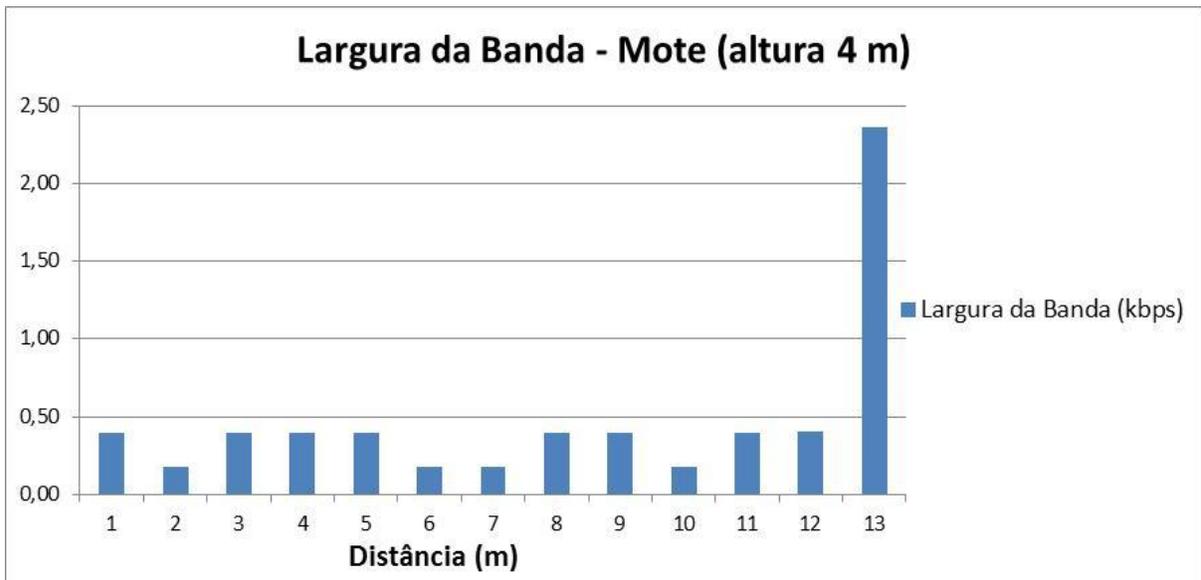


Figura 5.4.9 – Utilização da Largura de Banda em relação à distância dos *motes* com posicionamento do sorvedouro na altura 4 metros.

Os resultados do experimento com posição da altura do Nó Sorvedouro 5m e Nó Sensor 0,8m são ilustrados nas Figuras 5.4.10, 5.4.11 e 5.4.12.

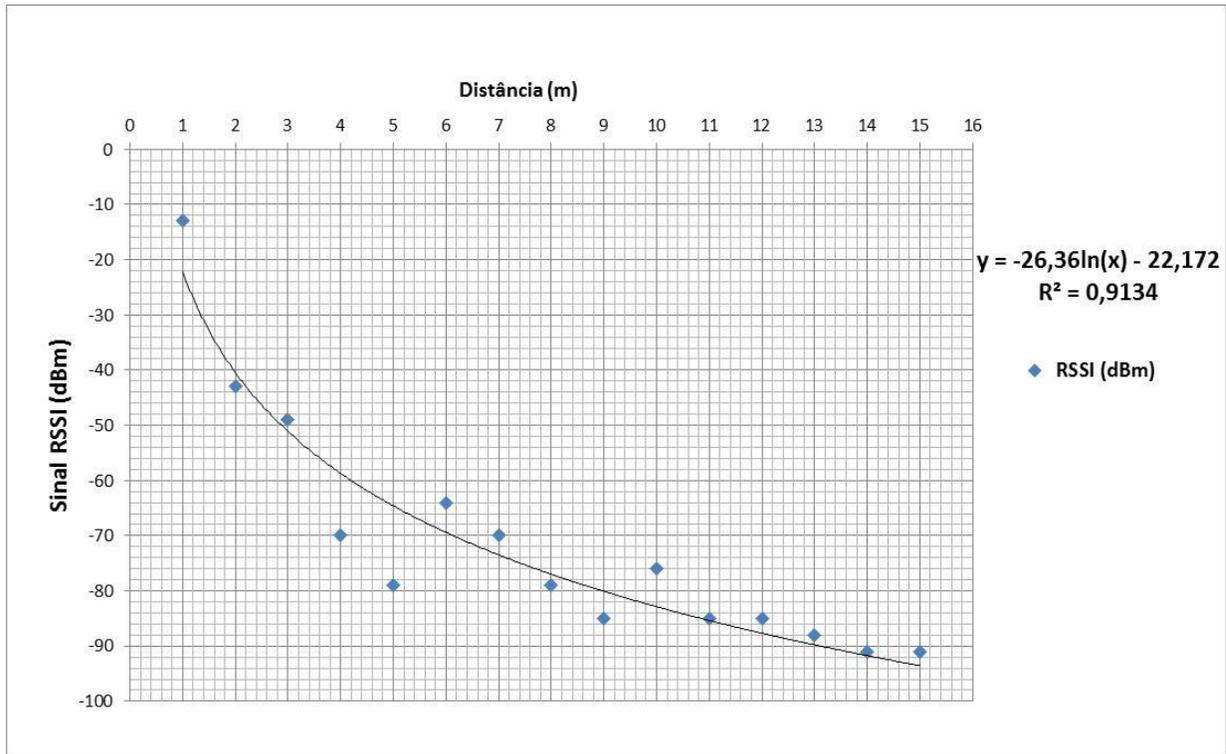


Figura 5.4.10 – Variação do Sinal RSSI (dBm) em relação à distância dos *nodes* com posicionamento do sorvedouro na altura 5 metros.

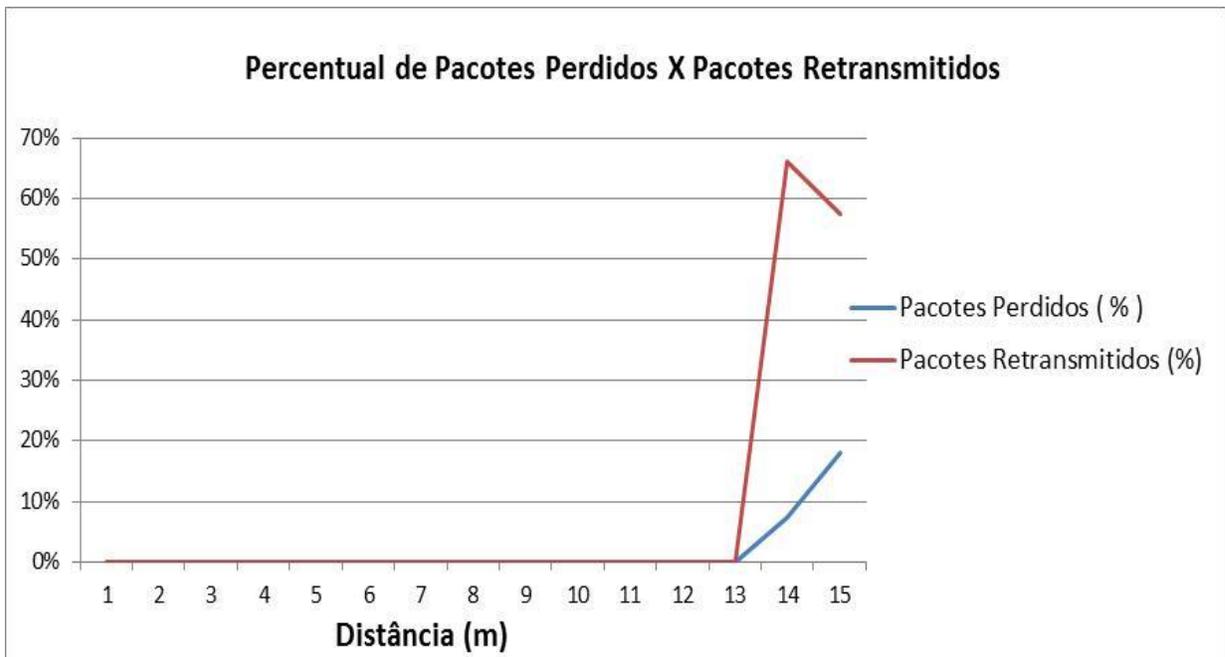


Figura 5.4.11 – Variação do percentual das perdas e retransmissões de pacotes em relação à distância dos *motes* com posicionamento do sorvedouro na altura 5 metros.

