

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE MONITORAMENTO
DE PRODUÇÃO AVÍCOLA UTILIZANDO REDE DE
SENSORES SEM FIO**

EDUARDO FERNANDES NUNES

CAMPINAS
Fevereiro 2008

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE MONITORAMENTO
DE PRODUÇÃO AVÍCOLA UTILIZANDO REDE DE
SENSORES SEM FIO**

Dissertação de mestrado submetida à
banca examinadora para obtenção do título
de mestre em Engenharia Agrícola na área
de concentração em Máquinas Agrícolas

EDUARDO FERNANDES NUNES
Orientador: Professor Dr. Nelson Luis Cappelli
Co-Orientador: Pesquisador Dr. Claudio Kiyoshi Umezu

CAMPINAS
Fevereiro 2008

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE -
UNICAMP

N922d Nunes, Eduardo Fernandes
Desenvolvimento de sistema de monitoramento de
produção avícola utilizando rede de sensores sem fio /
Eduardo Fernandes Nunes. --Campinas, SP: [s.n.], 2008.

Orientadores: Nelson Luis Cappelli, Claudio Kiyoshi
Umezu.

Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Frango de corte. 2. Sistemas de comunicação sem
fio. 3. Instrumentação e controle. I. Cappelli, Nelson
Luis. II. Umezu, Cláudio Kiyoshi. III. Universidade
Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia
Agrícola. IV. Título.

Titulo em Inglês: Development of monitoring system of poultry production
using wireless sensor network

Palavras-chave em Inglês: Broilers (chickens), Control instrumentation,
Wireless communication systems

Área de concentração: Máquinas Agrícolas

Titulação: Mestre em Engenharia Agrícola

Banca examinadora: Omar Carvalho Branquinho, Barbara Janet Teruel
Mederos

Data da defesa: 28/02/2008

Programa de Pós Graduação: Engenharia Agrícola

Este exemplar corresponde à redação final da **Dissertação de Mestrado** defendida por **Eduardo Fernandes Nunes**, aprovada pela Comissão Julgadora em 28 de fevereiro de 2008, na Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas.



**Prof. Dr. Nelson Luis Cappelli - Presidente
FEAGRI/UNICAMP**



**Prof. Dr. Omar Carvalho Branquinho - Membro Titular
PUCCAMP**



**Prof.ª Dr.ª Bárbara Janet Teruel Mederos - Membro Titular
FEAGRI/UNICAMP**

Faculdade de
Engenharia Agrícola
Unicamp

*Aos meus pais
Ricardo João Nunes e
Luci Helena da Cunha Fernandes
dedico este trabalho.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho, e em especial:

- A CAPES pela bolsa concedida;*
- Ao meu orientador Prof. Dr. Nelson Luis Cappelli e ao meu co-orientador Dr. Claudio Kiyoshi Umezu pela orientação, oportunidade, incentivo e paciência;*
- Ao professor Dr. Omar Carvalho Branquinho pelas valiosas contribuições neste trabalho e, em especial, pela ajuda e companheirismo em todas as etapas de minha vida acadêmica e profissional;*
- À Faculdade de Engenharia Agrícola pela oportunidade concedida;*
- Ao Marcos Valle e à Prof. Dr. Daniella Moura pelas valiosas contribuições;*
- A granja Moretto pela gentileza em ceder as instalações para os testes de campo;*
- Aos amigos do Laboratório de Instrumentação e Controle: Francisco Filho e Angel Pontin pela ajuda na realização deste trabalho;*
- Ao pessoal da Expertise Engenharia pelas valiosas contribuições;*
- Aos amigos Rafael Cardoso, Ana Elisa, Fernanda D'andrea, Rodrigo Frandsen, Vitor Hugo, Mirela Figueiredo e André Werner pelas valiosas contribuições e paciência.*

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	VII
LISTA DE TABELAS.....	VIII
LISTA DE SIGLAS.....	IX
RESUMO	X
ABSTRACT	XI
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1. AVICULTURA DE CORTE	7
3.2. AS RSSF NA AGRICULTURA.....	11
3.3. REDES DE DADOS SEM FIO.....	15
3.3.1. WWAN – <i>Wireless Wide Area Network</i>	17
3.3.2. WMAN – <i>Wireless Metropolitan Area Network</i>	17
3.3.3. WLAN – <i>Wireless Local Area Network</i>	18
3.3.4. WPAN – <i>Wireless Personal Area Network</i>	18
3.3.5. <i>Arquiteturas 802.15.4</i>	18
3.3.6. <i>Acesso e Modulação IEEE 802.15.4</i>	19
3.3.7. <i>Propagação de Sinais</i>	22
3.3.8. <i>Transmissão Digital</i>	23
3.4. PREDIÇÃO DE SINAIS DE RF.....	24
3.4.1. <i>Modelos Determinísticos</i>	25
3.4.2. <i>Modelos Empíricos/Estatísticos</i>	25
4. MATERIAL E MÉTODOS	27
4.1. MATERIAIS	28
4.2. CONCEPÇÃO E ESPECIFICAÇÃO DA RSSF.....	29
4.2.1. <i>Plataforma de monitoramento</i>	32
4.2.2. <i>Concentrador</i>	32
4.3. DISPOSITIVO ZIGBEE.....	33
4.4. INTERFACE TCP/IP	37
4.5. MEDIÇÃO DE POTÊNCIA RECEBIDA E SNR	38
4.6. SIMULAÇÃO DOS SENSORES	39
4.7. CARACTERIZAÇÃO DA GRANJA ATRAVÉS DO MODELO DE SHADOWING	40
4.8. AVALIAÇÃO ECONÔMICA	41
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
5.1. INTEGRAÇÃO DOS COMPONENTES.....	43
5.2. FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA MEDIÇÃO DE POTÊNCIA RECEBIDA	44
5.3. CARACTERIZAÇÃO DA GRANJA.....	46
5.4. PLANEJAMENTO DA RSSF	53
5.4.1. <i>Alocação de Canais</i>	56
5.4.2. <i>Profile de configuração da rede</i>	59
5.4.2. <i>Guia de planejamento de RSSF</i>	60
5.5. AVALIAÇÃO ECONÔMICA DO PROTÓTIPO	62
6. CONCLUSÕES.....	65
7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	66
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – AGROPECUÁRIA ATUAL E A DEMANDA DE INFORMAÇÃO	1
FIGURA 2 – GANHOS COM AS NOVAS TÉCNICAS NA PRODUÇÃO DE AVES.....	10
FIGURA 3– RSSF EM PLANTACÃO DE ALFACE.....	13
FIGURA 4 – REDE LONWORKS INTEGRADA A TCP/IP	14
FIGURA 5 – PILHA INTERNET.....	15
FIGURA 6 – CLASSIFICAÇÃO DAS REDES SEM FIO.....	16
FIGURA 7 – ARQUITETURAS ZIGBEE.....	19
FIGURA 8 – MODULAÇÃO 802.15.4.....	20
FIGURA 9 – ESPALHAMENTO ESPECTRAL NO CANAL 12 DO ZIGBEE	21
FIGURA 10 – CANAIS 802.15.4.....	21
FIGURA 11- METODOLOGIA DE TRABALHO	27
FIGURA 12 – ARQUITETURA DA RSSF PROPOSTA.....	31
FIGURA 13 – ARQUITETURA DA PLATAFORMA DE MONITORAMENTO.....	32
FIGURA 14– ARQUITETURA DO CONCENTRADOR.....	33
FIGURA 15 – KIT DE DESENVOLVIMENTO ZIGBEE.....	34
FIGURA 16 – PILHA DE PROTOCOLO 802.15.4 / ZIGBEE	35
FIGURA 17 – CAMADA DE APLICAÇÃO DO XBEE.....	35
FIGURA 18 – SINTAXE DO COMANDO AT.....	36
FIGURA 19 – TRANSMISSÃO DE UM BYTE PELA PORTA SERIAL	36
FIGURA 20 – DIAGRAMA DE BLOCOS FUNCIONAIS DO XBEE.....	37
FIGURA 21 - CONVERSOR SERIAL/WI-FI DA DIGI	38
FIGURA 22 – INTEGRAÇÃO DAS PILHAS DE PROTOCOLOS.....	43
FIGURA 23 – COMPONENTES INTEGRADOS	44
FIGURA 24 – ALGORITMO PARA MEDIÇÃO DE POTÊNCIA	45
FIGURA 25 – TELA DO SOFTWARE REGISTRADOR DE POTÊNCIA DE RECEPÇÃO.....	46
FIGURA 26 – GALPÃO DE AVES ONDE FORAM REALIZADOS OS ENSAIOS	46
FIGURA 27 – DISPOSIÇÃO DOS COMEDOUROS E BEBEDOUROS	47
FIGURA 28 – POSICIONAMENTO DAS LINHAS DE MEDIÇÃO NO GALPÃO	48
FIGURA 29 – DISPOSITIVOS XBEE DENTRO DA GRANJA, CONECTADO AO COMPUTADOR (ESQUERDA) E DISPOSITIVO MÓVEL (DIREITA)	48
FIGURA 30 – GRÁFICO DE VARIAÇÃO DA SNR PELA DISTÂNCIA NA LONGITUDINAL	49
FIGURA 31 - GRÁFICO DE VARIAÇÃO DA SNR PELA DISTÂNCIA NA DIAGONAL	51
FIGURA 32 – CURVA CARACTERÍSTICA DA GRANJA.....	52
FIGURA 33 – TAXA DE ERRO DE BIT PELA SNR PARA IEE 802.15.4 (ADAPTADO DE 802.15.4, 2003).....	52
FIGURA 34 - DISPOSIÇÃO DAS PLATAFORMAS DE MONITORAMENTO NO GALPÃO.....	54
FIGURA 35 - DISPOSIÇÃO DAS PLATAFORMAS DE MONITORAMENTO NA PRIMEIRA FASE DA ENGORDA	55
FIGURA 36 – RUÍDO NORMALIZADO PRESENTES NOS 16 CANAIS	57
FIGURA 37 – ALOCAÇÃO DE CANAIS	57
FIGURA 38 – REUSO DE CANAIS NOS GALPÕES	59
FIGURA 39 – GUIA DE PLANEJAMENTO DE RSSF.....	61

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – VALORES MÉDIOS DE POTÊNCIA RECEBIDA, RUÍDO DETECTADO E SNR PARA DIFERENTES DISTÂNCIAS NA LONGITUDINAL.....	49
TABELA 2 - VALORES MÉDIOS DE POTÊNCIA RECEBIDA, RUÍDO DETECTADO E SNR PARA DIFERENTES DISTÂNCIAS NA DIAGONAL.....	50
TABELA 3 - AJUSTES DE POTÊNCIA PARA AS DISTÂNCIAS OBTIDAS DAS	54
TABELA 4 – AJUSTES DE POTÊNCIA PARA AS DISTÂNCIAS OBTIDAS EM CONFINAMENTO DAS	55
TABELA 5 – RUÍDO MÉDIO E RUÍDO NORMALIZADO.....	56
TABELA 6 – PROFILE DE CONFIGURAÇÃO DA REDE.....	60
TABELA 7 – CUSTO DO PROTÓTIPO	63
TABELA 8 - VALOR AGREGADO	63
TABELA 9 – PERSPECTIVA DE RETORNO DO CAPITAL.....	64

LISTA DE SIGLAS

BER – *Bit Error Ratio*

CSMA-CA – *Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*

DSSS – *Direct Sequency Spread Spectrum*

IEEE – *Institute of Electrical and Electronics Engineers*

MAC – *Media Access Control*

MAPA – *Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

OPC – *OLE for Process Control*

OQPSK – *Offset Quaternary Phase Shift Keying*

PER – *Packet Error Ratio*

PIF – *Produção Integrada de Frutas*

RF – *Rádio Frequência*

RFID – *RadioFrequency Identification*

RSSF – *Rede de Sensores Sem Fio*

SCADA – *Supervisory Control and Data Acquisition Systems*

SISBOV – *Serviço de Rastreabilidade da Cadeia Produtiva de Bovinos e Bubalinos*

SNR – *Sinal Noise Ratio*

TCP/IP – *Transmission Control Protocol / Internet Protocol*

WLAN – *Wireless Local Area Network*

WMAN – *Wireless Metropolitan Area Network*

WPAN – *Wireless Personal Area Network*

WSN – *Wireless Sensor Network*

WWAN – *Wireless Wide Area Network*

RESUMO

Nota-se cada vez mais necessária a otimização da produção agropecuária devido às pressões econômicas ou ambientais impostas por mercados globais. Com a finalidade de aumentar a eficiência dos processos de produção agrícola tem-se a necessidade de exercer um maior controle nos procedimentos adotados, em especial, nas granjas de engorda de frango. O desenvolvimento de sistemas de controle e monitoramento baseados em Rede de Sensores Sem Fio (RSSF) constitui uma alternativa de comunicação para granjas, devido as características de mobilidade destas redes.

O desenvolvimento do sistema de monitoramento para produção avícola baseado em RSSF realizado neste trabalho procurou estabelecer uma relação de compromisso entre a demanda de aplicações nacionais, a compatibilidade com padronizações internacionais já existentes e preços acessíveis ao setor agropecuário brasileiro. Metodologicamente, realizou-se a predição de sinais de radiofrequência em uma granja de frango de corte, assim como planejou-se a alocação de canais. A tecnologia utilizada foi a Zigbee, com IEEE 802.15.4 compondo a camada física e de enlace. Para automatizar a leitura de potências foi desenvolvido um software em linguagem Delphi e, para a predição de sinais de RF (Radiofrequência), foi utilizado o modelo *Shadowing* adaptado. Todos os testes foram realizados na Granja Moretto, no Município de Tuiuti, estado de São Paulo, Brasil. Os resultados deste trabalho indicam que a tecnologia Zigbee é apropriada, sob a perspectiva de propagação de sinais, para implementar RSSF em granjas de frango de corte.

PALAVRAS-CHAVE: Frango de corte, Sistemas de comunicação sem fio, Instrumentação e controle.

ABSTRACT

It is increasingly necessary to optimize the agricultural production due to environmental or economic pressures imposed by global markets. Aiming at increasing the efficiency of agricultural production come the need to exert greater control in the procedures adopted, especially in poultry barns. The development of control and monitoring systems based on Wireless Sensors Network Sensors (WSN) is an alternative form of communication for barns, due to the mobile characteristics of these networks.

The development of the monitoring system for poultry production based on WSN performed on this work sought to establish a compromise relationship among the demands of national applications, compatibility with the existing international standardizations and affordable prices to the Brazilian agricultural sector. Methodologically, was made a radiofrequency site survey in a poultry barn, as well as channels allocation planning. The wireless technology used was Zigbee, with standard IEEE 802.15.4 setting up the physical layer and link layer. To automate the powers measurement a Delphi language software was developed and, for the site survey, was used an adjusted model of the Shadowing. All tests were performed in the Moretto's poultry Barn, in the city of Tuiuti, state of Sao Paulo, Brazil. The results of this study indicate that Zigbee technology is appropriate, from the perspective of signals propagation, to implement WSN in poultry barn.

KEY-WORDS: Broilers (chickens), Control instrumentation, Wireless communication systems

1. INTRODUÇÃO

Hoje no Brasil é notória a crescente demanda por tecnologias que agregam valor ao produto agropecuário e agroindustrial. A rastreabilidade de alimentos vegetais e animais, o manejo de culturas e rebanhos de forma mais eficaz com o conceito de agricultura e zootecnia de precisão, a climatização de ambientes produtivos, a preservação e qualidade do meio ambiente onde são produzidos e, finalmente, o controle dos processos de maneira mais eficaz, são os principais exemplos desta tendência.

Para que a agropecuária brasileira alcance o patamar de excelência, agregando valor ao produto, é necessária uma maior quantidade e, principalmente, qualidade de informação, para subsidiar o controle dos processos e a tomada de decisão.

A Figura 1 sintetiza o contexto vivenciado pela agropecuária de hoje, no qual exigências de mercado e o uso racional dos recursos pressionam o setor a agregar valor ao seu produto com novas técnicas e tecnologias de produção.



Figura 1 – Agropecuária atual e a demanda de informação

O contexto descrito na Figura 1, os sensores são essenciais, realizando a mensuração das grandezas físicas intrínsecas e relacionadas aos processos, transformando-as para sinais elétricos processáveis e inteligíveis a um sistema de controle e/ou a um sistema de gestão.

Porém, entre a mensuração e o processamento das informações existe uma etapa que vem se mostrando um dos principais obstáculos, qual seja, a transmissão de dados, principalmente no que se referem à determinação da forma, protocolos e meios físicos utilizados para o tráfego dos dados de maneira a atender às necessidades do sistema, com custos acessíveis.

Atualmente existem diversas tecnologias de rede de informação no mercado, muitas se apresentam como a solução para todo e qualquer tipo de aplicação. Entretanto, sabe-se que a escolha de uma rede apropriada demanda um estudo detalhado da aplicação. Este estudo quando bem feito e comparado com o que cada tecnologia realmente oferece mostra que a concepção de uma rede apropriada, na maioria dos casos, não pode ser atendida com apenas uma tecnologia.

A utilização de soluções comerciais, consagradas na indústria, nem sempre é viável na agricultura, principalmente devido ao alto custo. Diversas atividades agropecuárias exigem uma mobilidade dos sensores ou então apresentam dificuldades de cabeamento nas instalações existentes. Neste contexto, a tecnologia de Rede de Sensores Sem Fio (RSSF) ganha mérito, pois é especificamente concebida para sensoriamento e, por usar transmissão sem fio possui características de mobilidade, o que possibilita acesso a pontos críticos, além disso, tem a característica da escalabilidade, ou seja, está preparada para ser ampliada.

Como a tecnologia RSSF é recente e as pesquisas se encontram em fase embrionárias, não existe um consenso técnico e muito menos mercadológico sobre o padrão que irá se difundir, de maneira que se configura uma ótima oportunidade para criar uma tecnologia nacional, que realmente pode vir a responder as demandas do setor agropecuário, com preços acessíveis.

É essencial, portanto, a realização de pesquisas nesta linha de desenvolvimento visando agregar valor ao produto agropecuário brasileiro.

2. OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver um sistema de monitoramento para produção avícola baseado em RSSF, estabelecendo uma relação de compromisso entre a demanda de aplicações nacionais, a compatibilidade com padronizações internacionais já existentes e preços acessíveis ao setor agropecuário brasileiro.

Como objetivos específicos têm-se:

- Especificar RSSF apropriada a uma granja de frangos de corte;
- Caracterizar a granja quanto às questões de disposição física e de propagação de sinais da RSSF;
- Planejar a RSSF, para seguintes aspectos: alocação de canais, potências de transmissão e posição física dos dispositivos;
- Desenvolver ferramenta computacional para medir potência de sinal;
- Elaborar guia de planejamento de RSSF em granjas de frango de corte;
- Fazer avaliação econômica da solução proposta.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nota-se cada vez mais necessária a otimização da produção agropecuária devido à pressões econômicas ou ambientais impostas por mercados globais.

Com a finalidade de aumentar a eficiência dos processos de produção agrícola tem-se a necessidade de exercer um maior controle, dentre outros, nos procedimentos adotados nas lavouras, nas *packing-houses*, nas granjas e nas estufas.

A rastreabilidade de alimentos vegetais e animais, o manejo de culturas e rebanhos de forma mais eficaz com o conceito de agricultura e zootecnia de precisão, a climatização de ambientes produtivos e a preservação e qualidade do meio ambiente onde se produz exigem um controle de processos de maneira mais eficaz. E entendendo o controle como um fluxo ordenado de informação regido pela tomada de decisão, pode-se dizer que sem rede de informação não há controle, seja esta rede verbal, escrita ou eletrônica.

A locomotiva desta tendência são os mercados consumidores, que estão cada vez mais exigentes quanto à origem e qualidade dos produtos e quanto à segurança alimentar.

O interesse crescente dos consumidores acerca dos perigos relacionados aos alimentos receberam atenção crescente durante a última década. Por isso, a importância em se garantir a qualidade e a segurança de alimento aos consumidores, surgiu como questão estratégica para a indústria, varejo e para os órgãos públicos (MACHADO e NANTES, 2004, p.25).

Uma das soluções encontradas no campo para atender estas exigências é a rastreabilidade da produção vegetal e animal. No Brasil podemos destacar o Serviço de Rastreabilidade da Cadeia Produtiva de Bovinos e Bubalinos (SISBOV) e a Produção Integradas de Frutas (PIF) como os maiores exemplos desta tendência. Entretanto os benefícios destas técnicas vão além das demandas de mercado, segundo Machado e Nantes (2004, p.4), “um ganho importante decorrente da implantação de rastreabilidade refere-se a melhoras na gestão das propriedades, uma vez que as informações obtidas no processo podem e devem ser utilizadas para as tomadas de decisão do produtor”.

A adoção ao SISBOV tornou-se compulsória após a epidemia de aftosa em 2006 no país, já a adesão a PIF é voluntária, e segundo Andrigueto e Kososki (2005, p2), “a adoção do Sistema de Produção Integrada de Frutas-PIF evoluiu em curto espaço de tempo, tomando conta de muitas áreas existentes em países tradicionais de produção de frutas.” Ou seja, o monitoramento do sistema e a organização de uma base informacional são fundamentais no sucesso da Produção Integrada de Frutas.

Em maior escala de abrangência, envolvendo não só o setor produtivo mais também a distribuição, armazenamento, processamento e comercialização o MAPA (Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento) em uma de suas linhas de atuação também enfatiza a importância do fluxo ordenado das informações da fruticultura e prevê a criação de um:

Sistema de integração e qualificação da informação comercial e tecnológica: objetiva a implementação de infra-estrutura em tecnologia da informação, capaz de gerar informações qualificadas, como insumo tecnológico para sistemas de produção, comércio e de gestão em processos integrados de tomada de decisão; o sistema, conectado em redes local e a distância, deverá propiciar condições necessárias à integração de ações entre os principais agentes da cadeia das frutas, como os setores de produção, distribuição, armazenamento, processamento, geração tecnológica, mercadologia e finanças (MAPA, 2007, p. 17).

Apesar desta mobilização em prol da geração e qualificação da informação, desde o Ministério até os mercados consumidores, ainda existem algumas barreiras a serem superadas:

A maioria dos sistemas de rastreabilidade nas cadeias agroalimentares do Brasil ainda estão em fase inicial de implantação. Ainda é bastante falha a tecnologia aplicada, as técnicas de controle e o monitoramento ao longo das cadeias. Além disso, o assunto não está bastante divulgado e esclarecido aos diversos segmentos, o que tem gerado uma série de dificuldades na implementação do sistema de rastreabilidade (IBA et al., 2003, p.78).

Como Iba et al. (2003) cita no parágrafo anterior as tecnologias aplicadas de controle e monitoramento na rastreabilidade ainda são bastantes falhas.

Na agricultura de precisão também já se detectou a importância das tecnologias de informação utilizadas, segundo Lima (2006, p.42):

Implementação da agricultura de precisão depende do desenvolvimento tecnológico para coletar e utilizar a grande quantidade de dados requeridos para se entender a variabilidade espacial da produtividade da lavoura e os fatores que a influenciam.

Também segue esta tendência a produção animal em ambientes protegidos, Silva e Nääs (2005), em um estudo para correlacionar a frequência de acesso ao bebedouro e as condições do ambiente colocam que:

A identificação animal faz parte do sistema de produção e apresenta grande importância, pois possibilita a coleta de informações inerentes ao indivíduo. Com essas informações, é possível trabalhar as variáveis do ambiente e correlacioná-las aos elementos de uma população de forma individual ou coletiva.

Já Hamrita et al. (1998) investigaram o uso de biotelemetria, medindo a temperatura interna das aves para compreender melhor o conforto animal. Ou seja, além das grandezas físicas do meio onde se produz, também está sendo monitorada a fisiologia do animal.

Nesta mesma linha de investigação Pandorfi (2002) coloca que o sistema de análise de imagens é um dos melhores métodos para avaliar o comportamento e conforto animal, pois permite correlacionar a distribuição dos animais com variáveis ambientais.

Enfim, a produção animal em ambientes protegidos ganha uma nova dimensão, a gestão passa a ter subsídios não só das grandezas ambientais, mas como também da fisiologia do animal e do comportamento individual e coletivo. Na prática isso significa uma grande variabilidade de sensores, desde sensores de temperatura ambiente a câmeras de vídeo e biosensores, que significa também que dados de diferentes naturezas irão trafegar em uma mesma rede.

Para coletar essa gama de dados de sensores diferentes, pode-se observar exemplos em várias aplicações nas quais aparecem soluções de redes mal concebidas e que não utilizam todo o potencial de cada tecnologia ou que não atendem por inteiro as necessidades da

aplicação. Nos processos agropecuários pode-se observar isso com mais frequência, pois a maioria das redes nasceu por demanda dos setores industrial, energético ou petroquímico, ou seja, as aplicações agropecuárias nunca foram as propulsoras da inovação tecnológica para redes de dados.

As tecnologias consagradas na indústria, aplicadas na agropecuária, apesar da sua robustez e confiabilidade, trabalham com uma eficácia muito baixa, por uma razão principal: a demanda de dados não foi adequadamente dimensionada, optando-se pela adaptação de uma tecnologia, resultando em sistemas complexos, com custos elevados e inviáveis para o setor.

De acordo com a avaliação de Gaidzinski (2003, p.86):

Está consolidado hoje na indústria brasileira os sistemas SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition Systems*), que controlam e gerenciam a aquisição das informações de chão de fábrica e alimentam, através de protocolos OPC (*OLE for Process Control*), o sistemas de gerenciamento empresarial do tipo MES (*Manufacturing Execution Systems*).

Nos ambientes de produção animal e vegetal controladas existem soluções adaptadas destas tecnologias da indústria, Fontes et al. (2004) descrevem um sistema de supervisão e controle para casas de vegetação utilizando RSSF baseado em um sistema SCADA comercial, o Elipse-pro, que tecnicamente atende a demanda, porém o custo deste sistema comercial inviabiliza a sua utilização por produtores de pequeno e médio porte.

Diante deste contexto, algumas soluções estão sendo concebidas especificamente para o setor agroindustrial, como Landi e Cugnasca (2006) relatam, existem algumas padronizações como a ADIS (*Agricultural Data Intenchange Syntax*) e sistemas FMIS (*Farm Management Information System*) desenvolvidas ou em desenvolvimento.

3.1. Avicultura de Corte

Na avicultura de corte é grande a importância das condições ambientais que as aves são submetidas, a concentração de animais e os índices de produtividade necessários para que o empreendimento seja viável fazem com que variações ambientais influenciem em muito no resultado final para o produtor.

As instalações avícolas no Brasil possuem, normalmente, um baixo isolamento térmico, principalmente na cobertura, e a ventilação natural é o meio mais utilizado pelos avicultores para a redução de altas temperaturas nos aviários, fazendo com que as condições ambientais internas se mantenham altamente sensíveis às variações diárias na temperatura externa, e conseqüentemente resultando na ocorrência de altas amplitudes térmicas diárias (MOURA, 2001, p.2).

Condições ambientais adversas fazem com que índices como a conversão alimentar diminua e, segundo Sevegnani (2005), a eficiência na produção de frangos de corte é afetada pelo estresse calórico. Seu efeito é economicamente significativo, apesar da duração variável desse estado de estresse, dependendo das condições ambientais. O mesmo enfatiza também que o próprio desenvolvimento das aves aquece o ambiente, pois a temperatura corporal dos frangos aumenta com o consumo de alimentos, com a taxa de crescimento e a eficiência alimentar. Ou seja, diversos fatores influenciam nas condições ambientais das granjas.

De acordo Moura (2001), na avicultura de corte, se a ave estiver submetida a uma temperatura efetiva adequada, sem nenhum desperdício de energia, tanto para compensar o frio, como para acionar seu sistema de refrigeração, pode-se chegar a ótimos índices de produtividade. Também enfatiza que a temperatura efetiva, não pode ser compreendida unicamente com a temperatura ambiental, pois ela depende da combinação da temperatura de bulbo seco, umidade relativa, radiação solar e velocidade do vento.

Segundo Tinôco (2001), inicialmente a avicultura brasileira não dava importância necessária às condições ambientais das granjas. Porém, a crescente demanda por produtividade e a implantação dos sistemas de integrados de produção, trouxeram a tona questões relativas à ambiência. Hoje é necessário que cada empresa integradora busque e incentive novas técnicas de manejo, novas estruturas arquitetônicas e novas tecnologias para o condicionamento térmico apropriado nas granjas de seus integrados.

Nestes sistemas de integração o abatedouro fornece os pintos, a ração, a assistência técnica e a logística de transporte e, para os granjeiros, a responsabilidade da infra-estrutura dos galpões e equipamentos, da terra, da energia elétrica, da água e da mão-de-obra.

A tipologia construtiva dos aviários, associada ao macroclima local, à topografia e à vegetação de entorno, influencia nas condições do microclima interno: temperaturas, ventilação e fluxo, velocidade e umidade relativa do ar. Nas condições brasileiras, frangos de corte são produzidos preferencialmente em galpões orientados no sentido leste-oeste e, de acordo com o ambiente local, costuma-se trabalhar com sistema aberto (janelas, cortinas e ventilação natural, na maioria das vezes) ou fechado (tipo túnel, com cortinas suspensas permanentemente e sistema mecanizado de ventilação), ambos visando garantir uma boa ventilação e conforto térmico aos animais (LIMA, 2005, p.42).

O crescente incremento tecnológico na produção de frangos levou aos altos índices de produtividade que hoje são obtidos.

Nas condições brasileiras é comum a densidade de 12 frangos/m² em média, que são abatidos ao redor de 40 dias de idade com, aproximadamente, 2,30 kg. Isso significa 27,60 kg de frango/m² de instalação, no sistema de criação convencional. O sistema de criação de frangos em alta densidade tem um rendimento produtivo de até 40 kg de carne/m², ou seja, um aumento de 33,5% na produção de ave viva, na mesma área e no mesmo período de tempo. Isso possibilita uma melhor relação custo/benefício para o sistema em alta densidade, pela maior produção de carne em uma menor área de instalação, o que favorece ao produtor, além da maximização de seus ganhos, otimização de sua instalação e redução dos custos, alcançar menor tempo na amortização dos seus investimentos. O adensamento, além de melhorar os ganhos dos produtores, pode atuar diretamente na redução de índices zootécnicos de produção e na qualidade de carcaça (LIMA, 2005, p.45).

Na busca de melhores índices zootécnicos, novas técnicas para monitorar e atuar em prol do conforto animal foram desenvolvidas. O uso de imagens captadas na granja subsidia análises sobre o conforto dos animais. A contagem do uso dos bebedouros e comedouros é realizada por técnicas de processamento de vídeo ou de quadros de imagens consecutivos.

Segundo Sevegnani (2005), a contagem do tempo de uso dos bebedouros e comedouros pelos frangos está correlacionada com as condições de microclima e afeta a conversão alimentar do frango, acarretando menor ganho de peso e menor produção.

O som emitido pelas aves também já são utilizados para mensurar o grau de conforto animal. Porém, ainda é uma técnica que necessita mais estudos e refinamento.

Os processos de vocalização dos animais que alojados em diferentes condições ambientais, nos permite conhecer sua condição de bem-estar ou de estresse. Esta questão requer ainda hoje, maiores conhecimentos de etologia e vocalização das diversas espécies, as diferentes estruturas anatômicas do sistema auditivo e a resposta fisiológica desencadeada nestes processos, que podem vir ou não a interferir nas suas condições ótimas de desenvolvimento e produtividade (MIRAGLIOTTA, 2005, p 4).

Diante de um contexto tecnológico denso, que busca otimizar os resultados zootécnicos, é importante ressaltar também que a utilizações de técnicas mais eficientes de manejo e de sistemas de controle geram um custo menor para o produtor, pois economizam recursos como energia elétrica, água e mão-de-obra. Além, é claro, de manter o sistema de produção perto das condições ideais de ambiência, e de desenvolvimento animal e, conseqüentemente garantir um lote mais sadio. A Figura 2 ilustra os ganhos relacionados com a aplicação de novas técnicas na produção de aves.



Figura 2 – Ganhos com as novas técnicas na produção de aves

O monitoramento do ambiente, da fisiologia e do comportamento animal pode levar a melhor precisão no manejo, oferecer maior conforto animal, maior produtividade e também otimizar os recursos da propriedade.

Entretanto, as melhores práticas e as novas técnicas de produção na avicultura de corte demandam equipamentos e sensores adequados para o monitoramento e intervenção no ambiente. De maneira geral, são largamente utilizados sensores de temperatura, umidade e peso, em escalas menores os sensores de velocidade do vento, de concentração de gases, luminosidade, de som, imagem e identificadores.

Na avicultura, são usadas duas medidas complementares, temperatura bulbo seco e temperatura de bulbo úmido. O primeiro mede a temperatura relativa do ar e o segundo estima a temperatura quando a atmosfera estiver saturada de partículas de água, ou seja, a menor temperatura que o ambiente pode atingir.

Juntamente com os sensores de temperatura, os sensores de umidade relativa do ar caracterizam a atmosfera de produção. A transdução da variação para sinais elétricos é realizada por uma resistência variável proporcional a quantidade de água dissolvida no ar.

3.2. As RSSF na agricultura

O “estado da arte” atual mostra que algumas padronizações internacionais para transmissão de dados estão ganhando espaço neste cenário, como a IEEE 1451, IEEE 802.3, a IEEE 802.15.4, a já consagrada IEEE 802.11x e tecnologias mais recentes como Rede de Sensores Sem Fio (RSSF), rádio identificadores (*Radio Frequency Identification* - RFID), *Smart Sensors*, Profibus e outras correlacionadas.

Por outro lado, os protocolos de comunicação específicos para aplicações agroindustriais vêm se destacando também. Segundo Guimarães (2004, p54):

O ISO11783 é um padrão de comunicação agroindustrial baseado no CAN 2.0B. Está em desenvolvimento pelo grupo de trabalho ISO TC23/SC19/WG1, que procura reunir os diversos requerimentos dos sistemas agroindustriais atuais e predizer o que seria interessante em um protocolo de comunicação, para que o mesmo seja flexível e possa suportar as diversas aplicações futuras.

Entretanto esses protocolos de comunicação específicos para aplicações agroindustriais são baseados em redes cabeadas e, segundo Guimarães (2004, p9):

Com o passar dos anos, as exigências à troca de informações entre os diversos módulos eletrônicos cresceram de tal forma que o cabeamento requerido para tais conexões chegou a atingir vários quilômetros de comprimento. Esta condição acarretou problemas crescentes relativos ao custo de material.

Já segundo Moreiras e Cugnasca (2006, p25):

O nível de instrumentação baseado em CAN é adequado para medidas dentro de um laboratório, mas é praticamente impossível de utilizar-se para medidas em campo. Uma possibilidade é a construção de uma rede de aquisição baseada em outro padrão, utilizando, por exemplo, tecnologia *wireless*, permitindo sua utilização em campo.

Neste ambiente, a tecnologia RSSF ganha notoriedade, pois é especificamente concebida para sensoriamento e, por usar transmissão sem fio possui características de mobilidade, de acesso a pontos críticos, de escalabilidade e não necessita da infra-estrutura de cabeamento estruturado, seja em uma planta agroindustrial ou em campo.

É natural que, em algumas aplicações, não se faz necessário a utilização de uma tecnologia que forneça características intrínsecas a sistemas sem fio. Nestes casos, uma simples rede de sensores cabeados através de uma rede CAN, por exemplo, atenderia a aplicação. Entretanto, muitas plantas agroindustriais e campos produtivos hoje existentes não foram planejados prevendo a necessidade de aquisição de dados. Este fato significa que instalar uma rede cabeada implica em investimentos em infra-estrutura e obra civil e, na maioria dos casos, envolve também parada total ou parcial da produção. Sendo assim, mesmo nestes casos a tecnologia sem fio pode significar mais economia com a mesma eficiência.

Na última década as RSSF penetraram em diversas áreas de aplicações, pode-se mencionar setores como a indústria bélica, automação predial, saúde, meio ambiente, e monitoramento de estruturas.

Mais recentemente, a agricultura começou a utilizar esta tecnologia. Vieira (2004) exemplifica o uso de RSSF aplicados a monitoração das condições ambientais em estufas de alface, no qual cada nó sensor mede os níveis de luz, temperatura e umidade do ar, com a opção de medir a temperatura e umidade do solo. A Figura 3 mostra foto do experimento.

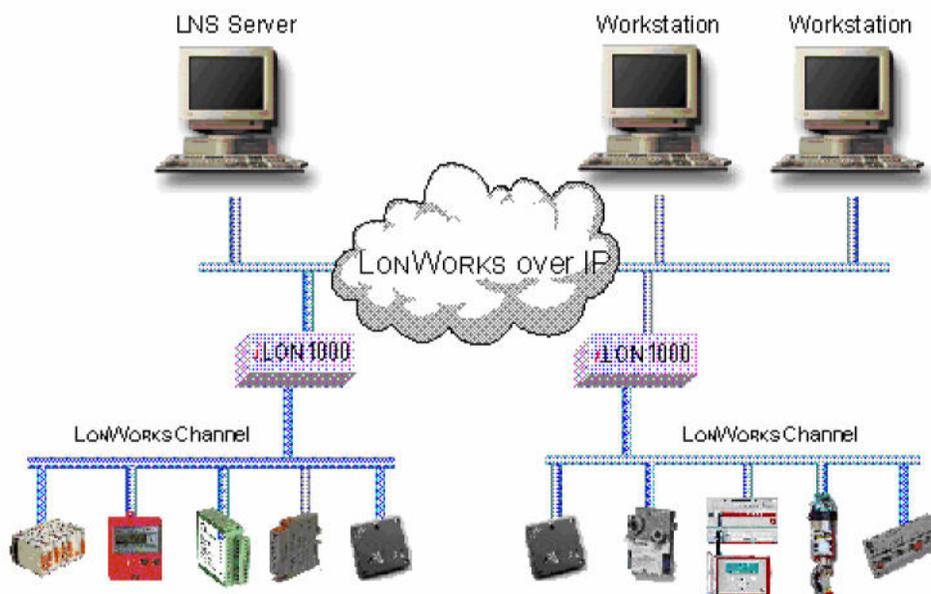


*Figura 3– RSSF em plantação de alface
(adaptado de VIEIRA, 2004)*

Estas são redes formadas por nós sensores e por pelos menos um ponto de comunicação denominado estação base. Os nós sensores são compostos de sensores que monitoram o ambiente de acordo com a aplicação, e de equipamento rádio para comunicação com a estação base ou com outros nós sensores. Para isso é necessário um microcontrolador para efetuar o processamento requerido. O objetivo destas redes é coletar informações do ambiente. Nós sensores podem ser jogados em uma área que se deseja monitorar, acordam, se testam, estabelecem comunicação dinâmica entre eles, compondo uma rede ad hoc (VIEIRA, 2004, p31).

Uma das tecnologias de rede de sensores utilizada é a *LonWorks*, principalmente em automação predial e já está sendo inserida em aplicações agrícolas. Canovas (2006), por exemplo, utiliza esta tecnologia para monitorar casa de vegetação. Entretanto, como pode-se observar na Figura 4, diferentemente das padrões 802.xx, a *LonWorks* não é uma rede TCP/IP

nativa, que significa que precisa de *gateways* de comunicação para que possa interagir com a redes TCP/IP.



*Figura 4 – Rede LonWorks integrada a TCP/IP
(adaptado de ECHELON, 2005)*

Sikka e Corke (2005), aplicaram uma rede de sensores sem fio na pecuária, utilizando sensores para monitorar durante seis meses 40 animais no pasto, 40 pontos de medidas de umidade, pontos para quantificar a ração e água consumida e 20 sensores/atuadores para estimular os animais com som, vibração e pequenos choques elétricos, todos alimentados por energia solar. Como resultado, foi mapeado o comportamento dos animais no pasto e através dos atuadores, experimentou-se alternativas de intervenção para que o rebanho tenha melhores resultados.