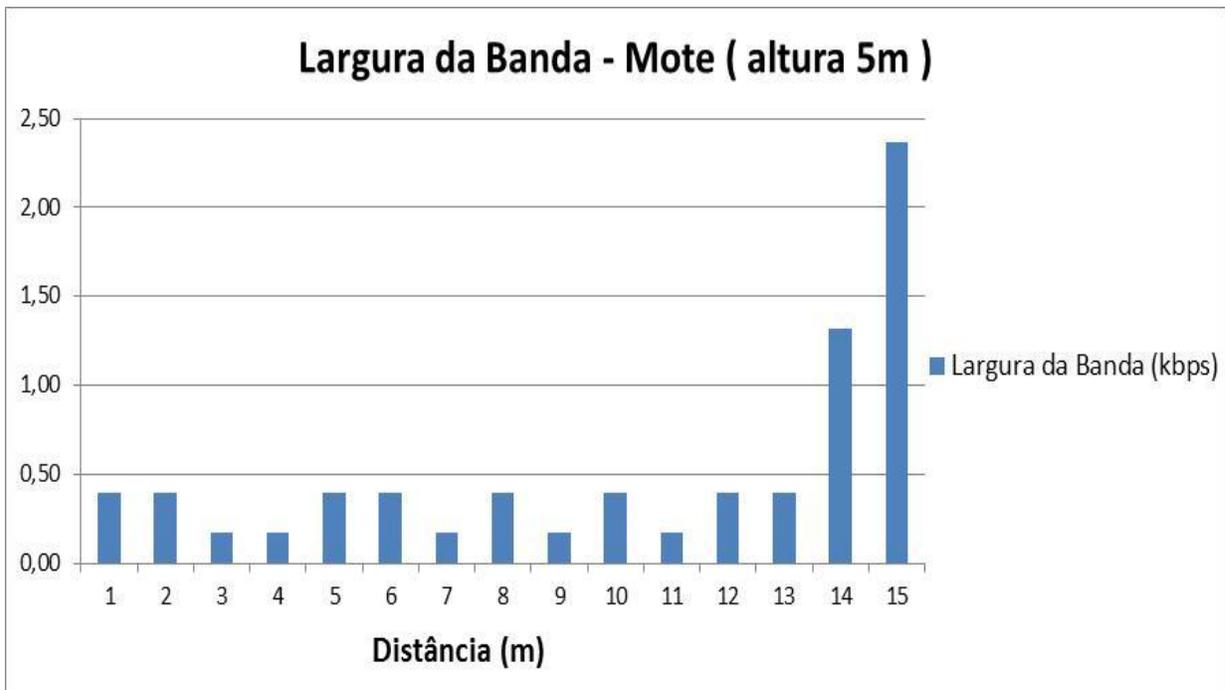


Figura 5.4.12 – Utilização da Largura de Banda em relação à distância dos *motes* com posicionamento do sorvedouro na altura 5 metros.

Os resultados do experimento com posição da altura do Nó Sorvedouro 6m e Nó Sensor 0,8m são ilustrados nas Figuras 5.4.13, 5.4.14 e 5.4.15.

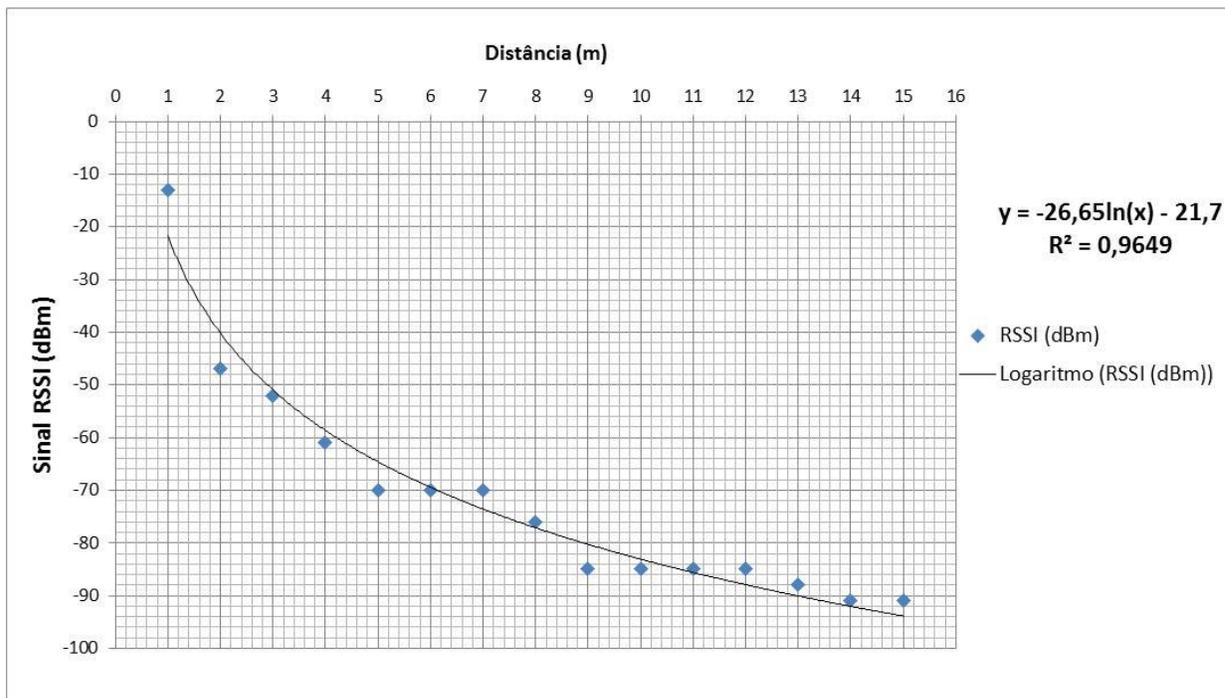


Figura 5.4.13 – Variação do Sinal RSSI (dBm) em relação à distância dos *nodes* com posicionamento do sorvedouro na altura 6 metros.

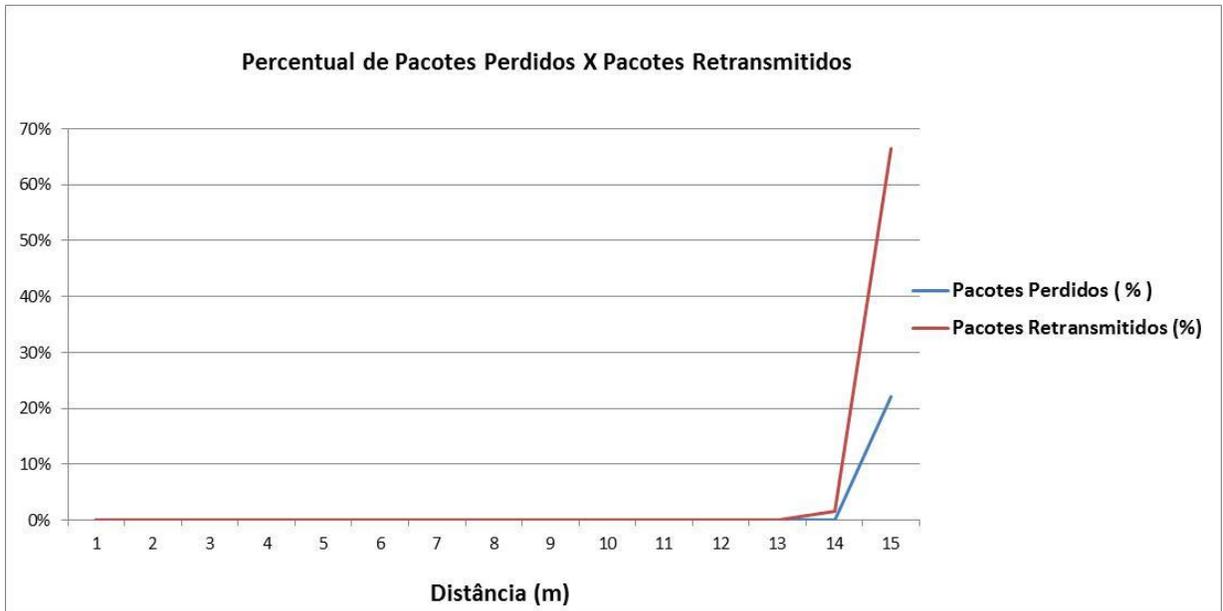


Figura 5.4.14 – Variação do percentual das perdas e retransmissões de pacotes em relação à distância dos *notes* com posicionamento do sorvedouro na altura 6 metros.

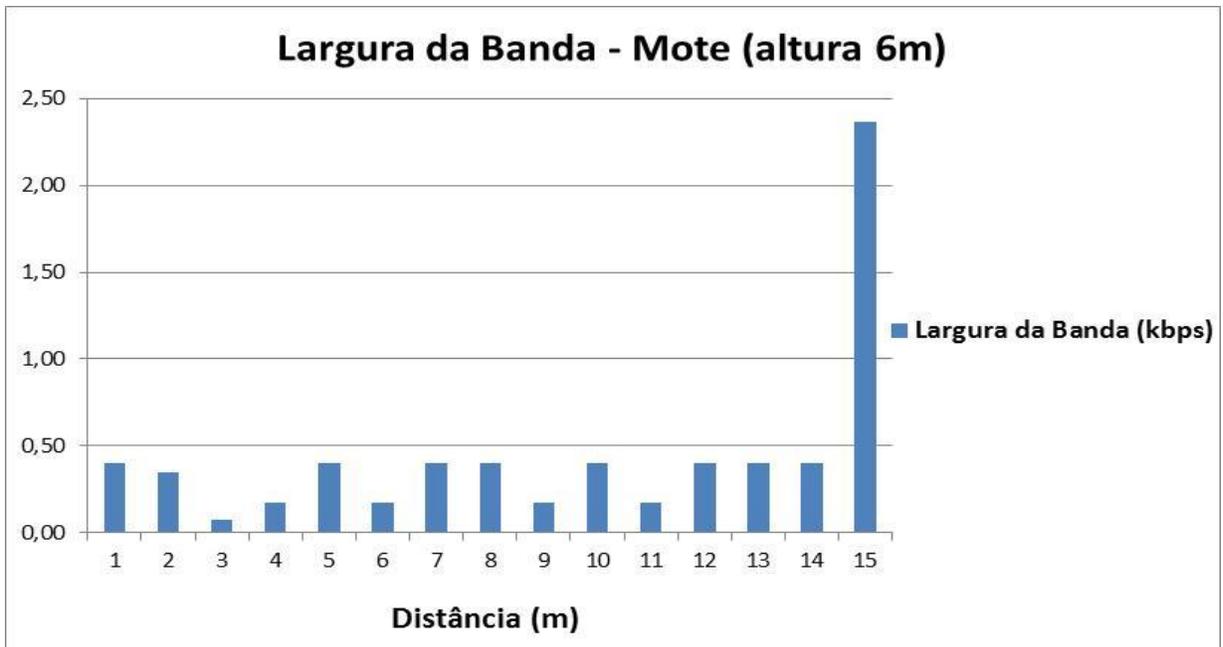


Figura 5.4.15 – Utilização da Largura de Banda em relação à distância dos *notes* com posicionamento do sorvedouro na altura 6 metros.

A ilustração da Figura 5.4.13 mostra o sinal RSSI com -88dBm quando *mote* está à uma distância de 13 metros do sorvedouro, neste instante a Figura 5.4.14 ilustra o início de perdas e retransmissão de pacotes grassando ainda mais quando atinge uma distância de 15 metros e aponta utilização da Largura de banda de 2,4kbps.

## **5.5 COMPARATIVOS DOS EXPERIMENTOS COM VARIAÇÃO DO POSICIONAMENTO DO NÓ SORVEDOURO.**

O comparativo das métricas de intensidade de sinal, perdas de pacotes, retransmissão de pacotes e utilização da largura de banda permite visualizar criticamente os resultados. Nas Figuras 5.5.1, 5.5.2, 5.5.3 e 5.5.4 são ilustrados comparativos dos resultados utilizados para conclusão do trabalho.

Os dados compilados e interpretados Neste capítulo através de tabela dinâmica com valores médios das métricas.

A Figura 5.5.5 ilustra qualidade do sinal no nó sorvedouro e Figura 5.5.6 qualidade do sinal no nó sensor. A métrica de qualidade do link também é representada, expressas em valores entre 0 até 15 e interpretados conforme equação 4.a.



Figura 5.5.1 – Comparativo da variação do Sinal RSSI (dBm) em relação às distância (m) dos *motes* com sorvedouro posicionado nas alturas 0,8m e 6m.

No experimento inicial em ambiente agrícola com *motes* – nó sorvedouro e nó sensor posicionado 0,8m de altura e topologia em árvore, o Sinal percebido no sorvedouro atinge -91dBm entre 6 até 7 metros de distância. Com posicionamento do nó sorvedouro com altura de 6 metros o Sinal percebido atinge -91 dBm entre 13 metros até 14 metros de distância entre os *motes*.

A Figura 5.5.2 ilustra as variações do percentual de pacotes perdidos em relação às distâncias com sorvedouro posicionado desde 0,8 metros até 6 metros de altura. Os comparativos dos percentuais de pacotes retransmitidos são ilustrados na Figura 5.5.3.

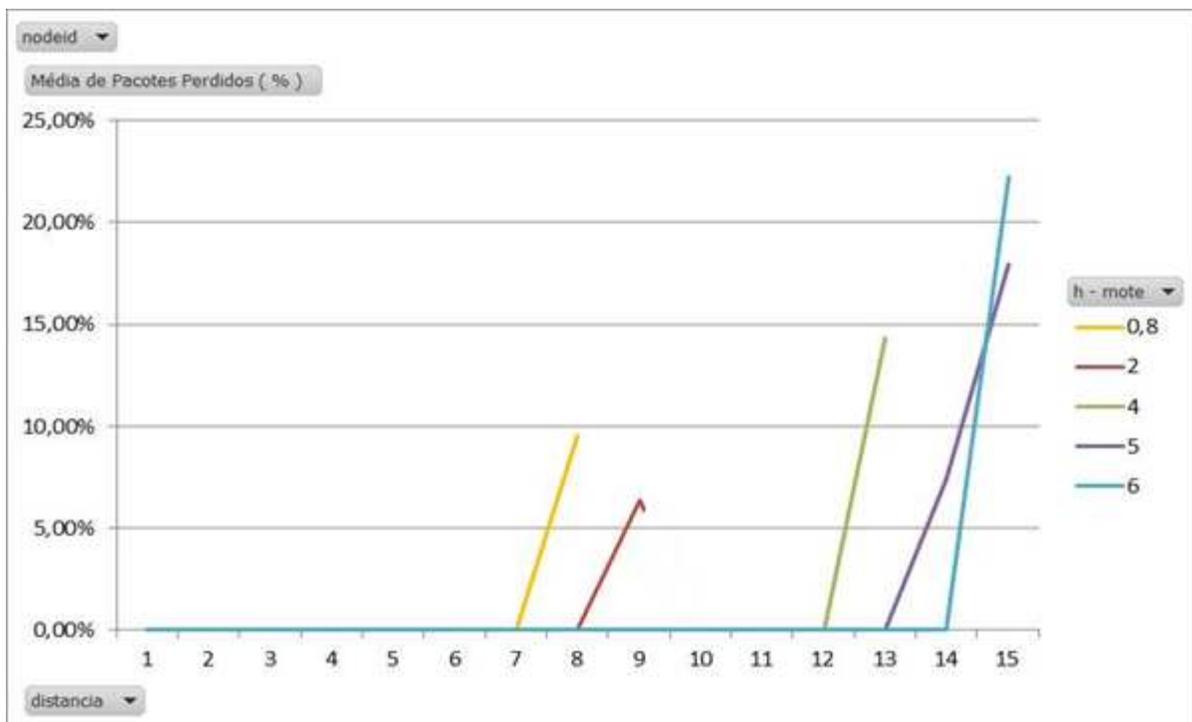


Figura 5.5.2 – Comparativo da variação do percentual de pacotes perdidos em relação às distâncias com sorvedouro posicionado nas alturas 0,8m, 2m, 4m, 5m e 6m.