Na mesma linha de aplicação, Chaudhary et al. (2004), propõe uma rede de sensores para o planejamento integrado da fazenda, que vai além do monitoramento e automação das variáveis dos processos agrícolas. O autor enfatiza que este tipo de tecnologia pode melhorar o desempenho dos processos e fundamentar ações estratégicas e de planejamento para o produtor.

3.3. Redes de dados sem fio

Neste item são detalhados os tipos de redes de dados existentes, assim como conceituados os princípios das técnicas e tecnologias de rádio-transmissão.

Os primeiros sistemas de comunicação giravam em torno de conversação de voz. Esta característica persiste até hoje como, por exemplo, em sistemas celulares, que possuem como origem os sistemas analógicos. A partir de meados da década passada, com o advento do *browser* e a explosão da Internet, as redes digitais ganharam espaço. Com o uso intenso e o advento de novas aplicações, cresce a necessidade de maior banda de transmissão, ou seja, maior taxa de transmissão em bits por segundo.

Hoje em dia, as redes de dados mais pesquisadas, difundidas e comercializadas são as redes baseadas na pilha de protocolo TCP/IP. O protocolo TCP/IP faz parte de um conjunto de protocolos, que foram desenvolvidos para permitir que computadores compartilhem recursos de uma rede. Assim como o modelo OSI (*Open System Interconnection*) o modelo TCP/IP se resume em uma pilha de protocolos organizados em camadas, conforme se pode ver na Figura 5. (KUROSE, 2003)

Aplicação
Transporte
Rede
Enlace
Física

Figura 5 – Pilha Internet

Camada Aplicação: é constituída por diversos protocolos, que são utilizados em inúmeras aplicações do modelo TCP/IP. Portanto esta camada não possui um padrão comum, e sim um padrão estabelecido por cada protocolo que a compõem como: TELNET, SMTP, POP3, DNS e outros.

Camada Transporte: a camada de transporte é caracterizada pelos protocolos UDP e TCP, sendo o primeiro não orientado a conexão e o segundo orientado. Entretanto o TCP realiza o controle de fluxo e garante a entrega dos pacotes. Já o UDP não se preocupa em realizar um controle de fluxo dos pacotes.

Camada Rede: Essa camada possui a função de endereçar, rotear e realizar o controle de envio e recepção dos pacotes. Nesta camada são tratados os endereços IP.

Camada de Enlace: Essa camada é responsável pelo controle do enlace lógico e pelo controle de acesso ao meio.

Camada Física: Essa camada corresponde aos meios físicos que estruturam os canais de comunicação, especificando as técnicas de modulação, multiplexação e alocação de canais.

A necessidade crescente de maiores taxas de transmissão impulsionou e impulsiona o aperfeiçoamento destas camadas e, o surgimento de novas aplicações móveis demanda novas soluções nas camadas de enlace e física: as redes sem fio.

As soluções de comunicação sem fio são classificadas da seguinte forma:

- WPAN – *Wireless Personal Access Network*
- WLAN – *Wireless Local Access Network*
- WMAN – *Wireless Metropolitan Access Network*
- WWAN – *Wireless Wide Area Network*

A Figura 6 ilustra esta classificação, identificando os padrões definidos ou a definir pela IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*), assim como exibe a ordem de grandeza de alcance para cada tecnologia.

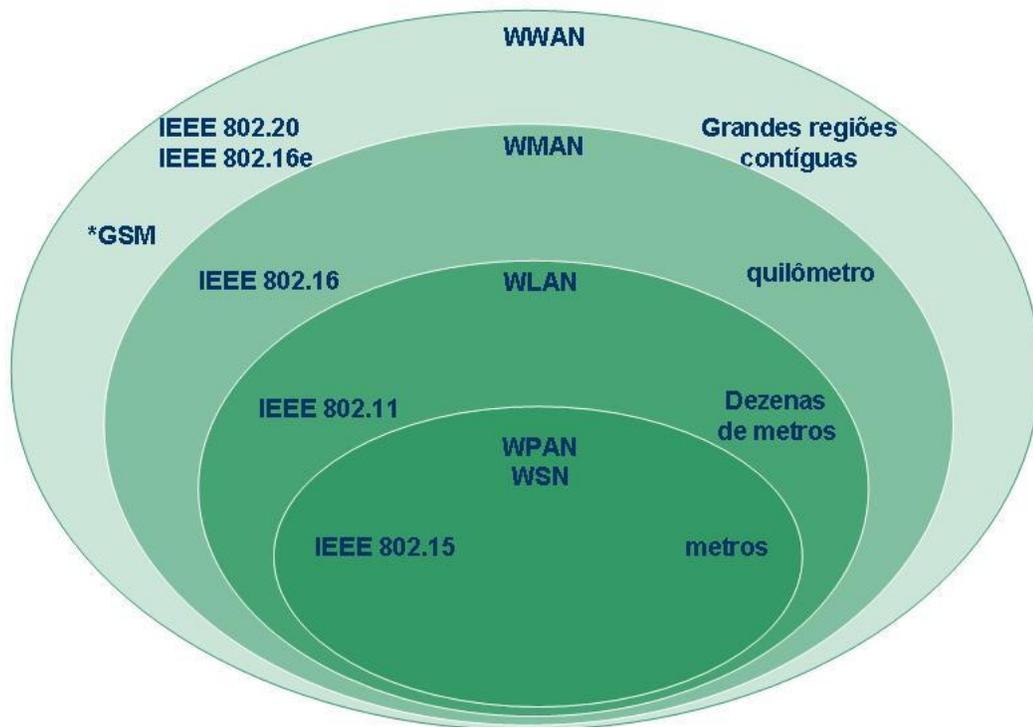


Figura 6 – Classificação das redes sem fio

Cada uma destas tecnologias atende certo tipo de ambiente e aplicação. A seguir são apresentados exemplos de cada sistema.

3.3.1. WWAN – *Wireless Wide Area Network*

As redes WWAN são representadas pelos sistemas celulares atuais em função da grande área coberta. Existem dois padrões de interface aérea predominantes: GSM e CDMA (3GPP, 1997). O padrão TDMA americano está sendo descontinuado. Para aplicação de dados existem estratégias diferentes para cada sistema. O GSM é um padrão europeu com rede GPRS para transmissão de dados sobreposta à rede existente, utilizando os mesmos recursos de RF. Possui taxas de até 174 kbps. Porém, na prática esta taxa se reduz bastante em função do meio. O sistema CDMA possui uma vertente para transmissão de dados a uma taxa máxima de 144 kbps. Porém, esta taxa depende do meio também.

O IEEE vem estudando um padrão de rede WWAN nativo IP, denominado 802.20, que tem como característica principal a mobilidade, de modo a substituir as redes celulares atuais. (802.20, 2006). Por outro lado, o padrão 802.16 e também possui características de mobilidade e é uma alternativa para as próximas redes WWAN.

3.3.2. WMAN – *Wireless Metropolitan Area Network*

Estas redes são conhecidas também pela sigla BWA (*Broadband Wireless Access*). As redes sem fio metropolitanas ainda estão no seu início de implantação e prometem acesso banda larga (70 Mbps) em áreas urbanas. O principal padrão para acesso fixo existente é o 802.16 ou também denominado WiMAX. (802.16, 2001).

Sistemas sem linha de visada conseguem comunicação utilizando técnicas que permitem encontrar sinal utilizando algum tipo de diversidade. Um interessante sistema é aquele que explora a decorrelação entre tempo e espaço. Ou seja, o sinal que chega no receptor percorre vários caminhos e apresentam uma certa intensidade num certo instante. Este mesmo sinal chega em tempos diferentes em função das distâncias diferentes dos múltiplos caminhos. O receptor possui uma estrutura que permite retirar redundância destas duas dimensões, que são decorrelacionadas.

3.3.3. WLAN – *Wireless Local Area Network*

As redes WLAN cobrem áreas de até 100 metros com taxa de transmissão que variam de 1 Mbps a 54 Mbps nos atuais sistemas. Na prática, estas taxas são inferiores em função do tipo de MAC (*Medium Access Control*) utilizada. Esta rede está sendo implantada em larga escala com custo reduzido. Este padrão especifica várias interfaces com diferentes taxas, que dão suporte a pilha de protocolo TCP/IP da Internet. (802.11, 2001)

3.3.4. WPAN – *Wireless Personal Area Network*

As redes pessoais se caracterizam por baixa cobertura e baixa taxa de dados. Um exemplo deste tipo de tecnologia é o *Bluetooth* (IEEE 802.15.1) com cobertura de no máximo 10 metros, com boa condição de visibilidade, operando na frequência de 2,4 GHz. A taxa de transmissão básica é por volta de 700 kbps. Porém, na prática, esta taxa varia muito dependendo do ambiente. A tecnologia *Bluetooth* está sendo padronizada dentro do IEEE pelo grupo 802.15 (802.15, 1999).

Sob o RSSF (Rede de Sensores Sem Fio), em inglês WSN (*Wireless Sensors Network*) está a tecnologia Zigbee (IEEE 802.15.4), indicada para aplicações com baixa taxa de transferência, porém em redes com até 64000 dispositivos e distâncias até 100 metros.

Carvalho e Cunha (2004) enfatizam que o Zigbee foi idealizado para aplicações críticas em relação ao tempo, como as de sensoriamento. As respostas rápidas são garantidas por tempos de acesso curtos, que também contribuem para a otimização e para a longa duração das baterias.

Como a tecnologia utilizada neste trabalho é a Zigbee, com a utilização da IEEE 802.15.4 nas camadas de enlace e física, os itens seguintes, sobre arquiteturas, tipo de multiplexação, modulação e tipos de acesso, serão contextualizados para esta tecnologia.

3.3.5. Arquiteturas 802.15.4

A tecnologia Zigbee dispõem de três tipos de dispositivos, os coordenadores, roteadores e dispositivos finais, sendo que um único dispositivo pode assumir duas funções. Estes dispositivos se organizam de duas formas:

- **Estrela**, na qual todos os dispositivos finais comunicam-se diretamente com o coordenador, logo, nesta arquitetura não existem roteadores.
- **Mesh**, na qual a comunicação dos dispositivos finais com o coordenador pode ser realizada com saltos através de um roteador. Os roteadores podem assumir concomitantemente a função de dispositivo final também.

A Figura 7 ilustra estas duas arquiteturas.

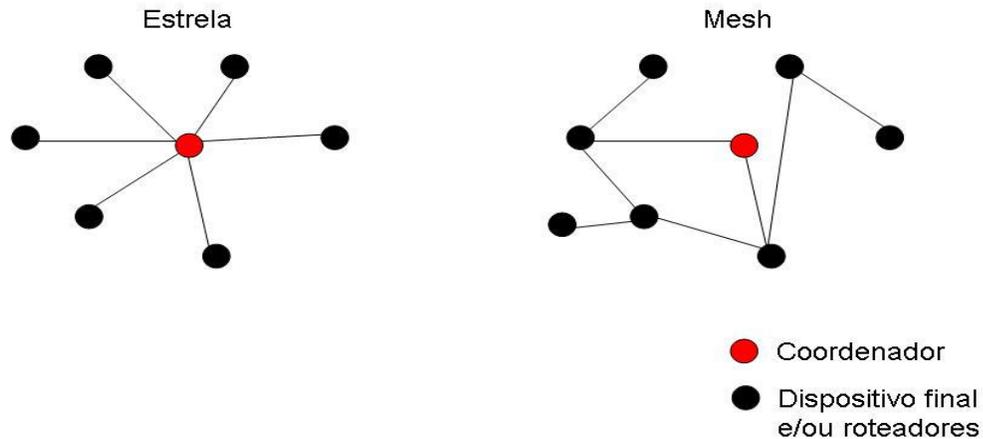


Figura 7 – Arquiteturas Zigbee

3.3.6. Acesso e Modulação IEEE 802.15.4

A modulação utilizada pela camada física do padrão 802.15.4 é a O-QPSK (*Off-set Quaternary Phase Shift Key*), que fornece uma taxa de transmissão de 250 kbps.

A modulação O-QPSK (*Off-set Quaternary Phase Shift Key*) é realizada de maneira semelhante ao QPSK, exceto pelo fato de que o segundo dos bits, *Q-Phase*, que entra no registrador de deslocamento serial, é atrasado no período de meio símbolo antes de ser aplicado ao seu modulador de inversão de fase. Isso resulta em transições de fase da portadora de apenas 0° , ou $\pm 90^\circ$ do estado de fase anterior, comparado com os 0° , $\pm 90^\circ$ e 180° do QPSK. Sendo assim, o O-QPSK não tem os transientes de reversão de fase completos (e nulos profundos no envelope) do QPSK quando limitado em banda passante. Essa limitação da variação da fase tem como objetivo a redução das transições de fase do sinal

modulado, limitando-as a um máximo de 90° possibilitando assim, a sua utilização com amplificadores não lineares. (CAMPOS, 2006, p21)

Após o sinal ser modulado pela técnica O-QPSK, é empregada a técnica de espalhamento espectral por seqüência direta (DSSS), no qual um código (*chips*) modula o trem de bits de dados (Figura 8).

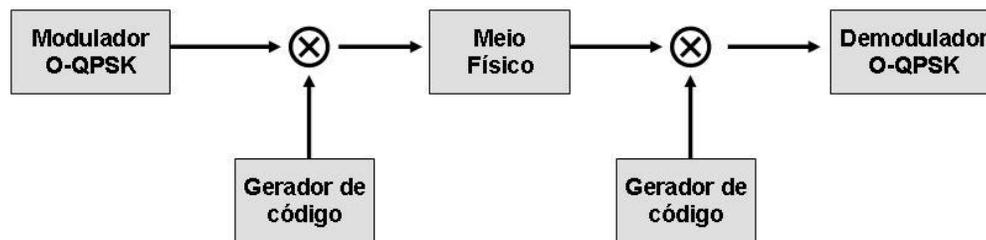


Figura 8 – Modulação 802.15.4

O espalhamento espectral, como o próprio nome diz, espalha o sinal modulado na banda do sinal modulante, a energia antes concentrada na banda do sinal modulado é distribuída sobre a banda da modulante, conferindo robustez contra interferências ao sinal modulado. Esta expansão em frequência é mensurada pelo ganho de processamento, que é determinado pela taxa do sinal modulante dividida pela taxa do sinal modulado.

O emprego de DSSS necessita que os dispositivos estejam sincronizados, utilizando o mesmo código na comunicação.

O espalhamento espectral é ilustrado na Figura 9. Nota-se que o sinal está centrado em 2410 MHz, canal 12 do Zigbee.

Spectrum Analyzer

ZIGBEE-D

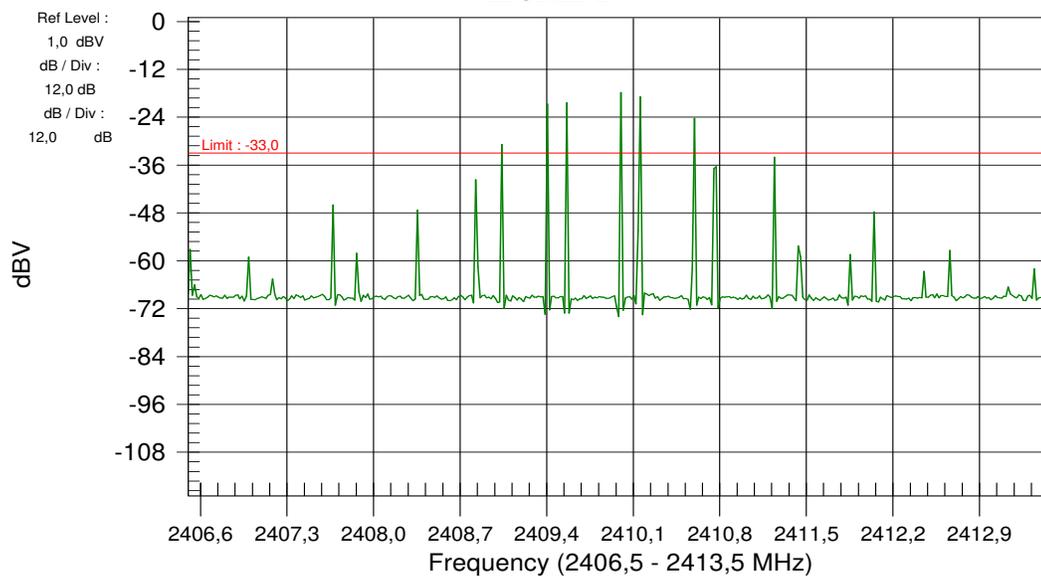


Figura 9 – Espalhamento Espectral no canal 12 do Zigbee

Já o acesso ao meio é coordenado pelo protocolo CSMA-CA (*Carrier Sense Multiple Access – Collision Avoidance*), segundo Campos (2006), o CSMA-CA é um protocolo de acesso ao meio que funciona basicamente da seguinte maneira: quando um dispositivo deseja iniciar uma transmissão, ele inicialmente "escuta" o meio para determinar se alguma transmissão já está ocupando aquele canal, caso o meio esteja ocupado ele espera um tempo aleatório para que faça uma nova tentativa.

Também é utilizado pelo padrão 802.15.4 o uso de múltiplos canais, para a faixa de 2,4 GHz, existem 16 canais de 2 MHz de largura, ilustrados na Figura 10.

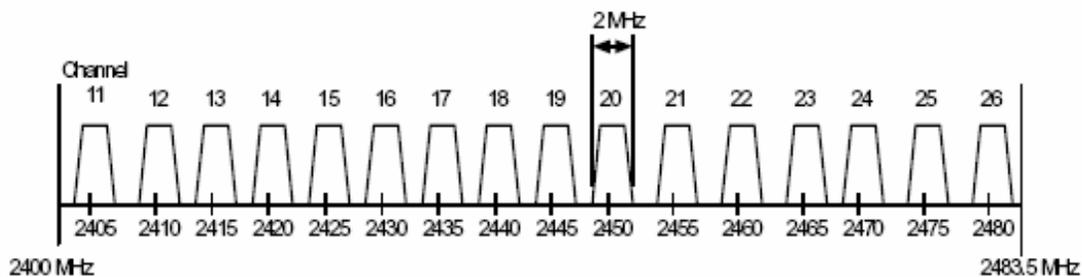


Figura 10 – Canais 802.15.4

3.3.7. Propagação de Sinais

Variabilidade do Meio e Desvanecimento

Trabalhar com tecnologia sem fio significa ter um meio de propagação que apresenta características inconstantes. Isso significa que em pequenos intervalos de tempo as características do meio podem mudar, conseqüentemente, mudando a distribuição de potência média no ambiente.

Essas variações aleatórias do ambiente caracterizam o fenômeno de desvanecimento.

Existem dois tipos de desvanecimento: 1) o de longo prazo ou lento e 2) o de curto prazo ou rápido. O desvanecimento de longo prazo relaciona-se com a variação da média global do sinal devido ao sombreamento causado por obstáculos, ocorrendo em intervalos de dezenas de comprimentos de onda. (Para 900 MHz, estes intervalos são da ordem de vários, 8-10, metros.) O desvanecimento de curto prazo relaciona-se com a média local do sinal devido à propagação por múltiplos percursos, ocorrendo em intervalos de aproximadamente meio comprimento de onda. (Para 900 MHz, estes intervalos seriam da ordem de 17 cm.) (WALDMAN, 2001, p 56)

Múltiplo Percurso e Diversidade

Como estamos trabalhando com a propagação no ambiente é evidente que existem inúmeras possibilidades de trajetórias do sinal até chegar a um determinado ponto, caracterizando o fenômeno de múltiplo percurso.

Com os múltiplos percursos existem sinais que percorrem maiores distâncias que outros, conseqüentemente demoram mais a chegar e sofrem uma atenuação maior, já que a atenuação é diretamente proporcional à distância. Os diversos caminhos percorridos pelo sinal também são traduzidos em diferentes fases na composição do sinal recebido, podendo ocorrer até cancelamento dos sinais.

3.3.8. Transmissão Digital

Taxa de Transmissão

A taxa de transmissão (R) significa a quantidade de informação por unidade de tempo. Em transmissão digital, trabalha-se com bits por segundo.

Para se ter uma maior taxa de transmissão deve-se aumentar a quantidade de informação em um determinado intervalo de tempo, ou seja, é necessário que cada bit dure o menor tempo possível. Porém comprimir temporalmente o bit aumenta proporcionalmente a banda ocupada.

Banda de Transmissão

A banda (B) de um sinal é a largura de faixa espectral necessária para a sua transmissão. Para obter a composição da banda, o sinal é representado na dimensão de frequência e não mais na dimensão do tempo.

Um bit representado no espectro é infinito, possuindo infinitas componentes de frequência, pois, de modo geral, a função que representa um bit espectralmente é a função $\text{seno}(x)/x$, denominada $\text{Sinc}(x)$. Porém a energia está concentrada até o primeiro nulo da função $\text{Sinc}(x)$, pois as demais componentes têm potências relativamente baixas, logo, para transmissão digital, generalizando, considera-se o primeiro nulo como o limite da banda.

Relação Sinal Ruído

Um dos parâmetros mais importantes em telecomunicações, a relação sinal ruído (SNR, *Sinal Noise Ratio*) informa o quanto maior está a potência de sinal (S_i), que carrega informação, em relação à composição de sinais (N) intrínsecos do meio e de outras transmissões indesejadas.

$$SNR[dBm] = S_i[dBm] - N[dBm]$$

Equação 1

Quanto maior SNR, melhores serão as condições do receptor em extrair corretamente a informação.

Energia de Bit sobre Ruído por Hz (Eb/N0)

Para sistemas digitais usa-se muito a relação Eb/N0 ao invés da relação SNR. “Eb” é a energia de bit. Na Equação 2. extraída de Haykin (2000), “A” é a amplitude do bit e “Tb” o período de duração do bit.

$$Eb = A^2 \times Tb \quad \text{Equação 2}$$

“N0” é a densidade de potência de ruído dentro de uma banda de um Hertz, “k” é a constante de Boltzmann’s ($k = 1,381 \times 10^{-23} [JK^{-1}]$) e “T” é a temperatura ambiente em Kelvin. (HAYKIN, 2000),

$$N0 = k \times T \times 1Hz \quad \text{Equação 3}$$

Taxa de Erro de Bit

A taxa de erro de bit (BER, *Bit Error Ratio*) estima para um sistema quantos bits serão compreendidos de forma errada em uma amostragem de bits transmitidos.

$$BER = \frac{\text{bits_errados}}{\text{bits_transmitidos}} \quad \text{Equação 4}$$

3.4. Predição de Sinais de RF

Em sistemas de rádio frequência, uma das questões mais importante é a maneira como as ondas viajantes se comportam no ambiente onde as redes sem fio são aplicadas. Para este tipo de estudo existem diversas técnicas utilizadas para realizar a predição destes sinais.

Neste item são apresentados alguns modelos de predição de sinais, separados em duas frentes: os modelos determinísticos e empírico/estatísticos.

3.4.1. Modelos Determinísticos

Modelo do Espaço Livre

Este modelo é baseado na fórmula de Friis (HAYKIN, 2000). A atenuação (L) do sinal é proporcional ao quadrado da distância (d), proporcional ao quadrado da frequência (f), assim como inversamente proporcional aos ganhos da antena transmissora (Gt) e da antena receptora (Gr). Note que não são considerados outros fenômenos de propagação neste modelo.

$$L[dB] = -10\log(Gt) - 10\log(Gr) + 20\log(f) + 20\log(d) + 32,44 \quad \text{Equação 5}$$

Modelo de Dois Raios

O modelo de dois raios considera além da linha de visada, um segundo raio refletido no solo, desse modo a atenuação do sinal passa a depender da distância (d) elevada à quarta potência, do quadrado da altura da antena transmissora (Ht) e do quadrado da altura da antena receptora (Hr) (RAPPAPORT,1999).

$$L[dB] = 40\log(d) - 10\log(Gt) - 10\log(Gr) - 20\log(Ht) - 20\log(Hr) \quad \text{Equação 6}$$

3.4.2. Modelos Empíricos/Estatísticos

Modelo de *Shadowing*

Este modelo de predição é baseado na correção do expoente da distância, ou seja, para diferentes ambientes existem diferentes expoentes tabelados, no caso um ambiente de espaço livre esse expoente (β) é igual a dois. O valor de X é representado pelo desvio padrão de uma distribuição gaussiana da atenuação (RAPPAPORT,1999).

$$L[dB] = -10 * \beta * \log(d) + X[dB] \quad \text{Equação 7}$$

Modelos de Lee / Okumura-Hata / COST 231

O modelo de Lee de predição pressupõem que as intensidades de sinais em dois pontos estão relacionadas com as suas respectivas distâncias, em relação à antena, elevadas a um fator α , assim basta conhecer apenas um dos pontos para normalizar o modelo, todos os demais pontos são extraídos a partir do ponto referência e corrigidos, de ambiente para ambiente, pelo fator α . Note que o *site survey* é necessário para ajustar o modelo, porém existem alguns valores de α tabulados para alguns ambientes característicos.

O modelo de Okumura-Hata, recomendado pela ITU-R, é baseado em uma série de medidas realizadas em Tóquio, utiliza como base a perda do espaço livre e acrescenta a ela perdas por fatores característicos do local. Curvas foram descritas para se obter as diversas perdas, e a perda do espaço livre, como vimos, é calculada de forma analítica.

E, por fim, o modelo COST 231 prevê uma série de equações para computar fatores de perda como presença de objetos, altura de prédios, distância entre prédios, formato das ruas, altura de antenas, etc.

Esses modelos são amplamente utilizados para predição de sistemas celulares, ou seja, são modelos para células em centros urbanos, de uma forma geral, não se aplicam para ambientes *indoor*.

Site Specific (SISP), Ray Tracing e Geographic Information System (GIS)

Com os recursos computacionais disponíveis hoje é possível a implementação de modelos de predição determinísticos, no qual traça-se o percurso dos “raios” eletromagnéticos (*Ray Tracing*) dentro de uma localidade para obter um mapa da distribuição do sinal. (RAPPAPORT, 1999)

Entretanto a implementação do método *Ray Tracing* não é trivial, pois necessitada de uma modelagem fiel do ambiente e de capacidade de tratamento/processamento vetorial dos dados.

4. MATERIAL E MÉTODOS

Neste capítulo são expostos os métodos e materiais utilizados. Inicialmente é descrita a metodologia geral do projeto de pesquisa, depois são descritos os procedimentos específicos de cada etapa.

O trabalho foi baseado na metodologia de pesquisa e desenvolvimento, ilustrada na Figura 11, na qual se pode identificar as etapas de pesquisa, concepção, especificação, desenvolvimento, caracterização do ambiente, planejamento da RSSF e avaliação econômica.

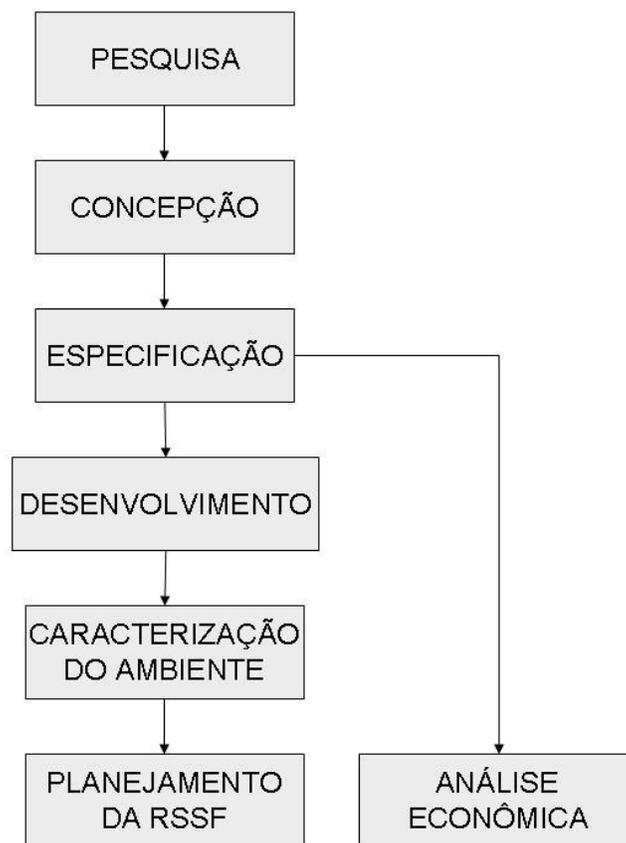


Figura 11- Metodologia de trabalho

Em um primeiro momento foi realizada uma pesquisa sobre a produção de animais em ambientes protegidos, com ênfase maior para a produção de frango de corte e as tecnologias

utilizadas. Nesta etapa visitou-se algumas granjas na região de Tuiuti e Amparo para entender o dia-a-dia da produção.

Conhecido as características de produção, foi realizada uma pesquisa direcionada sobre as tecnologias de redes sem fio que poderiam ser utilizadas no projeto e, conhecidos os elementos sobre a produção e o leque de tecnologias sem fio, concebeu-se uma arquitetura para a rede de sensores sem fio.

Na etapa seguinte, foram especificados os componentes e equipamentos para confecção do protótipo de rede de sensores sem fio. A maioria dos equipamentos estava disponível no Laboratório de Instrumentação e Controle – LIC da Faculdade de engenharia agrícola da Unicamp, já os dispositivos Zigbee e o conversor serial/WI-FI foram cedidos pela empresa Expertise Engenharia.

Com a pesquisa, a concepção e a especificação prontas, realizou-se a integração de *hardware* e o desenvolvimento de *software* e, seguido de testes em laboratório.

As duas etapas seguintes foram realizadas na granja de engorda de frango de corte Moretto no município de Tuiuti-SP. Primeiro a caracterização do ambiente controlado, quanto a sua disposição física e ao comportamento eletromagnético da RSSF. E, por fim, o planejamento da RSSF baseado nos dados de campo.

A granja Moretto monitora umidade relativa do ar e as temperaturas de bulbo seco e úmido, com dois sensores para cada grandeza. Esses dados alimentam um controlador on-off que aciona nebulizadores, assim com a ventilação interna e a ventilação de pressão negativa. A água é fornecida por gravidade e o abastecimento de ração e feito periodicamente por roscas infinitas acopladas a motores.

4.1. Materiais

Para o desenvolvimento do trabalho foram utilizados principalmente os seguintes materiais:

- **Kit de desenvolvimento Zigbee:** modelo Xbee Development Kit, marca MaxStream, com três dispositivos Xbee, dois com antenas externas de 2,1 dBi, e um com antenas internas, três interfaces de comunicação serial, sendo duas interfaces RS-232 e uma USB.

- **Conversor serial / WI-FI:** modelo INT-550, marca Integral, com uma entrada RS-232, uma RS-485, saída IEEE 802.11b. Internamente utiliza o módulo Wi-Me da *Digi Connect*, que possui entrada serial TTL e saída IEE 802.11b.
- **Multímetro:** modelo 179 *True RMS Multimeter*, marca Fluke, com medição de tensão, corrente, resistência, frequência, capacitância e continuidade.
- **Analisador de Espectro:** modelo MS2711D, marca Anritsu, frequência de 300 KHz a 3 GHz.
- **Computador Portátil:** modelo Aspire 3003LCi, marca Acer, processador AMD *Sempron 3000+* 1,8 GHz, memória de 448 MB e 3 interfaces USB.
- **Plataforma de desenvolvimento de software:** modelo *Delphi 7.0*, marca Borland.

4.2. Concepção e especificação da RSSF

A produção de frango em granjas possui peculiaridades que balizaram a concepção da rede e sensores sem fio.

As granjas têm um ciclo de produção no qual existe uma fase inicial de limpeza e preparo da cama que, de tempos em tempos é antecedido por um período de quarentena. Em seguida as aves de um dia são alojadas em um espaço reduzido (em relação ao galpão todo). Neste período são utilizados sistemas de aquecimento e é considerado um período crítico para o bom desenvolvimento do lote.

De acordo com o crescimento das aves, o galpão vai gradativamente sendo ocupado e, até o momento do abate, é preciso utilizar a ventilação e nebulização para controlar as condições ambientais.

Do ponto de vista da instrumentação, significa que alguns sensores passaram parte do tempo confinados a uma pequena área e dispersos ao longo do galpão na etapa seguinte.

A granja também é caracterizada por ser um ambiente hostil a dispositivos eletrônicos, a poeira, os gases, as temperaturas, umidade relativa do ar e vibrações mecânicas aceleram a degradação destes equipamentos, além das interferências eletromagnéticas que serão consideradas mais a frente. Porém, a título de protótipo, os dispositivos utilizados não estão

condicionados em caixas que lhes garantem robustez, apenas tomou-se o cuidado de selecionar equipamentos que trabalhem até 60°C.

Outra característica importante levada em consideração é a baixa velocidade de variação das condições climáticas como temperatura e umidade do ar, que variam em um espaço de tempo longo, na casa de minutos. Ou seja, a amostragem, como feita neste trabalho, pode ser obtida por minuto, conferindo a estes dispositivos um uso de banda espectral reduzido no tempo e consumo reduzido de energia.

Por outro lado, as novas técnicas de análise de imagem e som são aplicações que demandam banda e, por conseqüência, consumo de energia. Por esses motivos tanto a imagem quanto o som não foram incluídos como grandezas capazes de trafegar na RSSF. A integração destes dispositivos deve ser realizada num nível hierárquico superior da rede de comunicação, na qual a demanda de banda pode ser atendida.

Estes cinco tipos de sensores descritos a seguir foram considerados para a concepção da RSSF:

1. Sensor de temperatura;
2. Sensor de umidade;
3. Velocidade do vento;
4. Gases dissolvidos;
5. luminosidade.

Em laboratório, estes sensores foram simulados por um gerador de tráfego de rede, que será detalhado posteriormente.

Atendendo as demandas detalhadas, a RSSF foi concebida com dispositivos denominados “plataforma de monitoramento” e um dispositivo denominado “concentrador”. O dispositivo concentrador, como o nome já diz, aglutina os dados provindos das plataformas de monitoramento e faz a interface com o nível hierárquico superior da rede.

Neste protótipo de RSSF, o concentrador não exerce concomitantemente a função de plataforma de monitoramento, pois no kit de desenvolvimento utilizado só existe uma canal de comunicação serial em cada dispositivo, porém, em trabalhos futuros isso deve ser considerado como uma alternativa para otimizar a rede.

A plataforma de monitoramento foi concebida para adquirir os dados dos sensores e enviá-los ao concentrador. Mostra-se na Figura 12 a topologia genérica da rede.

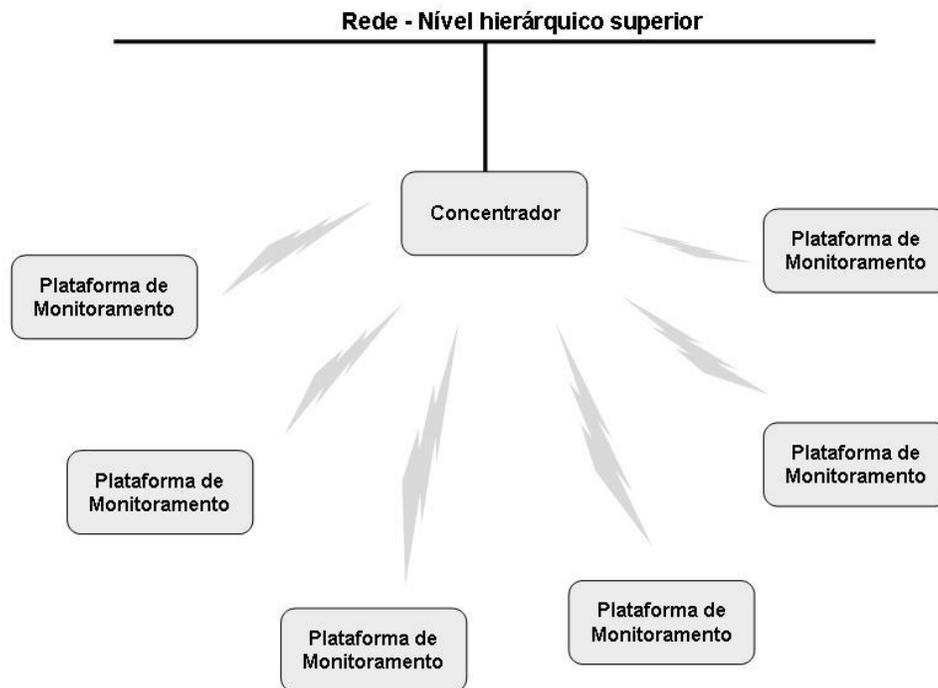


Figura 12 – Arquitetura da RSSF proposta

Este tipo de organização configura-se em arquitetura estrela. Fazendo analogia a WLAN, esta é uma rede infra-estruturada, pois todos os enlaces dependem do concentrador, conferindo certa rigidez (não mobilidade) ao posicionamento dos dispositivos, pois estão restritos a distância de alcance do enlace.

Como existe o elemento concentrador, que faz a interface com outra rede, o uso da arquitetura infra-estruturada é inevitável, cabendo apenas a possibilidade de utilizar redes mistas, infra-estruturada e *ad-hoc*. Porém, como a mobilidade dos sensores é restrita as instalações da granja, a rede infra-estruturada pura é a mais indicada pela sua simplicidade e por não exigir saltos que consumiria energia extra das plataformas de monitoramento.

4.2.1. Plataforma de monitoramento

A plataforma de monitoramento é composta pelo bloco de sensoriamento, o bloco de aquisição serial de dados e pelo módulo de comunicação sem fio (Figura 13).

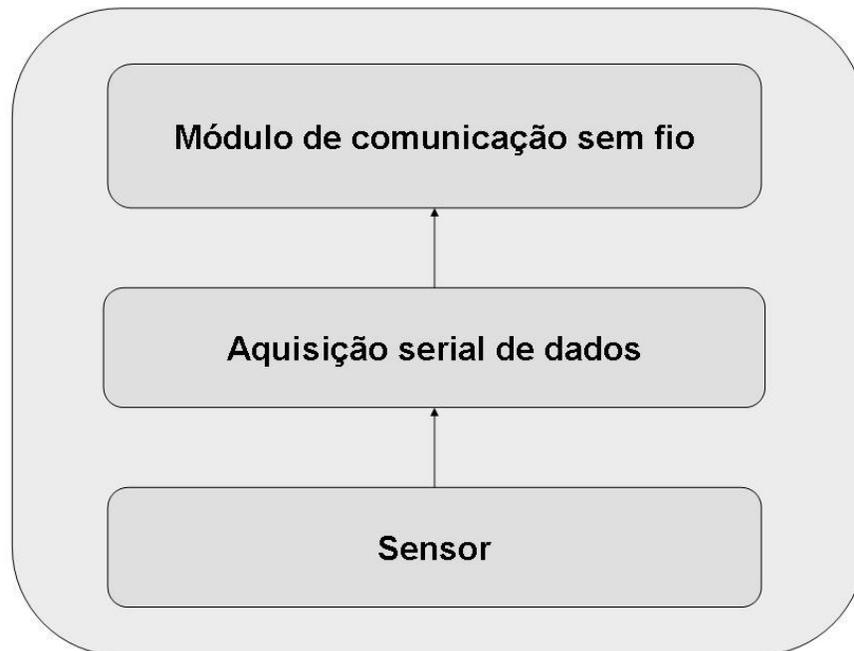


Figura 13 – Arquitetura da Plataforma de Monitoramento

O sensor disponibiliza os dados da grandeza através de um canal serial RS-232, no qual a taxa de transmissão e o tempo que em que a plataforma de monitoramento permanece em modo *sleep* dependem do tipo da grandeza medida (umidade, temperatura, etc.).

O bloco de aquisição faz a integração de *hardware* entre o canal serial RS-232 e a entrada serial TTL do módulo de comunicação sem fio.

4.2.2. Concentrador

Na Figura 14 é mostrada a arquitetura proposta para o Concentrador, no qual as informações provindas das Plataformas de Monitoramento serão convergidas, processadas, padronizadas e disponibilizadas em um canal de comunicação no padrão Wi-Fi (IEEE 802.11).