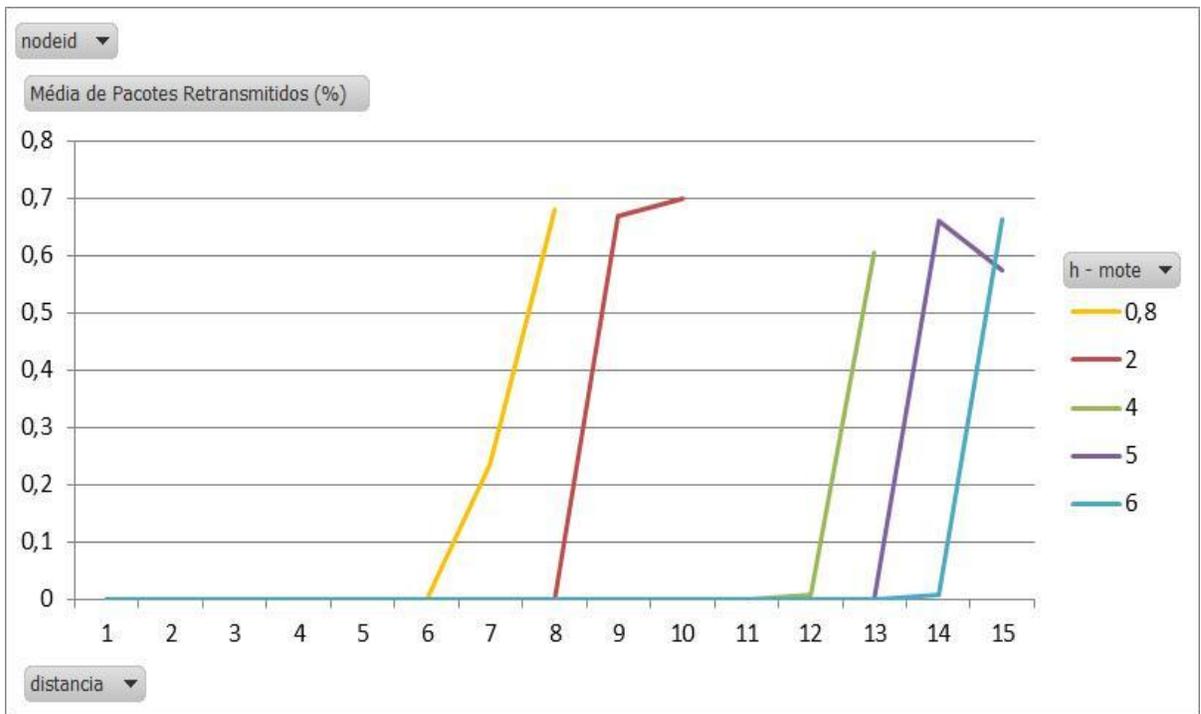


Figura 5.5.3 – Comparativo da variação do percentual de pacotes retransmitidos em relação às distâncias com sorvedouro posicionado nas alturas 0,8m, 2m, 4m, 5m e 6m.

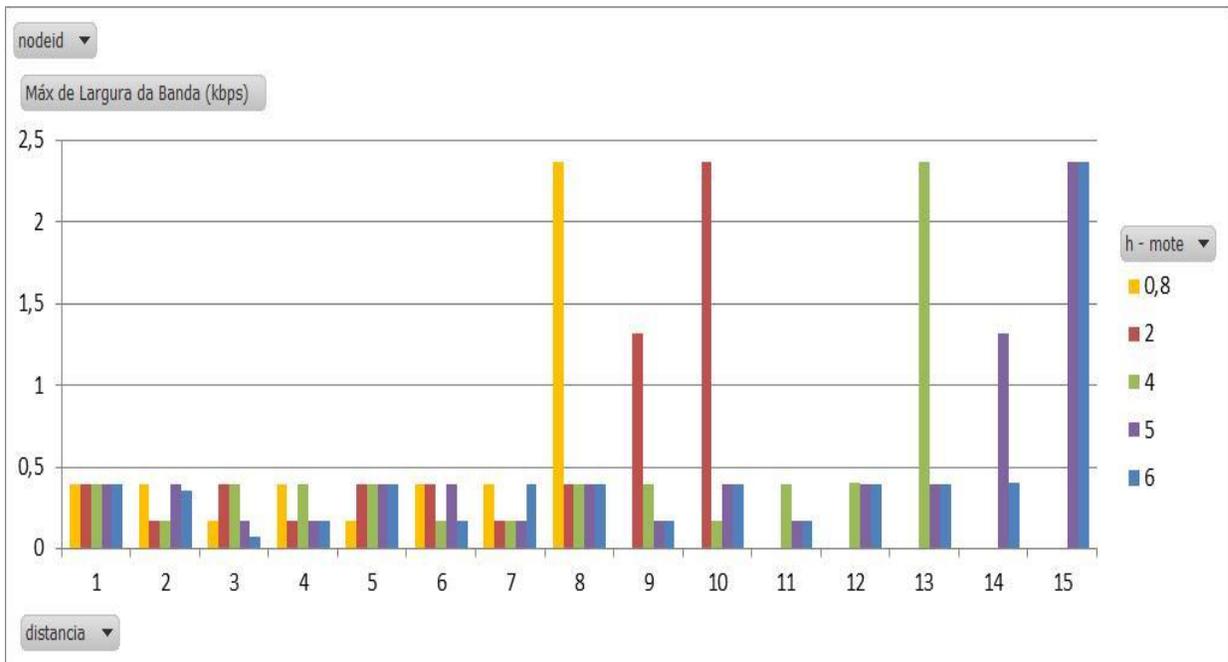


Figura 5.5.4 - Utilização da Largura de Banda em relação às distâncias dos *notes* com sorvedouro posicionado em alturas 0,8m, 2m, 4m, 5m e 6m.

A utilização da Largura de Banda posicionando o nó Sorvedouro com altura 0,8m ocupa 2,4kbps da banda quando a distância entre *os motes* esta entre 7 e 8 metros. Quando o Sorvedouro é posicionando na altura de 6 metros, com topologia estrela, a utilização de 2,4kbps da Largura de Banda ocorre entre as distâncias 14 até 15 metros.

Na Figura 5.5.5 ilustra a qualidade do link no transmissor conforme variação da distância entre os *motes*. A qualidade do link interpretado e apresentado no capítulo 3.1 esta representada em unidade de 0 até 15. Na distância entre os *motes* de 13 até 14 metros apenas são apresentados valores dos nós sensores com *mote* sorvedouro posicionado na uma altura de 6 e 5 metros pois não existe qualidade na comunicação referente as outras variações do posicionamento do sorvedouro.

Foi apresentação à qualidade do link no receptor ilustrado na Figura 5.5.6, ou seja, a qualidade do link no *mote* programado como sorvedouro nos posicionamentos das alturas explorados entre 0,8m e 6 metros.