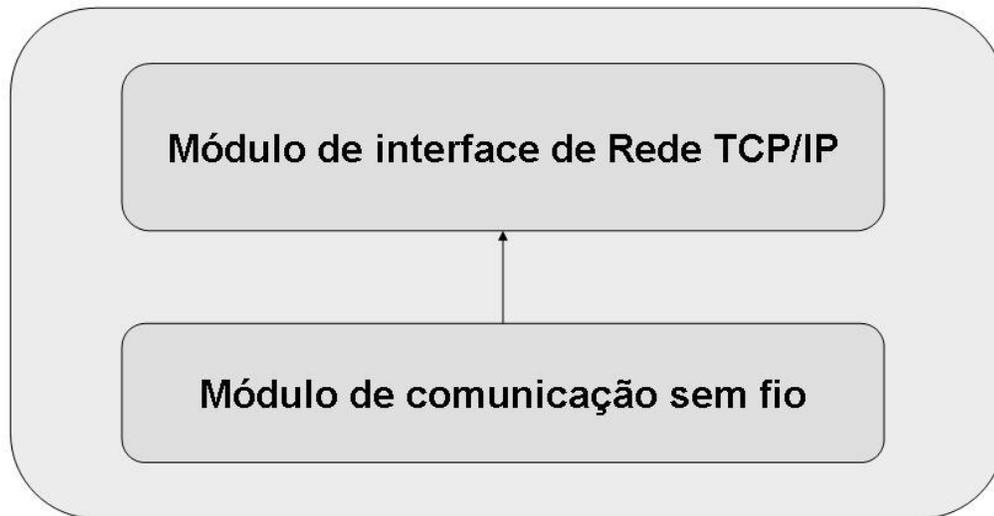


Figura 14– Arquitetura do Concentrador

Com a interface Wi-Fi garante-se a interoperabilidade com outras redes TCP/IP e também a fácil conexão com microcomputadores e outros dispositivos com interfaces de rede sem fio.

4.3. Dispositivo Zigbee

Foi utilizado um kit de desenvolvimento com interface de rede do tipo Zigbee / 802.15.4, denominado Xbee, da empresa MaxStream, a Figura 15 ilustra este kit que possui um microprocessador dedicado de alto desempenho e todo o suporte para utilização de aplicações que envolvam as camadas Zigbee.

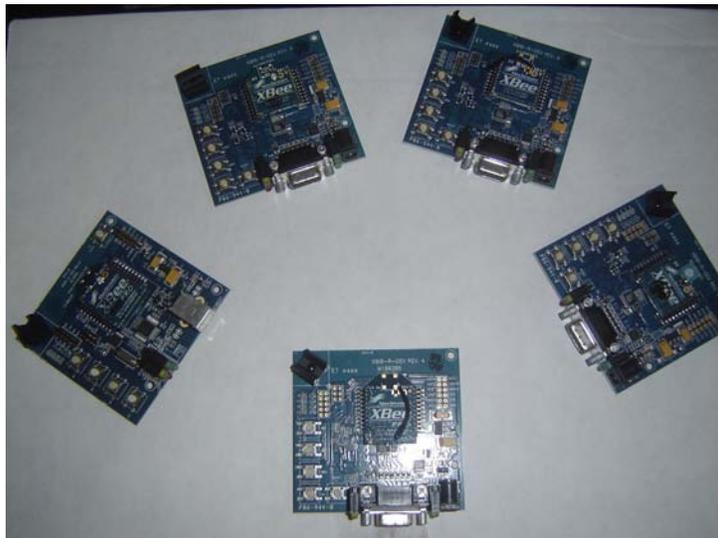


Figura 15 – Kit de desenvolvimento Zigbee

O kit de desenvolvimento propiciou uma maior agilidade nas etapas iniciais do projeto, dispensando a necessidade do projeto de placas de circuito impresso e conseqüente montagem eletrônica.

A tecnologia Zigbee / 802.15.4 foi escolhida, pois pertence à família de normativas IEEE 802. Notoriamente, no mercado, os dispositivos desta família dominam o mercado, ganharam escala como, por exemplo, a IEEE 802.3 e a IEEE 802.11. A conseqüência disto são preços cada vez mais reduzidos e acessíveis.

Zigbee e 802.15.4 não são sinônimos, mas tecnologias complementares, que juntas consolidam a pilha de protocolos utilizada neste trabalho.

O padrão IEEE 802.15.4 define as duas primeiras camadas da pilha de protocolos: a camada física, caracterizada pelas modulações *Direct Sequency Spread Spectrum* (DSSS) e modulação *Offset Quaternary Phase Shift Keying* (OQPSK) combinadas; a camada de controle de acesso ao meio (MAC), caracterizada pela técnica de *Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance* (CSMA/CA).

Por sua vez, o Zigbee define mais duas camadas da pilha de protocolos: a camada de rede, que define endereçamento e roteamento e; a camada de suporte à aplicação estabelece o conjunto de objetos manipuláveis pelo usuário.

A camada de aplicação do usuário customiza o uso dos objetos Zigbee de acordo com as necessidades da aplicação. A Figura 16 ilustra as camadas descritas.

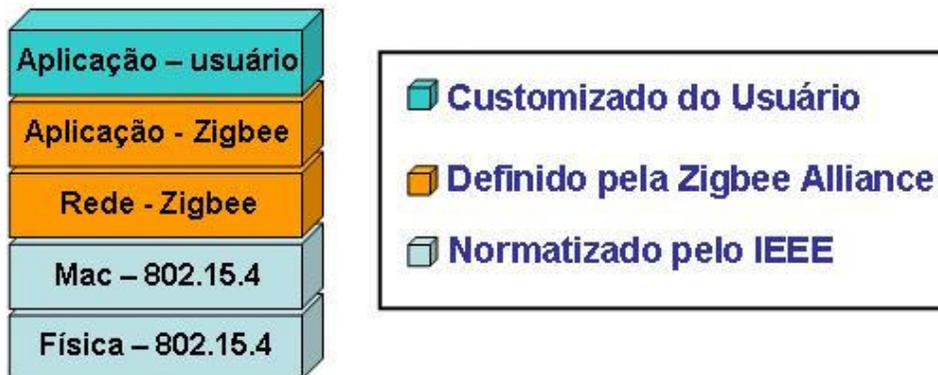


Figura 16 – Pilha de protocolo 802.15.4 / Zigbee

Na camada de aplicação do usuário os dispositivos Xbee da MaxStream oferecem a facilidade de estabelecer um canal serial transparente através de uma UART serial. Porém não limitam o acesso direto do usuário a camada de aplicação do Zigbee, caso necessário.

Sob a UART serial, a *MaxStream* disponibiliza também um conjunto de comandos AT para acessar e configurar os objetos Zigbee (Figura 17).

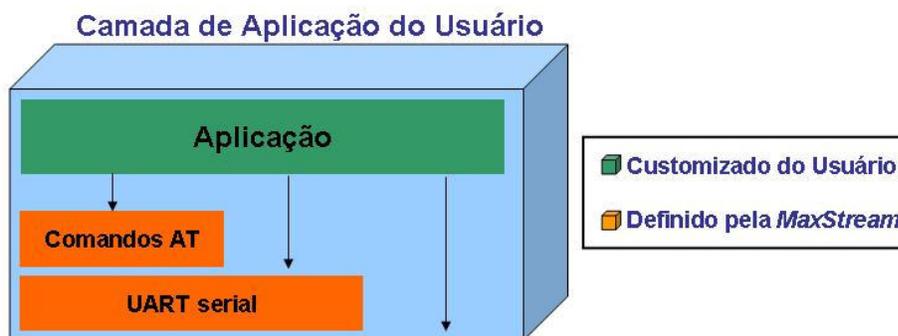


Figura 17 – Camada de Aplicação do Xbee

Devido à facilidade de manipulação, os comandos AT foram utilizados para configurar os dispositivos e para acessar os dados de potência do dispositivo. A sintaxe destes comandos é mostrada na Figura 18.

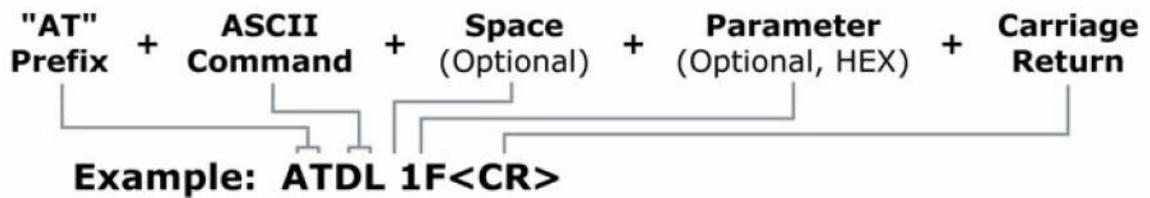


Figura 18 – Sintaxe do comando AT
Adaptado de(XBEE, 2006)

Os comandos são compostos pelo prefixo “AT” de identificação universal seguidos da identificação da função em caractere tipo ASCII. Quando usado para escrita, depois da identificação da função, são inseridos os parâmetros em código hexadecimal. Quando o comando é usado para leitura, não há necessidade incluir parâmetro. O fim de cada comando é identificado pelo caractere <CR> (retorno de linha).

Uma vez inserido o comando, os bytes são enviados um a um pelo canal serial (UART).

Cada transmissão de byte é identificada com o *start* bit (nível “0”) seguido dos oito bits, iniciado pelo menos significativo (Figura 19). A transmissão é finalizada com um *stop* bit (nível “1”).

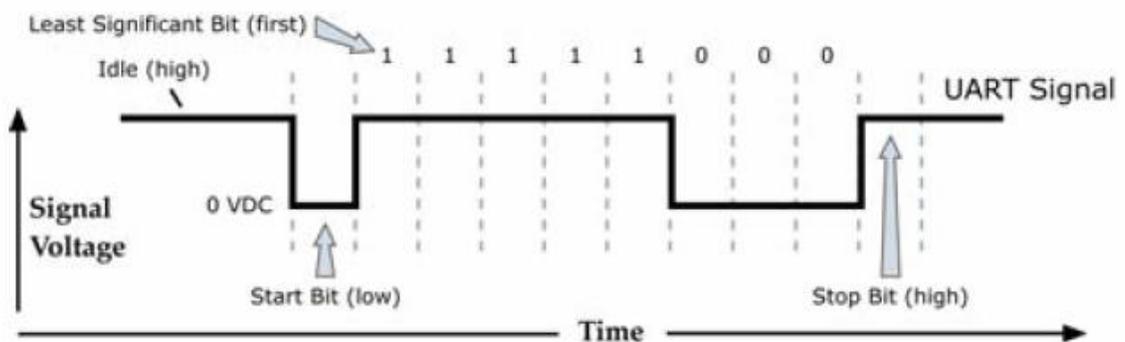


Figura 19 – Transmissão de um byte pela porta serial
Adaptado de (XBEE, 2006)

Os bytes enviados pelo canal serial são inseridos no buffer da UART e esperam para ser enviados para o *buffer* do rádio. O controle entre os *buffers* é realizado pelo processador do módulo Xbee.

Uma vez no *buffer* do rádio, o byte é enviado ao transmissor, que realiza a modulação e despacha o sinal para a antena (Figura 20). Na recepção os dados fazem o caminho inverso ao descrito na transmissão.

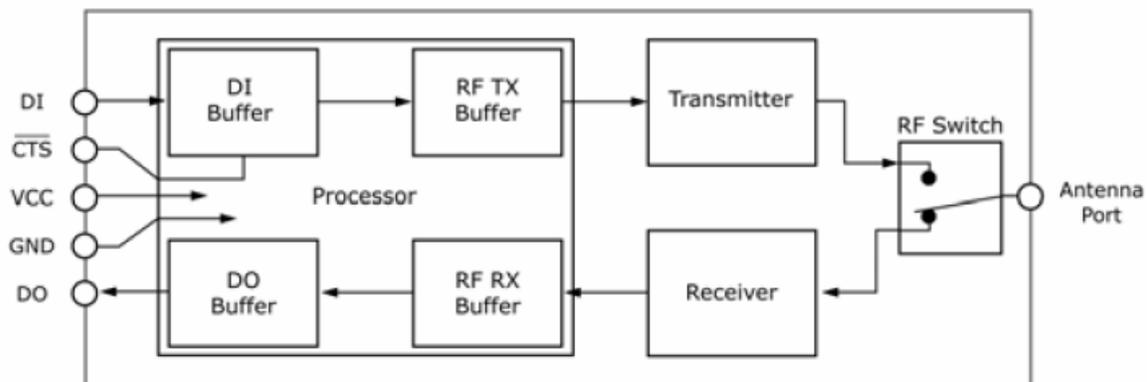


Figura 20 – Diagrama de blocos funcionais do Xbee
 Edaptado de (XBEE, 2006)

O sistema de radio frequência (RF) do módulo Xbee possui uma potência máxima de saída de 0 dBm, porém configurável para potências menores. Para os testes de campo foi utilizada a potência máxima (0 dBm) e antena de 2,1 dB, contabilizando uma potência efetiva irradiada de 2,1 dBm.

O consumo do dispositivo é de aproximadamente 50 mA quando o sistema de RF esta em funcionamento, quando não, o consumo cai para menos de 10 μ A.

Na recepção, estes módulos possuem taxa de erro de pacote (*Packet Error Rate*, PER) de 10^{-2} para sensibilidade de -92 dBm.

4.4. Interface TCP/IP

Para realizar a interface da RSSF com os usuários das informações optou-se por utilizar a o padrão de protocolo TCP/IP, de modo a tornar fácil a integração e interoperabilidade da RSSF.

Para a interface de rede (parte integrante do concentrador) utilizou-se o conversor serial/WI-FI INT 550, que possui internamente o módulo WI-ME - serial/Wi-Fi da empresa *Digi connect*, ilustrado na Figura 21.



Figura 21 - Conversor Serial/WI-FI da Digi

Este dispositivo possui entrada serial TTL e saída WI-FI padrão 802.11b. A conectividade deste dispositivo com o microcomputador foi estabelecida através do software *RealPort*, da empresa *Digi*. Este software emula uma porta serial através de uma conexão TCP/IP.

4.5. Medição de potência recebida e SNR

Para adquirir as medidas de laboratório e de campo foi desenvolvida uma ferramenta computacional para disparar tráfego entre dois dispositivos Xbee (para cada tipo de sensor foi criado um tipo de tráfego), ler a potência de sinal, e contabilizar os pacotes perdidos.

O algoritmo desenvolvido em linguagem *Delphi* (*Borland Delphi 7*) foi baseado em seqüências de comandos AT. Um dos dispositivos Xbee conecta-se ao computador portátil e recebe os comandos via porta de comunicação serial USB.

Inicialmente são enviadas *strings* de caracteres ASCII com a finalidade de criar tráfego na rede. No outro extremo da rede Zigbee, o segundo dispositivo Xbee recebe as *strings* e, através de um *loop-back* na porta de comunicação RS-232, estas sentenças são enviadas de volta ao dispositivo Xbee conectado ao computador portátil.

Comparando as sentenças enviadas com as sentenças recebidas, pode-se identificar a integridade e perda dos pacotes. A cada pacote recebido, identifica-se também a potência de recepção.

Como resultado, o software gera um arquivo texto com medidas de potência recebida e a potência de ruído antes da transmissão, espaçadas no tempo, de acordo com o tipo de sensor simulado.

A razão de medir também a potência de ruído é que os sistemas digitais são especificados a partir da BER, sendo que esta é função da SNR, que é dada pela razão da potência do sinal pela potência do ruído.

4.6. Simulação dos sensores

Para simular os sensores foi desenvolvido um módulo, dentro do software de leitura de potência, para simular os diferentes tipos de tráfego de acordo com a frequência de aquisição de cada grandeza e com a quantidade de dados gerados. São eles:

- Temperatura: frequência de aquisição é de 1 em 1 minuto, com 3 casas decimais antes da vírgula e 2 casas depois da vírgula. Espectro de leitura de 000,00 a 999,99°C;
- Umidade relativa: frequência de aquisição é de 1 em 1 minuto, com 3 casas decimais antes da vírgula e 2 casas depois da vírgula. Espectro de leitura de 000,00 a 999,99 % de umidade relativa do ar;
- Velocidade do vento: frequência de aquisição é de 10 em 10 segundos, com 4 casas decimais antes da vírgula e 2 casas depois da vírgula. Espectro de leitura de 0000,00 a 9999,99 metros por segundo;
- Gases dissolvidos: frequência de aquisição é de 10 em 10 minutos, com 4 casas decimais antes da vírgula e 3 casas depois da vírgula. Espectro de leitura de 0000,000 a 9999,999 ppm;
- Luminosidade: frequência de aquisição é de 10 em 10 minutos, com 4 casas decimais antes da vírgula e 2 casas depois da vírgula. Espectro de leitura de 0000,00 a 9999,99 lux.

A simulação dos sensores tem como pressuposto a velocidade de variação das grandezas medidas e a precisão necessária para cada tipo de medida, mesmo que estes

sensores, como o de gases dissolvidos e luminosidade, ainda não são muito utilizados devido a preços inacessíveis. Porém, a título de experimentação, são válidas as simulações para testar o desempenho da RSSF.

A representação dos valores poderia ser simulada de duas formas: um valor binário, correspondente em decimal ao valor da grandeza ou então, da maneira como foi implementada, cada dígito decimal é representado por um byte de acordo com a correspondência da tabela ASCII. A representação ASCII foi escolhida, pois facilita a interpretação dos resultados obtidos.

4.7. Caracterização da granja através do modelo de Shadowing

Primeiramente, caracterizou-se a granja nos seus aspectos dimensionais em uma planta baixa do galpão. A caracterização física subsidiou e complementou a predição de sinais da RSSF na granja. O modelo adotado para a predição foi o *Shadowing*.

Como já dito anteriormente, este modelo de predição é baseado na correção do expoente da distância, ou seja, para diferentes ambientes existem diferentes expoentes tabelados, no caso um ambiente de espaço livre esse expoente (β) é igual a dois. O valor de X é representado pelo desvio padrão de uma distribuição gaussiana da atenuação. Na equação 8, 'L' é a atenuação do sinal em dB e 'd' é a distância em metros (RAPPAPORT,1999).

$$L[dB] = -10 * \beta * \log(d) + X[dB] \quad \text{Equação 8}$$

Porém, como são realizadas a medição tanto de potência de sinal quanto potência de ruído, optou-se por utilizar uma adaptação do modelo de *Shadowing*, na qual são consideradas também as potências de ruído instantâneas. Utilizar este modelo adaptado enriquece os resultados, pois as variações instantâneas de ruídos e interferências podem ser significativas em um ambiente tão dinâmico quanto à granja de frango. A equação característica do ambiente é representada então pela atenuação da SNR (Equação 9).

$$SNR[dB] = -10 * \beta * \log(d) + X[dB] \quad \text{Equação 9}$$

Este modelo foi escolhido, pois a determinação de β e de X é realizada empiricamente no local onde a rede será instalada, neste caso na granja Moretto em Tuiuti-SP.

Como a potência de ruído foi mensurada instantes antes de cada transmissão e da medição de potência, pode-se obter a relação da potência de recepção pela a potência de ruído quando este está inoperante, ou seja, obtém-se a relação sinal/ruído.

Partindo da constatação de que as medidas foram realizadas com a granja em funcionamento, este modelo consegue representar na equação as obstruções existentes no ambiente. Inclui também as possíveis fontes de interferência que degradam o sinal transmitido, seja aumentando o valor de β ou então o *offset* de atenuação. Assim, as interferências geradas por outras redes sem fio, motores, bombas, máquinas e equipamentos eletrônicos são contabilizadas.

Para obter as equações que caracterizam o galpão, foram realizadas medidas em 2 linhas de medição, com média de 10 pontos por linha de medição e cada ponto com, mais ou menos, 100 amostras de potência e de potência de ruído daquele ponto.

A partir das 100 amostras, obteve-se a média aritmética da potência recebida e da potência de ruído para cada ponto.

Em um gráfico de dispersão da SNR pela distância, foi extraída uma curva exponencial aproximada que melhor representa esta variabilidade. Desta equação isola-se facilmente o β , o coeficiente usado para caracterizar o ambiente.

O canal utilizado para estes testes foi o canal 12, inicialmente sem nenhum critério, porém, após a realização das medidas de campo, o estudo de alocação de canais foi realizado e constatou-se que este canal possuía um dos menores ruídos, dentre os 26 canais da IEEE 802.15.4.

4.8. Avaliação Econômica

A avaliação econômica foi baseada em dados médios de produção avícola disponíveis no site da Associação Paulista de Avicultura (APA).

Os dados de mercado dos sistemas de integração foram obtidos diretamente com as empresas integradoras e com os granjeiros, que nos forneceram preços pagos pelas aves e as diferenciações nos valores das aves de acordo com o grau tecnológico da granja.

O propósito desta análise é comparar o valor do protótipo da RSSF e a capacidade de absorção na avicultura de corte. Não tem a intenção de esgotar o assunto.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos e as discussões sobre eles. Nesta seqüência, são expostos os resultados referentes à integração dos componentes, à ferramenta computacional para medição de SNR, à caracterização da granja, ao planejamento da RSSF e à avaliação econômica.

5.1. Integração dos componentes

Os sensores simulados foram integrados ao módulo Xbee através de um canal serial RS-232. Os dados provindos destes sensores são encapsulados pela pilha de protocolo ZigBee.

Pelo meio físico aéreo, o módulo Xbee da plataforma de monitoramento envia os dados para o Xbee do concentrador, que por sua vez desempacota estes e disponibiliza em um canal serial RS-232.

Através do canal serial, os dados são enviados ao conversor serial/ Wi-Fi, que empacota novamente os dados, porém agora no protocolo TCP/IP e podem ser acessados via padrão 802.11b de rede sem fio. A Figura 22 ilustra a integração dos componentes na perspectiva das pilhas de protocolos.

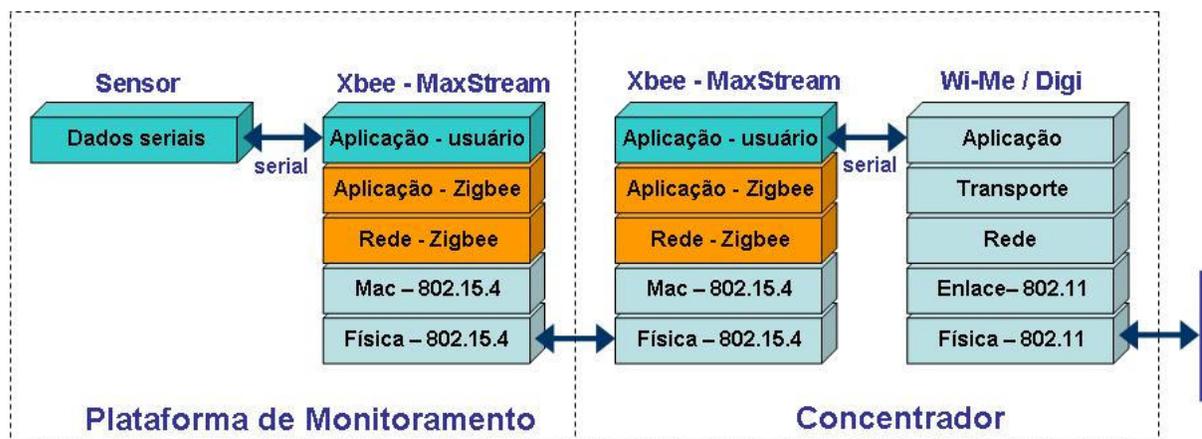


Figura 22 – Integração das pilhas de protocolos

O dispositivo Xbee isolado consiste na plataforma de monitoramento e o dispositivo Xbee, conectado com o INT 550, via cabo serial, formam a unidade do concentrador (Figura 23).



Figura 23 – Componentes integrados

5.2. Ferramenta computacional para medição de potência recebida

O algoritmo da ferramenta computacional desenvolvida é exposto na Figura 24. O primeiro passo do algoritmo é abrir a porta serial de comunicação e identificar o tipo de sensor a ser simulado. Em seguida é enviada a string para o módulo remoto que responde, através de um *loop-back*, a mesma mensagem. Caso o recebimento não seja confirmado, incrementa-se os pacotes perdidos.

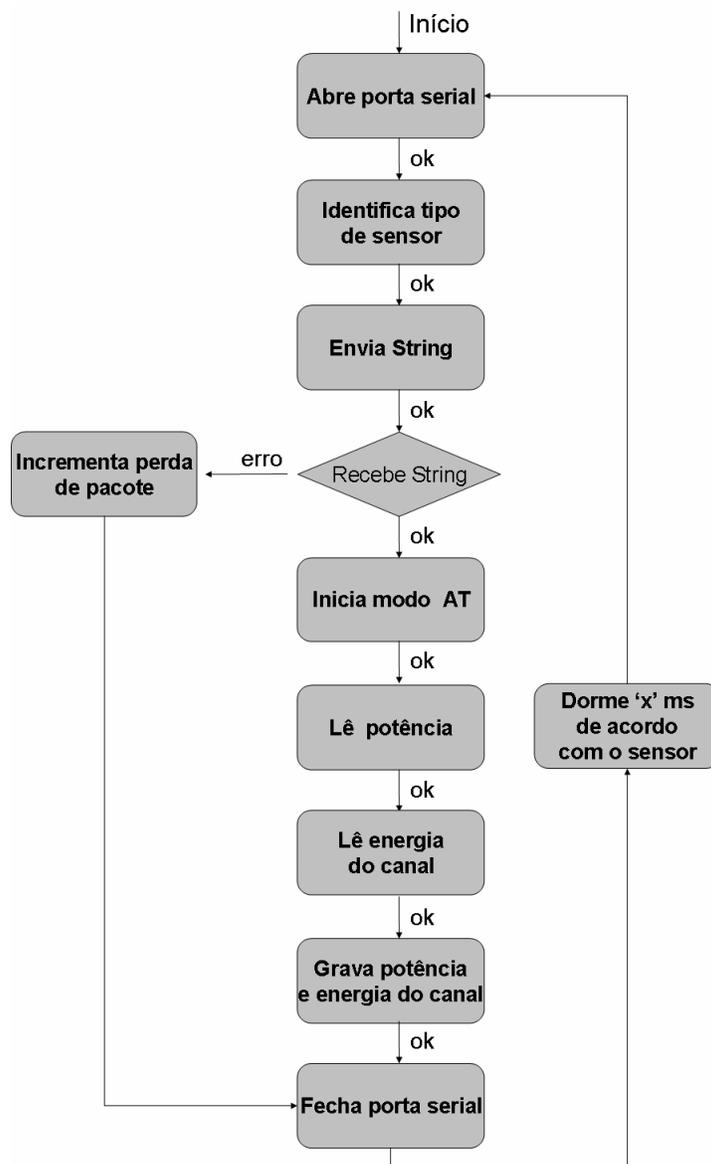


Figura 24 – Algoritmo para medição de potência

Caso afirmativo, se a resposta chegou íntegra, inicia-se os comandos AT através da seqüência de caracteres “+++”. Então, lê-se a potência de recebida (comando ATDB). Em seguida, através do comando ATED faz-se a leitura da energia contida no canal quando este está inoperante. Ambas as medidas, são gravadas em um arquivo texto. Fecha-se então a porta serial e, de acordo com a freqüência de aquisição do sensor simulado, o software permanece dormente até reiniciar o processo novamente.

Nas medidas de campo, este processo se repetiu 100 vezes para cada ponto medido, a cada 10 segundos. Na Figura 25 é exibida a tela desta ferramenta computacional

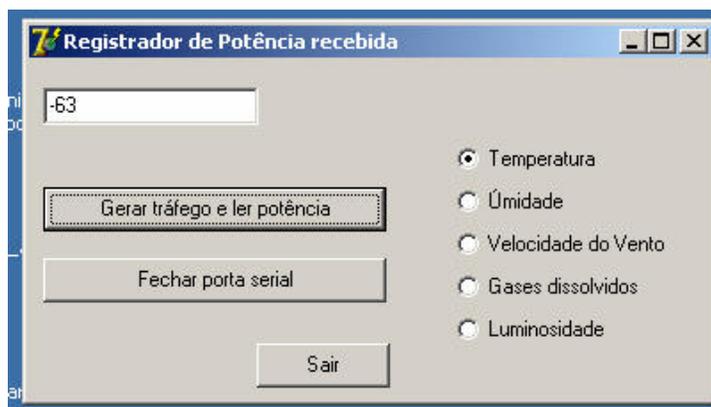


Figura 25 – Tela do Software registrador de potência de recepção

5.3. Caracterização da Granja

Especialmente, a granja possui 125 metros de comprimento, 12 metros de largura e pé direito de 3,5 metros. Os equipamentos da granja são distribuídos ao longo do galpão a uma altura de 30 centímetros do solo (Figura 26). A estrutura é composta de pilares de concreto e tela metálica com espaçamento de 4 centímetros. Entre cada galpão, a distância é de aproximadamente 10 metros.



Figura 26 – Galpão de aves onde foram realizados os ensaios

Ao longo do galpão existem três linhas de comedouros e cinco linhas de bebedouros suspensos por cabos de aço. Os comedouros são automáticos e utilizam motor elétrico para movimentar a rosca sem fim que abastece as tigelas. Já o sistema dos bebedouros utiliza a gravidade para manter a oferta de água. A Figura 27 ilustra como estas linhas estão dispostas no galpão.

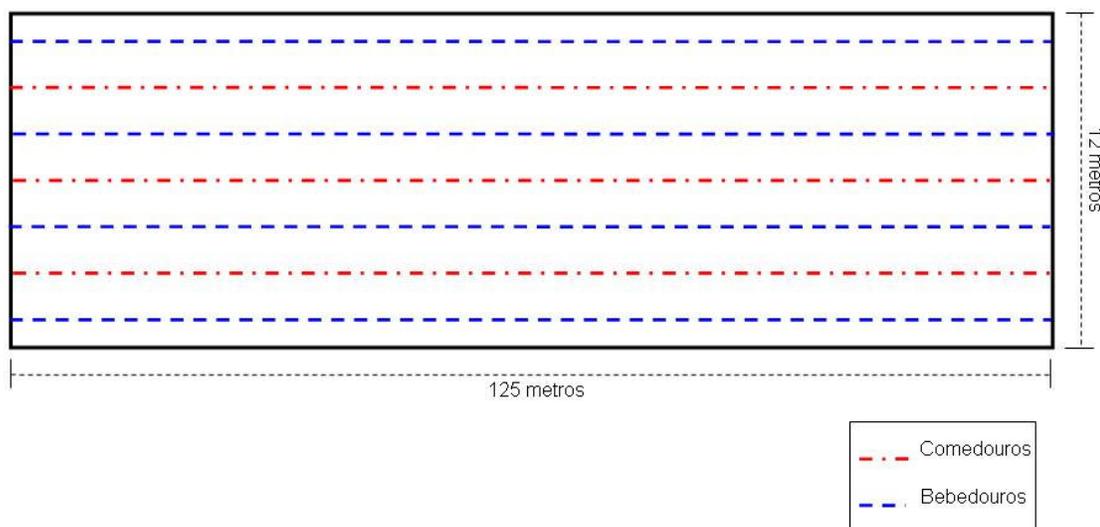


Figura 27 – Disposição dos comedouros e bebedouros

Duas linhas de medição foram traçadas para guiar as medidas de campo, uma longitudinal ao galpão, percorrendo toda a granja (Longitudinal) e outra, a Diagonal, foi traçada de tal maneira para existir um maior número de obstáculos entre os dois módulos, entre as duas extremidades existem três tigelas comedouros e as quatro linhas de bebedouros. As linhas de medição estão traçadas na Figura 28.

Esta configuração de medidas foi concebida para obter as melhores condições, do ponto de vista de propagação de sinais, na longitudinal, onde não há obstáculos físicos e, a pior condição, maior número de obstáculos, na diagonal.

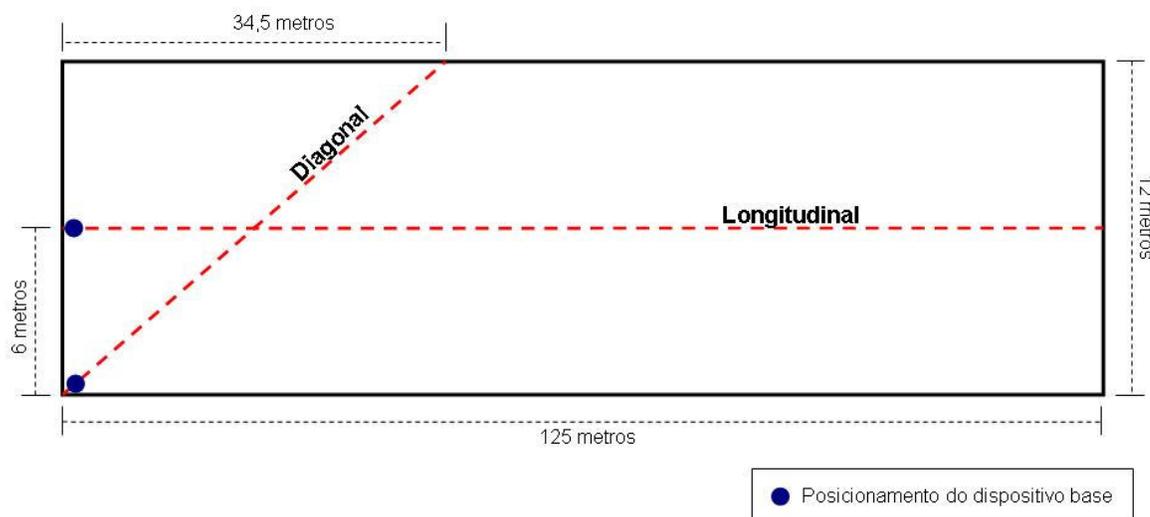


Figura 28 – Posicionamento das linhas de medição no galpão

Os dispositivos Xbee foram posicionados a 30 centímetros do solo, altura próxima as aves e aos equipamentos (bebedouros e comedouros), local ideal para posicionar os sensores, porém implica num maior número de obstáculos para a propagação de sinais.

O dispositivo conectado ao microcomputador permaneceu no início da linha de medição, enquanto o outro dispositivo percorria a linha de medição.

Na Figura 29 mostra a foto do Xbee conectado ao computador e o dispositivo que percorreu as linhas de medição.



Figura 29 – Dispositivos Xbee dentro da granja, conectado ao computador (esquerda) e dispositivo móvel (direita)

A primeira linha de medição sob a qual se realizou as medidas possui 125 metros, comprimento total da granja. Na Tabela 1 mostrou-se os valores médios de potência, ruído e SNR obtidos em cada ponto.

Tabela 1 – Valores médios de potência recebida, ruído detectado e SNR para diferentes distâncias na Longitudinal

Distância (m)	Potência (dBm)	Ruído (dBm)	SNR (dB)
5	-52,80	-90,11	37,31
10	-55,00	-90,99	35,99
15	-70,70	-91,29	20,59
20	-60,33	-90,14	29,80
25	-71,20	-91,97	20,77
30	-66,00	-91,21	25,21
40	-79,33	-90,35	11,02
50	-72,00	-90,45	18,45
75	-87,29	-90,10	2,81
100	-83,00	-90,94	7,94
125	-80,70	-90,94	10,24

A partir dos dados tabelados, obteve-se o gráfico da Figura 30 de dispersão da SNR pela sua respectiva distância.

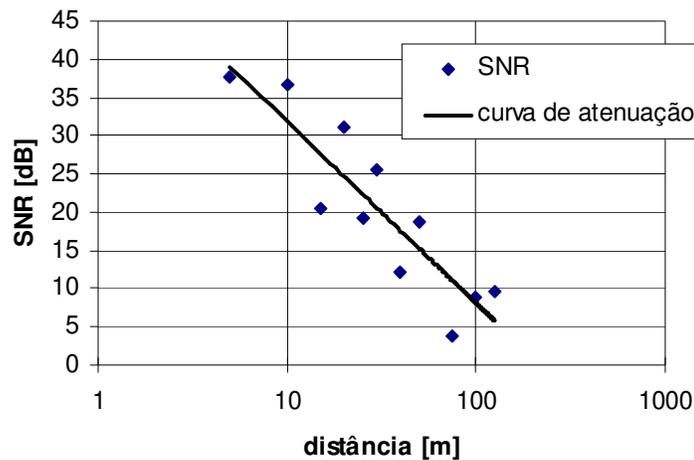


Figura 30 – Gráfico de variação da SNR pela distância na longitudinal

A curva na Figura 30 representa a curva de tendência logarítmica dos pontos medidos, que obteve um coeficiente de determinação razoável, igual a 0,80, uma vez que varia de zero a um. O coeficiente de determinação expressa o quanto fiel à regressão é em relação à distribuição das medidas.

A equação representante desta curva é:

$$SNR[dB] = -2,370 \times 10 \log(d) + 55,250 \quad \text{Equação 10}$$

Segundo o modelo de predição Shadowing, o valor de β é igual a 2,370, característico para a longitudinal.

Comparando com o espaço livre, conclui-se que devido às condições físicas (obstáculos) existentes na granja, o β da longitudinal é 1,370 maior que os 2 dB característicos do espaço livre.

Para a segunda bateria de medidas, realizadas sob a diagonal, obteve-se a Tabela 2, na qual são expostos os valores obtidos, em diferentes distâncias, de potência recebida, ruído detectado e SNR médios.

Tabela 2 - Valores médios de potência recebida, ruído detectado e SNR para diferentes distâncias na diagonal

Distância (m)	Potência (dBm)	Ruído (dBm)	SNR (dB)
2,61	-47,60	-90,81	43,21
5,22	-53,60	-90,45	36,85
10,44	-56,80	-90,76	33,96
15,66	-67,33	-90,44	23,11
20,88	-73,43	-91,97	18,54
26,1	-78,50	-91,38	12,88
36,54	-69,50	-91,51	22,01

Em seguida, os mesmos dados apresentados na Tabela 2 são apresentados em forma gráfica (Figura 31).

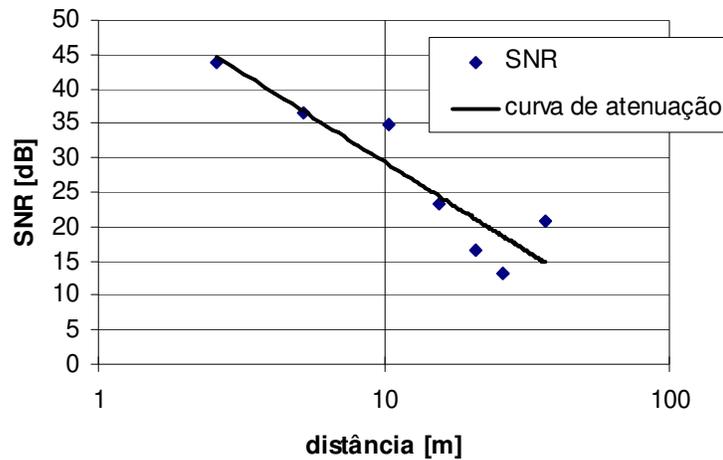


Figura 31 - Gráfico de variação da SNR pela distância na diagonal

A curva na Figura 31 representa a curva de tendência logarítmica dos pontos medidos na Diagonal, que obteve um coeficiente de determinação razoável, igual a 0,92. A equação representante desta curva é:

$$SNR[dB] = -2,462 \times 10 \log(d) + 54,120 \quad \text{Equação 11}$$

Novamente, segundo o modelo de predição *Shadowing*, o valor de β é igual a 2,462, característico para a diagonal.

Comparando com o espaço livre, conclui-se que devido às condições físicas (obstáculos) existentes na granja, o β da diagonal é 1,462 maior que os 2 dB característicos do espaço livre.

Para representar a equação característica da granja será utilizado o pior caso obtido nas medições. A curva da diagonal tem o valor de β maior, assim como tem o *offset* (X) menor, logo os piores resultados de SNR serão obtidos na Diagonal.

Estas características da diagonal eram esperadas, uma vez que o número de obstáculos existentes eram maiores que na longitudinal. Portanto a equação característica da granja é igual à equação da Diagonal (Equação 10).

A Figura 32 representa a curva característica da granja já extrapolada, de 1 metro a, aproximadamente, 155 metros.