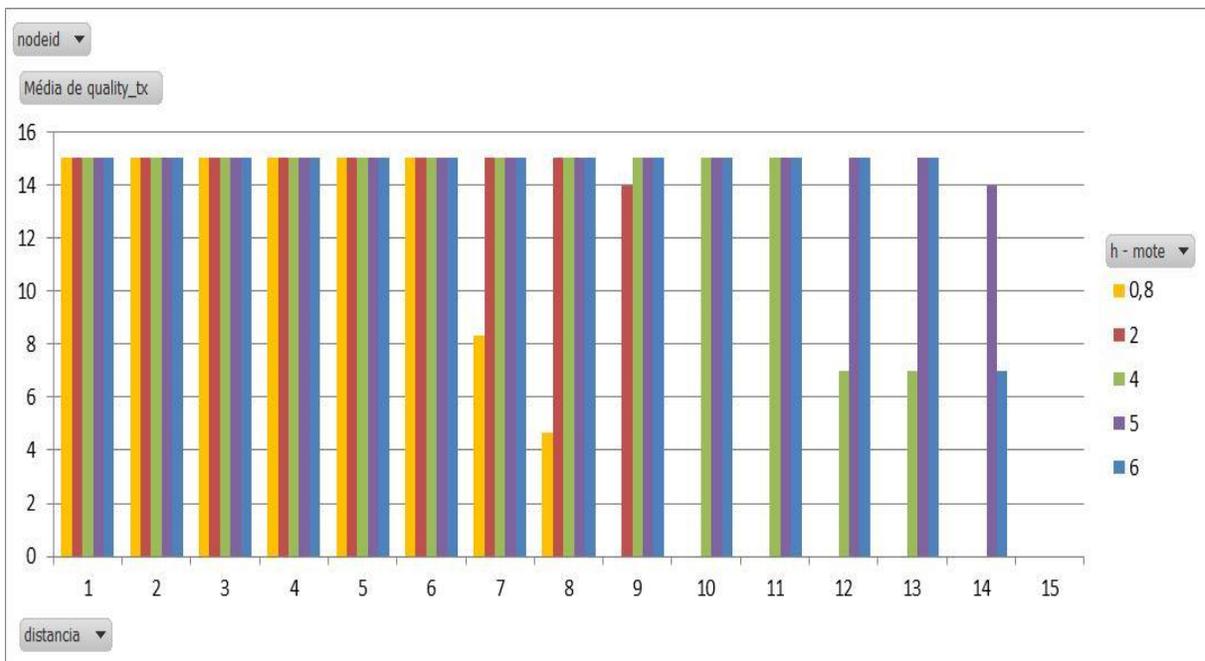


Figura 5.5.5 – Variações das qualidades de link do transmissor em relação às distâncias com sorvedouro posicionado em alturas 0,8m , 2m , 4m, 5m e 6m.

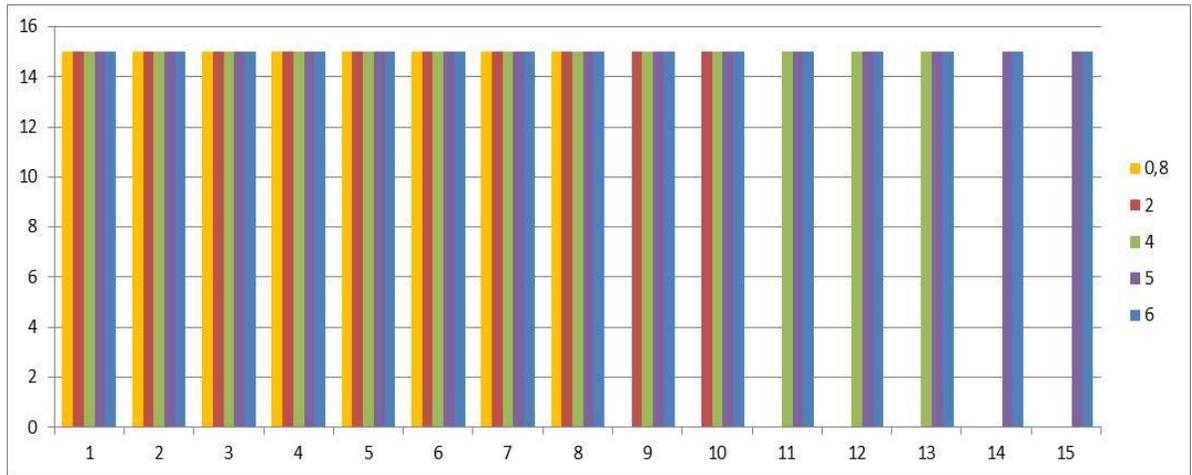


Figura 5.5.6 – Variações das qualidades de link do receptor em relação às distâncias com sorvedouro posicionado em alturas 0,8m, 2m, 4m, 5m e 6m.

Tabela 5.5 – Coeficientes angulares da taxa de variação da RSSI (sinal percebido no Sorvedouro) dos experimentos 0,8m ,2m ,4m ,5m e 6m.

Posicionamento do Sorvedouro (altura m)	Coeficientes Angulares
0,8	0,924
2,0	0,9462
4,0	0,9253
5,0	0,9134
6,0	0,9649

Das métricas investigadas identificamos que a intensidade do sinal (dBm) no receptor, apontado pelo RSSI é reduzida na medida em que o transmissor se distancia do receptor, assim como foi afirmado por CABRINI, 2006.

## 5.6 DISCUSSÕES

A avaliação da RSSF em Laboratório permitiu definir o tempo de esgotamento de energia das baterias do *Mote* configurado com requisição e reposta a cada 2s e utilizando potencia máxima disponível do equipamento. As baterias AA ~3,1v esgotaram-se em 4 dias e 8 horas. Identificamos através deste experimento o limite de voltagem para funcionamento do *Mote* de 2,1v. Concluindo, em ambiente agrícola não é recomendado utilizar medições de RR a cada 2s, pois o esgotamento da rede será rápido tornando-se inviável a aplicação da RSSF.

Quando o Sinal RSSI apresenta o nível -91dBm ou menor, ocorre aumento de retransmissão de pacotes e perda de pacotes acima de 10% para ambas métricas. Este fato se justifica pelo tipo de modulação de sinal utilizado na RSSF (OQPSK). Como em todo tipo de modulação digital, a partir de um limiar de qualidade a comunicação é encerrada. Os experimentos realizados no capítulo 5.2 permitiu concluir uma distância satisfatória de utilização dos Motes em ambiente aberto e sem barreiras. Consideramos como satisfatória para implantação do enlace sorvedouro - estação base, em campo aberto, uma distância máxima de alcance de até 85 metros. Nesse caso, o nível de Sinal RSSI resulta maior ou igual -88 dBm e o percentual de pacotes perdidos esta abaixo de 10%.

A utilização da largura de banda do *Mote* é igual a 250kbps em nossos experimentos a máxima largura da banda utilizada foi 2,4 kbps, aproximadamente 1% da capacidade total da largura da banda. Percebemos em todos os experimentos que quando ocorrem retransmissões e perdas de pacotes aumenta bruscamente a utilização da banda.

No capítulo 5.1 é ilustrado a figura do comportamento do pacote de saúde recebido no gerente a cada 2 minutos após ligar o *Mote*, nos 5 dias de teste e leituras ocorreu uma diferença mínima de 19 segundos durante todo experimento, ou seja, uma diferença de 0,0026% não interferindo na eficiência da leitura do pacote de saúde do *mote*.

No presente trabalho, a RSSF utilizada trabalha em seu modo padrão, com o modelo de gerenciamento RR. Os nós carregam consigo uma base de informações de gerenciamento - MIB (*Management Information Base*), a qual contém informações sobre o desempenho atual do nó na RSSF. Periodicamente, os nós processam as informações contidas na MIB e as enviam

encapsuladas em pacote de saúde (*health packet*) para a estação de base e, esta por sua vez confirma o recebimento da informação através do envio de uma mensagem de confirmação (*acknowledgement*). Concluindo, pacotes de gerenciamento ou pacotes de saúde (*health packet*) possuem informações referentes à RSSI, tráfego de pacotes na RSSF e tensão residual da bateria. As informações contidas nesses pacotes são vitais para as atividades de gerenciamento da rede e é através delas que são realizados ajustes na topologia, potência do sinal de transmissão, substituição das baterias, alterações na periodicidade de aquisição de dados, e até mesmo a reprogramação completa de um ou mais nós.

Foi mostrado que nas adversas condições de uma vegetação densa, como é o caso de um canavial a distância entre os nós da rede não chega a 7 m sem que comece a retransmissão de pacotes para conseguir a comunicação, gerando aumento de consumo. Por outro lado resulta proibitivo desde o ponto de vista de custo cobrir grandes extensões de cultivo de cana colocando os nós a uma distância de apenas 6 m.

No capítulo 5.4, utilizando topologia estrela, adotado a metodologia de alteração de posicionamento do Nó Sorvedouro nas alturas 2m, 4m, 5m e 6m em relação ao solo foram obtidos novas métricas mostradas nas ilustrações e subitens do capítulo. Melhorias no alcance foram ilustradas comparando os parâmetros das medições, ou seja, dobramos a cobertura da RSSF em cultivo de Cana-de-Açúcar.

Os experimentos do subitem 5.3 considerando metodologias aplicadas por ROCCIA, 2011 com motes posicionados 0,8m em relação ao solo na aplicação em milho, pinhão e eucalipto não foram satisfatórios para aplicação em canavial considerando cobertura da RSSF. A utilização da topologia estrela com *Mote* sorvedouro resultou no aumento da cobertura, ou seja, maior alcance da rede em cultivo de Cana-de-Açúcar.

Em nossa topologia híbrida recomendamos a distância de alcance da rede em área aberta atingiu 85 m com nível de sinal abaixo de -88dBm, cenário que deverá ser utilizado no enlace MIB (Estação Base) e Sorvedouro (nó intermediário), com visada entre ambos os elementos. No enlace da 2ª camada da rede, ou seja, enlace do nó sensor até nó sorvedouro com topologia estrela e posicionamento do Sorvedouro instalado com 5 até 6 m de altura e nós sensores 0,8m de altura obtendo alcance de até 12m ilustrado na subitem 5.5.

A utilização da Largura de Banda apresentado no subitem 5.3 posicionando o nó Sorvedouro com altura 0,8m ocupa 2,4kbps da banda quando a distância entre *os motes* esta entre 7 e 8 metros quando ocorre aumento da utilização da Banda. O Sorvedouro posicionando na altura de 6 metros ilustrado na Figura 5.4.15, a utilização de 2,4kbps da Largura de Banda ocorre entre as distâncias 14 e 15 metros , concluindo, dobra-se o alcance da RSSF se considerar o parâmetro de desempenho a utilização da Largura da Banda em relação à distância entre os elementos.

O parâmetro de Qualidade do nível do link ilustrado nas Figuras 5.5.5 e 5.5.6, apresenta seu valor expresso por um número inteiro de 0 até 15 e corresponde a 0 até 100% é obtido tomando-se como base a contabilização das colisões de pacotes. Como em todo tipo de modulação digital, a partir de um limiar de qualidade a comunicação é encerrada as ilustrações demonstram a variação da qualidade do link em relação à distância dos *Motes* estando proporcional com resultados de alcance utilizando parâmetros do sinal RSSI do subitem 5.5.

A Figura 5.5.2 ilustra as variações do percentual de pacotes perdidos em relação às distâncias com sorvedouro posicionado desde 0,8m até 6 metros. Os comparativos dos percentuais de pacotes retransmitidos são ilustrados na Figura 5.5.3 e identificamos quando ocorre uma distorção acima de 10% em ambos os parâmetros, podemos considerar que o enlace sofre atenuação devido às barreiras do canal e a RSSF este sujeito a falhas com *motes* em determinados posicionamentos.

Na Figura 5.5.5 ilustra a qualidade do link no transmissor conforme variação da distância entre os *motes*. A qualidade do link apresentada no capítulo 5.1 esta representada em unidade de 0 até 15. Na distância entre os *motes* de 13 até 14 metros apenas são apresentados valores dos nós sensores com *mote* sorvedouro posicionado na uma altura de 6 e 5 metros pois não existe qualidade na comunicação referente as outras variações do posicionamento do sorvedouro.

Apresentado na Tabela 5.5 todos os valores obtidos pelos experimentos com *mote* sorvedouro posicionados até 6m de altura e nó sensor 0,8m, as curvas de ajuste das funções encontradas, apresentaram coeficiente angulares superiores a 90%.

## 6. CONCLUSÃO

O presente trabalho permite realizar três importantes conclusões:

- 1- Não se recomenda a adoção de topologia em malha com posicionamento 0,8m de altura para sensoriamento em cultivo de Cana-de-Açúcar devido que a distância máxima entre os nós não ultrapassar 6 metros, o que obrigaria a uma escalabilidade de nós tão alta, que devido ao número de elementos seria inviável implantação de uma RSSF para essa aplicação.
- 2- A topologia estrela aliada com algumas característica da topologia em malha forma uma topologia em árvore, também conhecida como topologia híbrida utilizando nós sorvedouros situados a uma altura de 5 até 6 metros, permitiria enlaces entre qualquer nó sensor e o sorvedouro, com distâncias de até 13 metros e enlaces na camada da estação base e sorvedouro de uma RSSF, com distância até 85 metros, permitindo o sensoriamento de uma maior área de cultivo com um número muito menor de elementos da rede.
- 3- Programar o mote ou nó em Modo de Energia de Alta Potência (HP) e abordagem de gerenciamento Requisição e Resposta (RR) com pacotes de saúde transmitidos a cada 2 minutos, que é a configuração padrão na maioria dos equipamentos de rede de sensores não é recomendável, já que nossas medições mostraram um esgotamento demasiado rápido da bateria em relação ao tempo de cultivo da Cana-de-Açúcar. Por outro lado, este cultivo não exige um monitoramento tão frequente, ou seja, nós sempre ligados monitorando temperatura e umidade do solo da plantação de Cana-de-Açúcar.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

AKYILDIZ, I.; SU, W.; SANKARASUBRAMANIAM, Y. E CAYIRCI, E. - **Wireless sensor networks: a survey**. In: Computer Networks: The International Journal of Computer and Telecommunications Networking, ed. Elsevier Science Publishers, v. 38, i. 4, 2002.

AKYILDIZ,I.; SU,W.; SANKARASUBRAMANIAM, Y. E CAYIRCI ,E. - **A Survey on Sensor Network.**” IEEE Communication Magazine, Portland, v 40, n. 8 , 2002.

AREZIO R.C. - **Redes de Sensores: ZigBee** . Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Curitiba-PR , 2006.

CABRINI, Fabio Henrique - **Caracterização e Análise de desempenho de uma rede de sensores sem fio**. 2006. 102p. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo , 2006.

CAMILI, A. - **Um Estudo sobre o Aspecto da Utilização de Redes de Sensores Sem Fio em Aplicações para Agricultura de Precisão**. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2004.

CONAB - **Avaliação da Safra Agrícola Cafeeira 2011** - Segunda Estimativa – Maio/2012. [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12\\_05\\_10\\_08\\_56\\_04\\_boletim\\_cafe\\_-\\_maio\\_2012.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_05_10_08_56_04_boletim_cafe_-_maio_2012.pdf) acesso maio 2012.

CEPAGRI – **Climas dos Municípios Paulistas – São José do Rio Pardo - SP**. Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura. [http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima\\_muni\\_558.html](http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_558.html) , acesso janeiro 2012.

CROSSBOW , 2007. - **CROSSBOW TECHNOLOGY** <http://www.xbow.com/corporate/news-coverage/2007.html> ,acesso junho 2011.

FAOSTAT - **Food and Agriculture Organization of the United Nations**, <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx> , acesso em novembro 2011.

GIACOMIN, J. C. - **Aplicação de uma rede de sensores sem fios como instrumento de medição de teor de água de uma cultura agrícola.** Tese de doutorando em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Minas Gerais, 2007.

GANDHIYA V.; S.V MANISEKARAN. - **A Survey on Hybrid Mobile Sensor Networks.** Information Paper ,International Journal of Recent Trends in Engineering, Vol. 1, Nº 2, Maio, 2009.

HAMERSKI F. – **Estudo de variáveis no processo de carbonatação do caldo de Cana-de-Açúcar.** Tese (Mestrado em Tecnologia de alimentos) - Universidade Federal do Paraná, 2009.