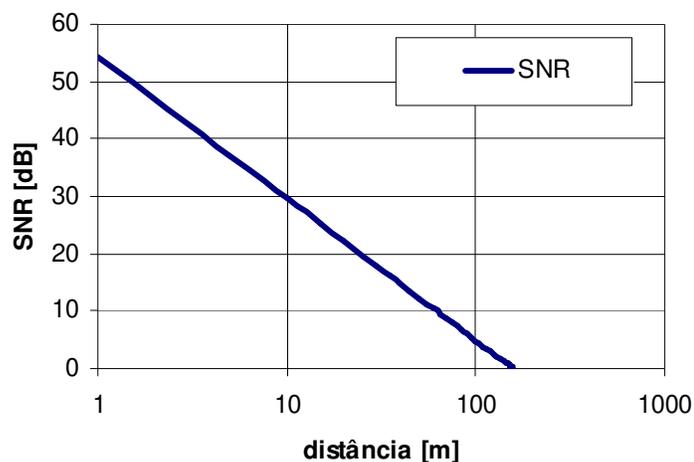


Figura 32 – Curva característica da granja

Para este desenvolvimento, foi assumido que uma taxa de erro de bit (BER) de 10^{-6} é razoável, pois garante uma taxa de erro de pacote (*Packet Error Ratio*, PER) de aproximadamente 1% (802.15.4, 2003). Esta taxa de erro obtida é muito confortável se levado em conta que este erro ainda pode ser corrigido pela aplicação, através de mecanismos de retransmissão de pacotes perdidos.

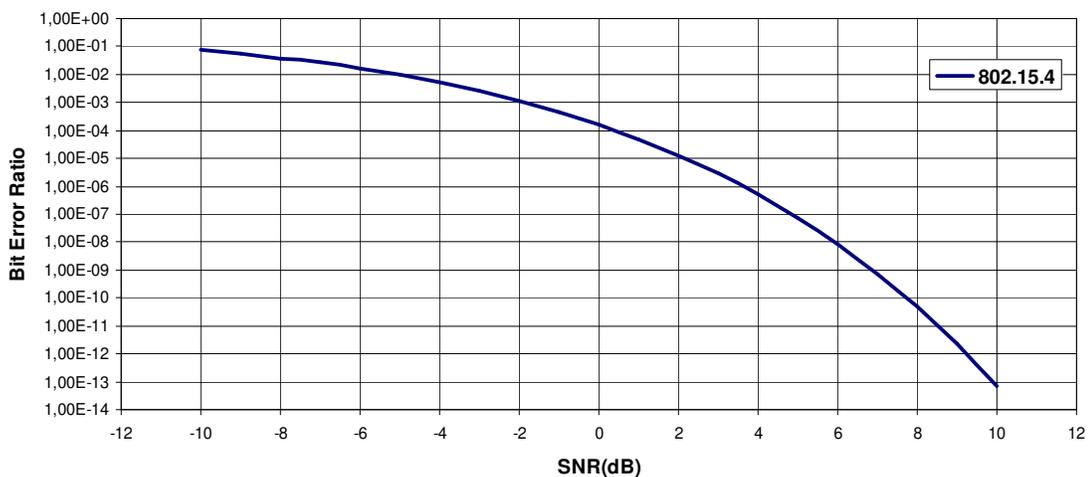


Figura 33 – Taxa de erro de bit pela SNR para IEE 802.15.4
(Adaptado de 802.15.4, 2003)

De acordo com a Figura 33, que relaciona a BER com a SNR para diferentes tecnologias, com 3,5 dB consegue-se a BER de 10^{-6} .

Recorrendo a curva característica da granja, com 3,5 dB de SNR, consegue-se transmitir a aproximadamente 114 metros, sendo que a distância máxima dentro da granja é de 125 metros, logo, o concentrador deve ser posicionado estrategicamente, de modo que todas as plataformas de monitoramento estejam a uma distância inferior a 114 metros dele.

Resgatando o ruído médio máximo obtido na granja, que foi de -90,10 dBm e considerando a SNR de 3,5 dB obtém-se uma potência mínima de recepção de -86,60 dBm.

5.4. Planejamento da RSSF

O planejamento da RSSF foi realizado prevendo três sensores de temperatura, três sensores de umidade relativa do ar, um de velocidade do vento, um de gases dissolvidos e um de luminosidade.

- Plataforma de Monitoramento para temperatura: **PM1, PM4 e PM9**;
- Plataforma de Monitoramento para umidade relativa do ar: **PM2, PM3 e PM7**;
- Plataforma de Monitoramento para velocidade do vento: **PM6**;
- Plataforma de Monitoramento para gases dissolvidos: **PM8**;
- Plataforma de Monitoramento para luminosidade: **PM5**.

A Figura 34 ilustra a distribuição dos dispositivos no galpão. O concentrador posicionado no centro geométrico e as plataformas de monitoramento dispostos em três linhas longitudinais, de maneira a coincidir com linhas de bebedouro ou comedouro. O critério utilizado para esta distribuição foi espalhar ao máximo os sensores, não deixando sensores iguais próximos, porém seguindo a linha de comedouros e bebedouros, assim como é realizado atualmente na granja.

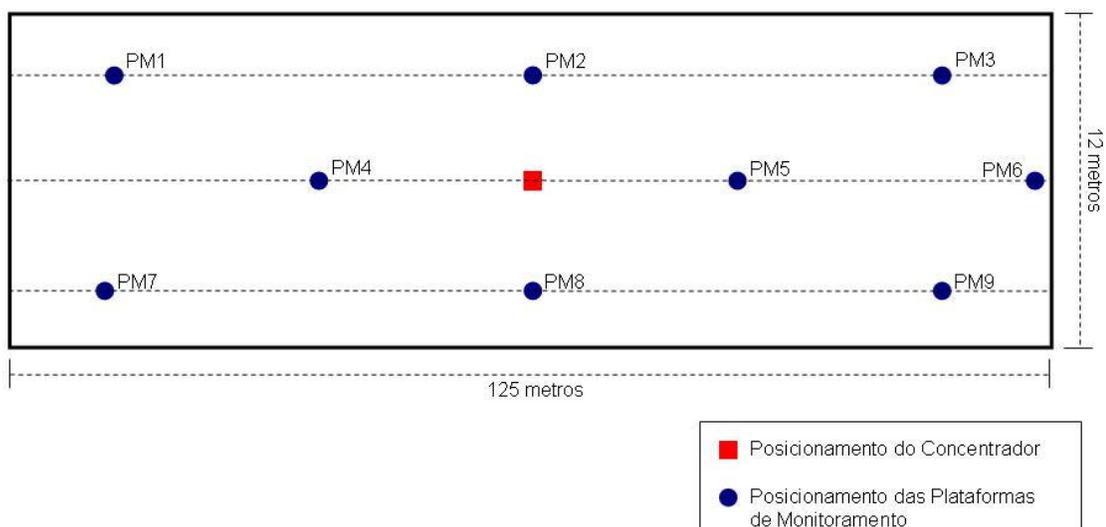


Figura 34 - Disposição das Plataformas de Monitoramento no galpão

As distâncias obtidas para esta distribuição estão na Tabela 3. Nesta mesma tabela, tem-se a SNR para cada ponto, a SNR mínima necessária para uma BER de 10^{-6} , a potência em excesso obtida pela diferença entre a SNR e a SNR mínima e a potência imediatamente superior a potência excessiva que pode ser configurada nos módulos Xbee.

Tabela 3 - Ajustes de potência para as distâncias obtidas das Plataformas de Monitoramento

Plataforma de monitoramento	Distância do concentrador (m)	SNR (dB)	SNR para BER=10-6 (dBm)	Potência de transmissão em excesso (dBm)	Potência de transmissão a ser configurada (dBm)
PM1	57,00	12,27	3,50	-8,77	-6,00
PM2	4,00	40,14	3,50	-36,64	-10,00
PM3	57,00	12,27	3,50	-8,77	-6,00
PM4	15,00	26,27	3,50	-22,77	-10,00
PM5	15,00	26,27	3,50	-22,77	-10,00
PM6	60,00	11,73	3,50	-8,23	-6,00
PM7	57,00	12,27	3,50	-8,77	-6,00
PM8	4,00	40,14	3,50	-36,64	-10,00
PM9	57,00	12,27	3,50	-8,77	-6,00

Vale destacar que a curva de SNR pela distância (Figura 32) foi obtida com os módulos transmitindo a 0 dBm. Como o balanço mostrado na Tabela 3 pode-se configurar estes módulos de maneira a racionalizar o uso de potência.

Quando as aves estiverem confinadas, na primeira fase da engorda, as plataformas de monitoramento podem ser deslocadas para dentro da área de confinamento, ficando mais próximas ao concentrador (Figura 35). Usualmente este espaço é delimitado por madeiras,

formando uma elipse no centro do galpão. Na granja Moretto é utilizada uma faixa de aproximadamente 20 metros no centro do galpão.

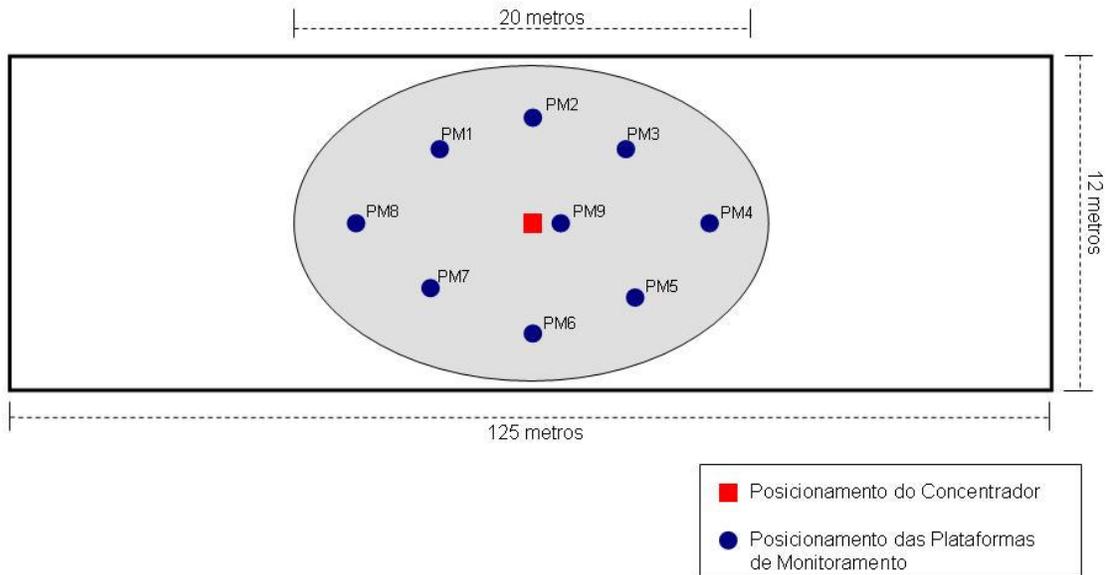


Figura 35 - Disposição das Plataformas de Monitoramento na primeira fase da engorda

As distâncias obtidas para esta distribuição mostram-se na Tabela 4. Nesta mesma tabela, tem-se a SNR para cada ponto, a SNR mínima necessária para uma BER de 10^{-6} , a potência em excesso obtida pela diferença entre a SNR e a SNR mínima e a potência imediatamente superior a potência excessiva que pode ser configurada nos módulos Xbee.

Tabela 4 – Ajustes de potência para as distâncias obtidas em confinamento das Plataformas de Monitoramento

Plataforma de monitoramento	Distância do concentrador (m)	SNR (dB)	SNR para BER=10 ⁻⁶ (dBm)	Potência de transmissão em excesso (dBm)	Potência de transmissão a ser configurada (dBm)
PM1	5,00	37,80	3,50	-34,30	-10,00
PM2	6,00	35,89	3,50	-32,39	-10,00
PM3	5,00	37,80	3,50	-34,30	-10,00
PM4	4,00	40,14	3,50	-36,64	-10,00
PM5	5,00	37,80	3,50	-34,30	-10,00
PM6	6,00	35,89	3,50	-32,39	-10,00
PM7	5,00	37,80	3,50	-34,30	-10,00
PM8	4,00	40,14	3,50	-36,64	-10,00
PM9	1,00	54,69	3,50	-51,19	-10,00

Nota-se que, para esta fase do processo, todas as plataformas de monitoramento podem ser configuradas com a potência mínima do módulo (-10 dBm).

5.4.1. Alocação de Canais

Para determinar qual o melhor canal para ser utilizado neste ambiente foi realizada em campo 100 amostras do ruído nos 16 canais. Destas 100 amostras obtiveram-se as médias. Como o canal 13 tem o menor ruído médio, ele foi utilizado para normalizar os demais (Tabela 5).

Tabela 5 – Ruído médio e ruído normalizado para os 16 canais

Canal 802.15.4	Ruído médio (dBm)	Ruído normalizado (dBr)
11	-91,00	0,41
12	-91,32	0,09
13	-91,41	0,00
14	-91,10	0,31
15	-91,22	0,19
16	-91,24	0,17
17	-91,07	0,34
18	-90,89	0,52
19	-91,26	0,15
20	-90,78	0,63
21	-90,71	0,70
22	-90,76	0,65
23	-90,89	0,52
24	-90,84	0,57
25	-91,02	0,39
26	-91,35	0,06

Destas Tabela 5 gerou-se o gráfico da Figura 36 de ruído normalizado por canal. Diante dos níveis baixos de ruído apresentados em todos os canais, poderia-se utilizar qualquer canal. No entanto, segundo esta classificação, identifica-se que os canais 12, 13, 15, 16, 19 e 26 são aqueles que apresentam menor ruído.

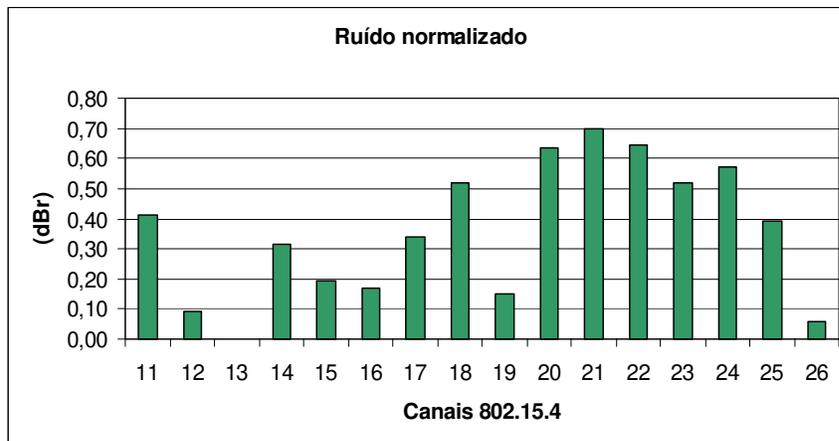


Figura 36 – Ruído normalizado presentes nos 16 canais

Para a implementação em um único galpão, utilizar o canal 12 do Zigbee combinado com o canal 11 do Wi-Fi é uma boa solução. Entre a banda utilizada pela rede Zigbee e a banda utilizada pela conexão Wi-Fi existem 40 MHz (Figura 37), um espaçamento suficiente para que não haja interferência entre ambas (802.15.4, 2003).

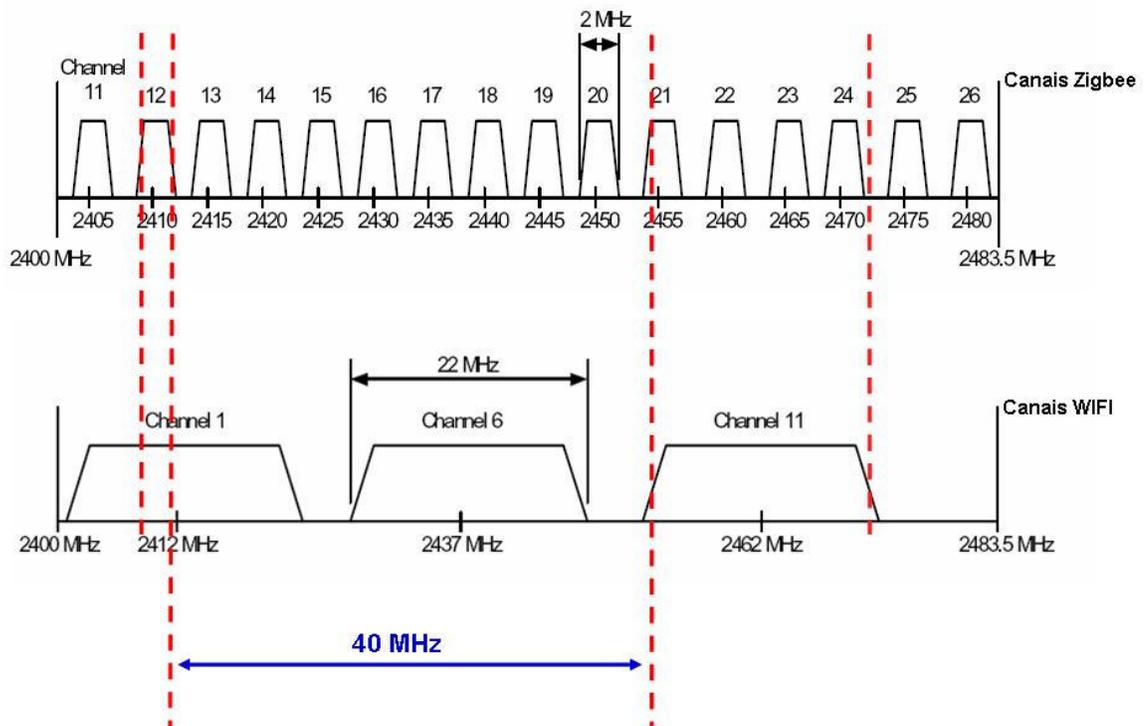


Figura 37 – Alocação de canais

Entretanto, como existem diversos galpões na granja, distanciados de aproximadamente 10 metros, faz-se necessário o planejamento dos canais utilizados para as redes Zigbee. Este distanciamento de 10 metros faz com que alguns dispositivos, dependendo de sua posição dentro do galpão, estejam mais próximos de dispositivos de outro galpão. Se fosse utilizado um mesmo canal para todos os galpões, ocorreria um uso mais intenso do canal no tempo, podendo dificultar o acesso ao meio e sobrecarregar os algoritmos CSMA-CA.

Este algoritmo utiliza uma referência de energia detectada no canal para decidir se inicia a transmissão ou aguarda um determinado tempo. Para determinar qual é a referência ideal para a granja, calculou-se o pior caso que pode ser encontrado. Situação na qual dispositivos de galpões diferentes estariam gerando interferência um no outro.

Entre duas plataformas de monitoramento de um mesmo galpão, a maior distância possível entre elas é de 125 metros. Recorrendo a Figura 32 (curva característica da granja), a 125 metros tem-se uma SNR de aproximadamente 2,5 dB.

O ruído máximo encontrado na granja foi de -90,10 dBm. Somando a SNR de 2,5dB a este ruído, obtém-se -87,60 dBm. Ou seja, quando uma das plataformas de monitoramento (PM) esta comunicando com o concentrador, a outra PM, a 125 metros, detecta no canal uma energia de -87,60 dBm. Ou seja, a potência de ruído detectada sob a qual o algoritmo CSMA-CA deveria aguardar para iniciar a transmissão é de -87,60 dBm.

Entretanto, segundo (XBEE, 2006), -80 dBm é o valor mais próximo a esta referência que pode ser configurável nos módulos Xbee. Este valor de referência significa que, para reutilizar o mesmo canal em outro galpão, este deve estar distante de maneira tal que os sinais detectados por outro galpão não ultrapasse o valor de -80 dBm.

Neste trabalho, não foi determinado o valor de β para propagação de sinais entre galpões, porém como a estrutura das granjas é de concreto e tela, é certo que este β , se medido, seria maior que o β interno do galpão, logo, para o cálculo de reuso de canal foi utilizado o β do galpão.

Partindo novamente do ruído máximo encontrado na granja, -90,10 dBm, a SNR de um sinal de -80 dBm é de 10,10 dB. Recorrendo a Figura 32, 10,10 dB de SNR é obtida a uma distância de 62 metros. Esta é a distância mínima entre galpões que utilizam a mesma frequência.