HAYKIN, S.; MOHER, M. - **Sistemas Modernos de Comunicação Wireless.** 1. ed. São Paulo: Bookman, 2008.

HEIDEMANN, J.; ESTRIN, D. - **Self-Configuring Localization Systems: Design and Experimental Evaluation;** ACM Transactions on Embedded Computing Systems, Los Angeles, vol. 3, nº 1, 2004.

IBGE - SIDRA – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. - **Tabela 1612 - IBGE,** <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl1.asp?c=1612&n=0&u=0&z=p&o=27&i=P>, acesso em dezembro de 2011.

IEEE, - **Padrão IEEE 802.15: Wireless Personal Area Networks.** 1999, Instituto dos Engenheiros Elétricos e Eletrônicos , <http://www.ieee802.org/15> acesso em dezembro de 2011.

IEEE Standard 802.15.4: Part 15.4: - **Wireless medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications for low-rate Wireless Personal Area Networks (WPANs).** IEEE Computer Society. Ano 2007. <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.15.4a-2007.pdf> acesso em junho de 2011

INTANAGONWIWAT, C., GOVINDAN, R., ESTRIN, D. - **Directed Diffusion: A Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Networks.** In: Proceedings of the 6th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking - MobiCom'00, ed. ACM Press, p. 56-67, 2000

JORGITO S., ANTONIO J. G. P., REZENDE F. - **Proposta e Avaliação de um Mecanismo de Agregação de Dados em Redes de Sensores**. Artigo do Grupo de Teleinformática e Automação (GTA) e Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) , 2009.

LOUREIRO, RUIZ A., NOGUEIRA, J, MINI, R., et al. - **Rede de Sensores Sem Fio** . In: 21º Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores, p. 179-226, 2003.

MILLER, M.J.; VAIDYA, N.H. - **A MAC Protocol to Reduce Sensor Network Energy Consumption Using a Wakeup Radio**. IEEE Transactions on Mobile Computing, Portland, vol. 4, p. 228-242. n. 3, May-June, 2005.

MOTECONFIG, 2007 - **Moteconfig User's Manual**. EUA.  
[www.memsic.com/support/documentation/wireless-sensor-networks/category/6-user-manuals.html](http://www.memsic.com/support/documentation/wireless-sensor-networks/category/6-user-manuals.html) , acesso 21 junho 2011.

MPR/MIB, 2007. - **MPR/MIB User's Manual**. EUA.  
<http://www.cs.ucsb.edu/~nchohan/docs/moteManual.pdf> , acesso 21 junho 2011.

MTS/MDA, 2007. **MTS/MDA User's Manual**. EUA.  
<http://www.cs.ucsb.edu/~nchohan/docs/moteManual.pdf> , acesso 21 junho 2011.

PERKINS, C. - **Ad hoc networks**, Addison-Wesley, Reading, MA, 2000.

PODEROSO, F.; SOBRAL, V. A.; LIMA, R. N.; OLIVEIRA, A. - **Rede Zigbee Aplicada à Medição em Agricultura**. Universidade Federal da Bahia - in: VIII Semetro, Anais. Junho, 2009.

ROCCIA C.J., - **Avaliação de desempenho de uma Rede de Sensores Sem Fio Aplicada em cultivos de milho, pinhão e eucalipto**. FT – Universidade Estadual de Campinas. Dissertação de Mestrado, 2011.

RUIZ, L., CORREIA, L., VIEIRA, L., ET AL. - **Arquiteturas para Redes de Sensores Sem Fio**. Apresentado no 22º Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores, p. 167-218, 2004.

SARAIVA, A. M. - **Tecnologia da Informação na Agricultura de Precisão e Biodiversidade: Estudos e Proposta de Utilização de Web Services para Desenvolvimento e Integração de Sistemas.** Tese (Livre docência), Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2003.

SILVA, F. A., 2006. - **Avaliação de Abordagens de Gerenciamento para Redes de Sensores Sem Fio.** Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG. Dissertação: Mestrado em da Computação , 2006.

STEFAN V. D. M., MEIK H. AND GEORG B. - **Design Concepts and First Implementations for 24 GHz Wireless Sensor Nodes.** In: JOURNAL OF COMMUNICATIONS, Vol. 2, 2007.

TILAK, S., ABU-GHAZALEH, N., HEINZELMAN, W. - **A Taxonomy of Wireless Micro-Sensor Network Models.** In: ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review, ed. ACM Press, v. 6, i.2, p. 28-36, Abril de 2002.

UNICA - **Política de biocombustíveis na China e etanol brasileiro.** <http://www.unica.com.br> , União da Indústria de Cana-de-Açúcar, acesso 1º semestre 2012.

YICK, J.; MUKHERJEE, B.; GHOSAL, D. - **Wireless sensor network survey.** Department of Computer Science, University of California, Davis, CA 95616, United States, 2009.

XMESH, 2007. **XMesh User's Manual.** EUA. <http://www.memsic.com/support/documentation/wireless-sensor-networks/category/6-user-manuals.html> Acesso 01 junho 2011.

XSERVE, 2007. **XSever User's Manual.** EUA. <http://www.memsic.com/support/documentation/wireless-sensor-networks/category/6-user-manuals.html> Acesso 01 junho 2011.

ZIGBEE, 2011 - **ZigBee Alliance.** EUA, <http://www.zigbee.org/> , acesso em junho , 2011.

## ANEXO A

### A.1 INSTALAÇÃO E CONFIGURAÇÃO DO *MOTE* DA ESTAÇÃO DE BASE E *MOTES* DOS NÓS SENSORES

Neste capítulo, descrevemos os procedimentos e tramites necessário para configuração e utilização dos *Motes*. Subitem A.1 demonstra os tramites de configuração e programação no Mote utilizado na MIB 520 após instalação dos programas Moteview, Postgre e drivers descrito nos manuais do kit da Crossbow. A Estação de base é composta de duas interfaces gateway, sendo que uma executa as atividades de gerenciamento da rede através do Moteview 2.0.

Uma vez que todos os programas estão corretamente instalados, execute o Moteconfig 2.0. Após o carregamento do programa, será apresentada a tela da Figura A.1 nesta tela, deverá seguir conforme programação A.1.1 Programação do *Mote* acoplado na MIB e A.1.2 Programação dos *Motes* ou nós.

#### A.1.1 PROGRAMAÇÃO DO *MOTE* ACOPLADO NA ESTAÇÃO DE BASE

Para realizar a instalação do programa utilizado no *mote* acoplado na estação de base, certifique-se de que todos os programas que acompanham a rede estejam corretamente instalados, conforme orientações dos manuais da Crossbow.

1. Selecionar o programa XMESHBASE\_M2110\_HP.exe. Este arquivo pode ser encontrado em “C:\Arquivos de programas\Crossbow\MoteView\xmesh\iris\xmeshbase\”. Arquivo utilizado nos *Motes* para modos de Energia HP e LP.
2. Na caixa de combinação identificada como NODE ID, digitar o valor 0 (zero). A estação base deverá obrigatoriamente ser identificada como 0.
3. Na caixa de combinação identificada como GROUP ID, pode-se digitar um valor de 1 a 255. Este valor deverá ser o mesmo para toda a rede, pois indica o grupo de trabalho desta rede.

4. No grupo de opções de rádio, selecionar a potência de rádio e o canal de rádio frequência desejados.
5. Com o *mote* XM2110 conectado a MIB520, clicar no botão de comando PROGRAM. Aguarde a mensagem de SUCCESS!

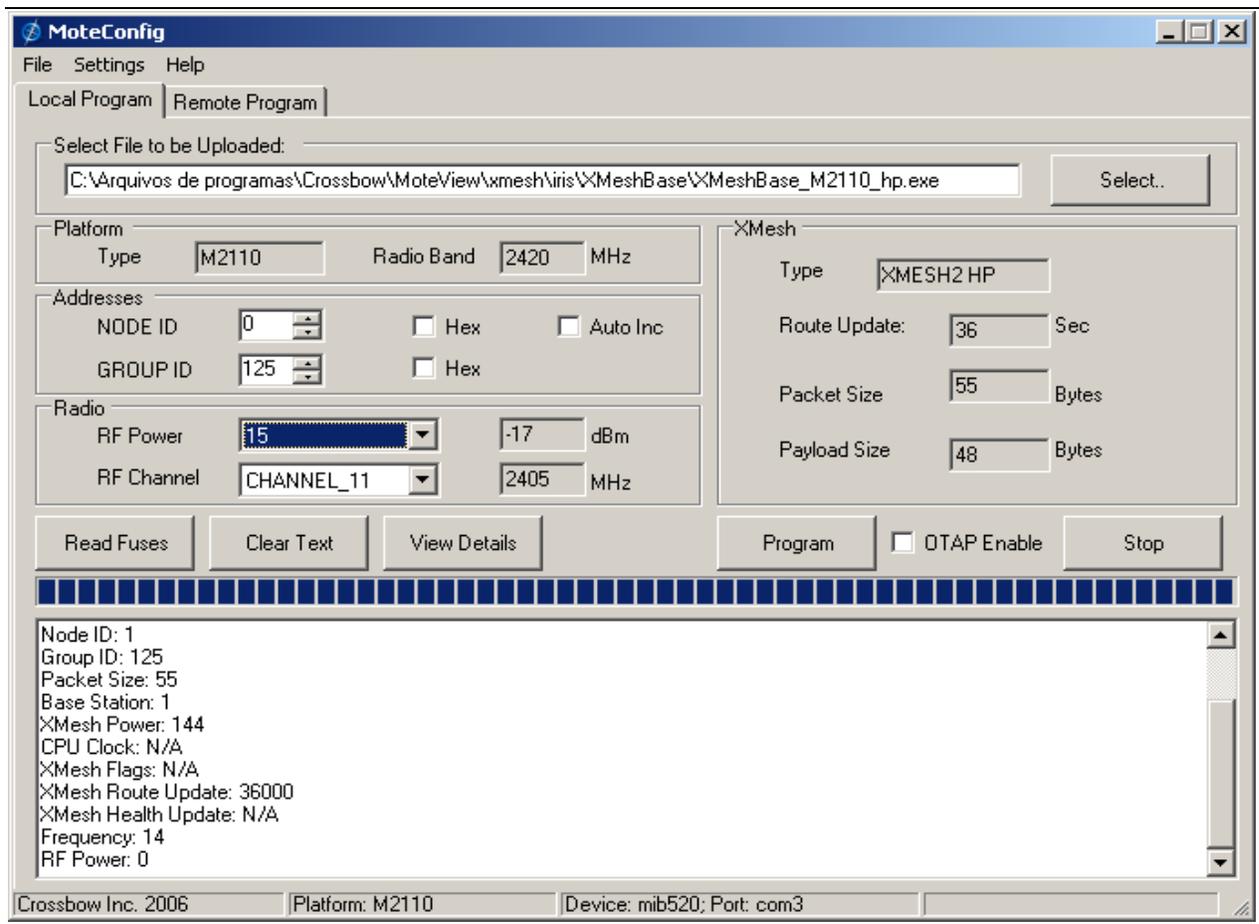


Figura A.1 – Tela do Moteconfig 2.0 com as configurações para a estação de base de gerenciamento.

### A.1.2 INSTALAÇÃO DOS PROGRAMAS NOS *MOTES*

A instalação dos programas nos nós sensores pode ser feita da seguinte maneira. Com o Moteconfig em execução, seguir a sequência abaixo.

1. Selecionar o programa XMDA300\_M2110\_hp.exe (se for utilizar modo de energia HP) ou XMDA300\_M2110\_lp.exe (se for utilizar modo de energia LP). Este arquivo pode ser encontrado em “C:\Arquivos de programas\Crossbow\MoteView\xmesh\iris\MDA300”.
2. Na caixa de combinação identificada como NODE ID, digite um valor diferente de 0(zero), pois o valor zero é atribuído para ID do Mote acoplado na MIB.
3. Na caixa de combinação identificada como GROUP ID, deverá ser digitado o mesmo valor usado para a configuração da estação de base de gerenciamento.
4. No grupo de opções de rádio, selecione a mesma potência de rádio e o mesmo canal de rádio frequência configurados para a estação de base de gerenciamento.
5. Com o mote XM2110 conectado a MIB520, clicar no botão de comando PROGRAM. Aguarde a mensagem de SUCCESS! A Figura A.2.1 ilustra a tela do Moteconfig 2.0 com as configurações para os nós sensores.

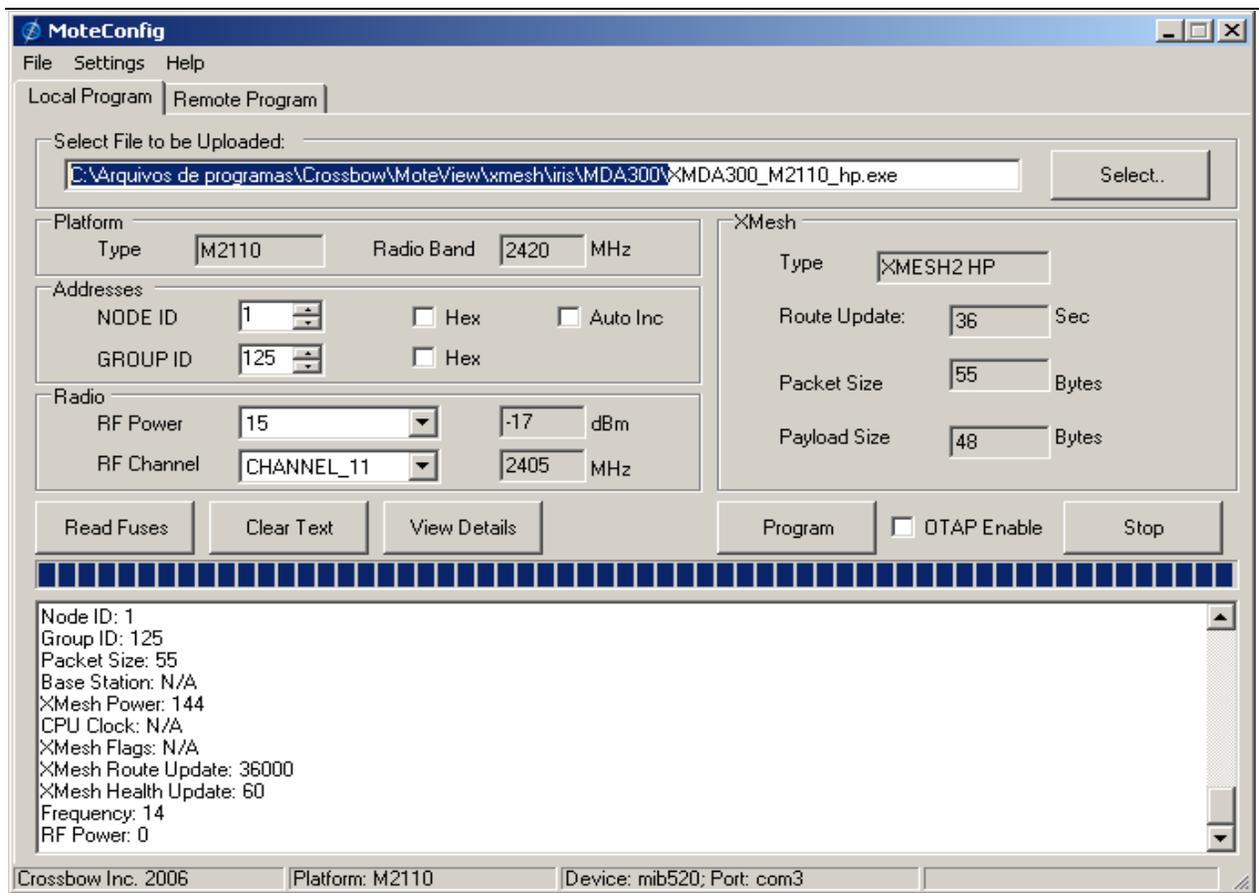


Figura A.2 - Tela do Moteconfig 2.0 com as configurações para os nós sensores.