Como os galpões possuem 12 metros de largura e estão distantes um do outro de 10 metros, o mesmo canal só poderá ser utilizado quatro galpões após o primeiro (contabilizando 76 metros) (Figura 38). Logo, são necessários 4 canais para o reuso de frequência.

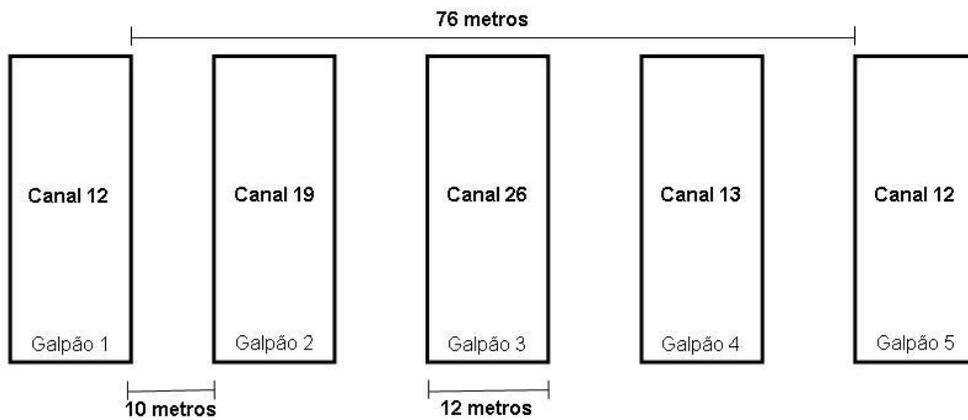


Figura 38 – Reuso de canais nos galpões

Observando ao gráfico da Figura 36, identifica-se os quatro canais com o nível de ruído mais baixo que foram utilizados: 12, 13, 19 e 26.

5.4.2. *Profile* de configuração da rede

Como resultado deste trabalho, confeccionou-se um *profile* de configuração da rede (Tabela 6), descrevendo todas as configurações que devem ser feitas para o funcionamento da rede. Vale ressaltar que os parâmetros foram obtidos pela característica dos sensores utilizados, pela disposição destes no ambiente, pela característica de propagação (β) da granja e pelos desdobramentos que estas características exercem nas camadas física e de enlace da rede Zigbee.

Tabela 6 – Profile de configuração da rede

Descrição	Comando	Concentrador	PM1	PM2	PM3	PM4
habilita coordenador	ATCE	sim	não	não	não	não
configura end device	ATA1	não	sim	sim	sim	sim
configura coordenador	ATA2	-	-	-	-	-
endereço	ATMY	0x0000	0x0001	0x0002	0x0003	0x0004
destino	ATDH/ATDL	0xFFFF	0x0000	0x0000	0x0000	0x0000
canal	ATCH	12	12	12	12	12
taxa de transmissão	ATBD	9600 kbps	9600 kbps	9600 kbps	9600 kbps	9600 kbps
potência transmissor	ATPL	0 dBm	(-) 6 dBm	(-) 10 dBm	(-) 6 dBm	(-) 10 dBm
limite CSMA-CA	ATCA	(-) 80 dBm	(-) 80 dBm	(-) 80 dBm	(-) 80 dBm	(-) 80 dBm
tempo mínimo CSMA-CA	ATRN	1	2	3	1	2
modo adormecido	ATSM	não	sim	sim	sim	sim
tempo adormecido	ATSP	-	1 min	1 min	1 min	1 min

Descrição	Comando	PM5	PM6	PM7	PM8	PM9
habilita coordenador	ATCE	não	não	não	não	não
configura end device	ATA1	sim	sim	sim	sim	sim
configura coordenador	ATA2	-	-	-	-	-
endereço	ATMY	0x0005	0x0006	0x0007	0x0008	0x0009
destino	ATDH/ATDL	0x0000	0x0000	0x0000	0x0000	0x0000
canal	ATCH	12	12	12	12	12
taxa de transmissão	ATBD	9600 kbps				
potência transmissor	ATPL	(-) 10 dBm	(-) 6 dBm	(-) 6 dBm	(-) 10 dBm	(-) 6 dBm
limite CSMA-CA	ATCA	(-) 80 dBm				
tempo mínimo CSMA-CA	ATRN	3	1	2	3	1
modo adormecido	ATSM	sim	sim	sim	sim	sim
tempo adormecido	ATSP	10 min	10 min	1 min	10 min	1 min

As características de cada sensor determinaram diretamente o tempo que ele permanece adormecido e a taxa de transmissão.

Este *profile* foi baseado na rede distribuída sobre todo o galpão, pois as potências de transmissão variam. No caso do sistema confinado, no qual os frangos se concentram no centro da granja, todas as potências de transmissão seriam iguais a -10 dBm, exceto a potência do concentrador. O endereçamento e destino dos pacotes foram baseados na arquitetura estrela proposta para a rede.

5.4.2. Guia de planejamento de RSSF

Como produto da metodologia aplicada neste trabalho, foi possível organizar um guia de planejamento de RSSF para granja de frango. Este guia contém os oito passos necessários para

que a implantação de RSSF em granjas de frango de corte seja feita com êxito, sob a perspectiva de propagação de sinais (Figura 39).



Figura 39 – Guia de planejamento de RSSF

A Figura 39 mostra os oito passos mais a etapa pós-planejamento de implantação física da RSSF. A seguir são descritos os passos.

- Caracterização espacial do ambiente: elaboração de croqui das dimensões do ambiente e da disposição dos objetos. A partir deste reconhecimento serão determinadas as melhores linhas de medição para a posterior determinação da curva de atenuação característica.
- Determinar as grandezas a serem mensuradas: a partir das necessidades de controle para a granja em questão deve-se determinar quais as grandezas que serão monitoradas, a quantidade de sensores necessários, assim como identificar a melhor posição destes.
- Caracterização das grandezas: nesta etapa deve-se dimensionar a frequência de aquisição de cada sensor, a resolução necessária e o tamanho de cada informação. Com estas informações é possível identificar a demanda de tráfego de informação.
- Escolha da interface de RF: com o ambiente espacialmente caracterizado e com a demanda de tráfego dimensionada já é possível determinar as interfaces de RF disponíveis no mercado mais adequadas. Dentre as tecnologias 802.15.4, existem variações entre fabricantes, como características das antenas, tamanho do buffer do canal serial e taxa de transmissão da serial.

- Determinação do β do ambiente: realização das medidas de campo, da compilação dos dados e da determinação da curva de atenuação característica, segundo o modelo de Shadowing.
- Determinação do posicionamento dos dispositivos: confrontando a curva de atenuação com o gráfico de SNR versus BER, da norma IEEE 802.15.4 (2003), determina-se a distância máxima entre os dispositivos. A partir da distância máxima permitida, posiciona-se os dispositivos (plataformas de monitoramento e concentrador), levando em conta também as melhores posições para cada sensor obtidas no segundo passo deste guia.
- Alocação de canais: a partir das medidas de campo é possível identificar quais canais possuem níveis de ruído menores. Ainda, se a RSSF for implantada em mais de um galpão dentro da granja faz-se necessário planejar o reuso dos canais para que não haja interferência entre eles.
- Elaboração do *profile* de configuração: para cada dispositivo da rede é necessário especificar os parâmetros habilita coordenador, configura *end device*, configura coordenador, endereço, destino, canal, taxa de transmissão, potência transmissor, limite CSMA-CA, tempo mínimo CSMA-CA, modo adormecido e tempo adormecido.

Após estes oito passos pode-se executar a implementação da RSSF de maneira mais assertiva quanto às questões de propagação de sinais dentro do ambiente da granja.

5.5. Avaliação econômica do protótipo

A avaliação econômica da solução fornece elementos importantes para a um futuro plano de negócios para empresas que queiram comercializá-lo e, por outro lado, contextualiza se o setor tem capacidade para absorver a tecnologia.

Para a avaliação econômica da solução levantou-se o custo para o desenvolvimento do protótipo, basicamente composto pelo preço dos componentes usados (Tabela 7), nos casos dos sensores e conectores foi feita uma estimativa média de preço. Paralelamente, caracterizaram-se os potenciais usuários desta tecnologia quanto à capacidade de absorção, ou

seja, em quanto tempo eles conseguem recuperar o capital investido, levando em conta o custo do capital e o valor que é agregado ao se adotar esta tecnologia.

Tabela 7 – Custo do protótipo

Descrição	preço (R\$)	unidades	total (R\$)
WI-ME	260,00	1	260,00
XBEE	57,00	10	570,00
baterias	12,99	10	129,90
sensores temperatura, umidade, etc	50,00	10	500,00
conectores	5,00	10	50,00
diversos	100,00	1	100,00
custo do protótipo por galpão -->			1.609,90

Para os equipamentos importados WI-ME e Xbee, utilizou-se a cotação do dólar de R\$ 1,95 (11/2007). Para estimar o valor agregado foram considerados os sistemas de integração na produção de aves da região de Amparo, Tuiuti, Bragança Paulista e Jaguariúna, no período de novembro a dezembro de 2007, através de consultas aos produtores. Nestes sistemas a empresa integradora fornece os pintos, a ração, os medicamentos, a assistência técnica, o transporte e realiza o abate e a industrialização do produto, já o produtor integrado é responsável pela infra-estrutura dos galpões, água, energia e mão-de-obra no trato dos animais.

Como a incorporação desta tecnologia proposta resulta em melhoria na infra-estrutura e pode subsidiar melhores técnicas de manejo, a análise foi focada no produtor.

O cenário de análise foi composto por um ganho de um centavo por animal, pago pela empresa integradora, para aquele produtor que adota tecnologia, em média de 25 mil aves por galpão, considerando uma mortalidade de 2,64%, com 5,5 criadas ao ano, sob um custo do capital de 3% ao mês (Tabela 8).

Tabela 8 – Valor agregado

valores de Mercado		
preço pago/ave	ganho médio	ganho %
R\$ 0,30	R\$ 0,01	3,33
Dados médios de produtores		
aves galpão	abates no ano	perdas% ano
25000	5,5	2,64
Faturamento		
total faturado/ano	ganho no ano	ganho mês
R\$ 40.161,00	R\$ 2.208,86	R\$ 184,07

Neste cenário o produtor agrega, ao mês, o valor de R\$ 184,07 caso adotar a tecnologia proposta. Partindo do pressuposto que este valor agregado seja utilizado para quitar a dívida adquirida para a aquisição da RSSF, apresenta-se na Tabela 9 a perspectiva de tempo para o retorno de capital.

Os dados de preço pago por ave e o ganho médio com o uso da tecnologia foram fornecidos pela empresa integradora. Já o número de aves por galpão e o número de abates ao ano foram fornecidos por funcionários da Granja Moretto. As perdas ao ano por mortalidade foram extraídas do site da Associação Paulista de Avicultura (dados de 2006).

Tabela 9 – Perspectiva de retorno do capital

Parcela	Valor da Parcela (R\$)	Valor devido (R\$)
1	184,07	1658,20
2	184,07	1518,35
3	184,07	1374,31
4	184,07	1225,95
5	184,07	1073,13
6	184,07	915,73
7	184,07	753,61
8	184,07	586,63
9	184,07	414,64
10	184,07	237,48
11	55,02	55,02

Segundo este cenário econômico a incorporação da tecnologia se paga em 11 meses, considerando um custo de capital de 3% e sem levar em consideração os possíveis ganhos de produtividade e ganhos com uso racional dos recursos como água e energia.

Cabe também observar na avaliação econômica as questões legais de propriedade intelectual. Em pesquisa realizada no INPI (Instituto Nacional de Propriedade Intelectual), datada em 11 de outubro de 2007, não foi identificada nenhuma patente para sistemas de rede de sensores sem fio para produção de animais em ambiente controlado. Ou seja, pode ser cabível uma patente para o sistema.

6. CONCLUSÕES

Ao final do trabalho pode-se concluir que:

- A integração dos componentes foi bem sucedida e estruturou um hardware que atendeu as demandas deste trabalho, para atender uma granja de frango de corte;
- A ferramenta computacional desenvolvida denominada “registorador de potência recebida” mostrou-se eficiente para as medições de potência de sinal e de energia de canal;
- O modelo adaptado *Shadowing* de predição de sinais mostrou-se eficaz para a caracterização do ambiente no qual se pretende instalar uma RSSF;
- A curva de atenuação obtida indica que, sob a perspectiva de propagação de sinais, a solução de RSSF proposta neste trabalho pode ser aplicada na granja com êxito;
- De acordo com o estudo de reuso de frequência, mostrou-se viável utilizar apenas 4 dos 16 disponíveis para atender todos os galpões da granja.
- De acordo com *profile* de rede confeccionado, é possível calibrar corretamente as camadas de enlace e física dos dispositivos. Este ajuste é fundamental nas RSSF, pois evita o desperdício de potência, aumentando a vida útil das fontes de alimentação, além de propiciar o uso racional do espectro eletromagnético, principalmente na faixa de 2,4 GHz, que se torna cada vez mais congestionada;
- O guia de planejamento de RSSF fornece subsídios para que a fase de pré-implantação física seja realizada com êxito, sob o ponto de vista da propagação de sinais no ambiente em questão.
- De acordo com a avaliação econômica, a RSSF tem preços acessíveis ao setor avícola e pode ser uma alternativa para agregar valor a atividade.

7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Durante a realização deste trabalho deparou-se com obstáculos de ordem técnica que permitem sugerir os seguintes temas para trabalhos futuros:

- Montar a RSSF em campo e realizar testes de desempenho com todos os dispositivos e tipos de sensores diferentes simultaneamente;
- Utilizar diretamente os objetos da camada de aplicação do Zigbee, ao invés de utilizar os comandos AT para interagir com eles. O acesso direto daria maior autonomia para configurar as camadas de MAC e física, proporcionando maior desempenho a RSSF;
- Fazer estudo e implementação do acoplamento de sensores aos dispositivos Xbee;
- Fazer estudo do consumo de potência e vida útil das baterias nesta rede.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANATEL, Agência Nacional de Telecomunicação, Disponível em: <<http://www.anatel.gov.br/>> Acesso em: janeiro 2007.
- ANDRIGUETO, J. R.; KOSOSKI, A. R. **Desenvolvimento e Conquistas da Produção Integrada de Frutas no Brasil**. Brasília, DF, 2005.
- ANDRIGUETO, J. R.; KOSOSKI, A. R. (Org.). **Marco Legal da Produção Integrada de Frutas do Brasil**. Brasília. DF: MAPA-SARC, 2002. 60p.
- ARAUJO, V. M. R. H. **Sistemas de informação: nova abordagem teórico-conceitual**. Ciência da Informação – Vol 24, número 1. Rio de Janeiro, 1995.
- CANOVAS, S. R. M. et al. **Remote Monitoring Based on LonWorks Technology: A greenhouse application**. American Society of Agricultural and Biological Engineers. 2006.
- CAPPELLI, N. L. **Agricultura de Precisão - Novas tecnologias para o processo produtivo**. GIP – Agricultura de Precisão, Campinas, 1997. Boletim Eletrônico... Disponível em: <<http://www.bases.cnptia.embrapa.br/cria/gip/gipap/capelli.htm> >. Acesso em: setembro 2005.
- CAMPOS, C. F. P. S. **Estudo e especificação de um sistema de instrumentação para unidades de elevação de petróleo utilizando tecnologia sem fio**. Dissertação (Mestrado em engenharia elétrica), UFRN, Natal, 2006.
- CHAUDHARY S.; SORATHIA, V.; LALIWALA, Z. **Architecture of Sensor based Agricultural Information System for Effective Planning of Farm Activities**. IEEE International Conference on Services Computing. 2004.
- CARVALHO, L. O. M.; CUNHA, P. S.. **Seminário de Redes de Computadores II :802.15.4 e ZigBee**. 2004. <http://www.gta.ufrj.br/~rezende/cursos/eel879/trabalhos/zigbee/index.html>. Acessado em agosto 2007.
- ECHELON, Corporation. **Instruction for LonWorks System**. Primeira Versão. 2005.
- ETSI, **European Telecommunication Standard Institute**. <http://www.etsi.org> Acesso em: agosto 2007.

FCC, Federal **Communications Commission**, Disponível em: <<http://www.fcc.gov/>> Acesso em: set 2007.

FONTES, I. R.; CAGNON, J. A.; RODRIGUES, J. M. **Sistema de supervisão e controle para casas de vegetação empregando rede wireless de sensores**. Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Bauru, Bauru, São Paulo. 2004.

GAIDZINSKI, V. H. **A Tecnologia da Informação no chão de fábrica: as novas ferramentas e a gestão integrada da informação**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis. 2003.

GUIMARÃES, A. A. **Protocolos de Comunicação em Sistemas Embarcados Automotivos, Aeroespaciais e Agroindustriais**. São Paulo, 2004. VI Seminário de E/E-AEA.

HAMRITA, T. K.; WICKLEN, G. V; CZARICK, M.; LACY, M. **Monitoring poultry deep body temperature using biotelemetry**. Applied Engineering in Agriculture ASAE, St. Joseph, v.14, n.3,p.327-31, 1998.

HAYKIN, S. **Communication Systems**. 4ª ed. USA: John Wiley & Sons Inc, 2000.

IBA, S. K; BRABET, C; OLIVEIRA, I, J; PALLET, D. **Um Panorama da Rastreabilidade dos Produtos Agropecuários do Brasil destinados à Exportação – carnes, soja e frutas-. Projeto Prosper**, São Paulo, 2003.

IEEE1451. **Smart transducer interface for sensors and actuators**. <http://standards.ieee.org>, 1998. Aceso em abril 2007.

ITU, **International Telecommunication Union**, Disponível em: <<http://www.itu.int/>> Acesso em: Acesso em março 2007.

KÉSIA O. DA SILVA. K.O. ; NÄÄS I. A. **Identificação eletrônica para avaliação do comportamento dos suínos na fase de gestação**. Revista de Engenharia Agrícola, v.2, n.2, p 322-329, Jaboticabal, SP. 2005.

KUROSE, J., ROSS, K. **Computer Nertworking**. 2ª Ed. Bostom: Addison-Wesley. 2003.

LANDI, D. C; CUGNASCA, C. E. **Proposta de Implementação de Terminal Virtual e Controlador de Tarefas da Norma ISSO 11783 em Dispositivos Computacionais**

Portáteis. Primeiro Congresso Luso-Brasileiro de Tecnologias de Informação e Comunicação na Agro-Pecuária. Lisboa. 2005.

LEE, W. C. Y. **Mobile Cellular Telecommunication : Analog and Digital Systems.** 2ª ed. Nova York: McGraw-Hill Inc,1995.

LIMA, T. C. B. **Desenvolvimento de um sistema de custo reduzido para geração de sinal de correção diferencial, em tempo real, para GPS.** 184p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

LIMA, A.M.C. **Avaliação de dois sistemas de produção de frango de corte: uma visão multidisciplinar.** 122p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

MACHADO, J. G. C. F; NANTES, J. F. D. **A Rastreabilidade na cadeia de carne bovina.** Congresso Luso-Brasileiro de Tecnologias de Informação e Comunicação na Agro-Pecuária, Lisboa, 2004.

MAPA. **Ministério da Agricultura, Pecuário e Abastecimento.** www.agricultura.gov.br, acessado em fevereiro de 2007.

MICHEL, YACoub, M. D. **Wireless Technology: Protocols, Standards, and Tecnniques.** CRC Press: N.Y, 2002.

MIRAGLIOTTA, M.Y. **Avaliação das condições do ambiente interno em doisgalpões de produção comercial de frangos de corte, comventilação e densidade populacional diferenciados** – Tese de Doutourado. Faculdade de Engenharia Agrícola, Unicamp. Campinas, SP ,2005.

MOREIRAS, A. M.; CUGNASCA, C. E. **Arquitetura de uma Rede de Instrumentação Inteligente baseada em CAN e TCP/IP e aplicada ao estudo de Meliponídeos,** Porto Seguro, 2003. Anais IV SBI-Agro.

MOURA, D. J. **Ambiência na avicultura de corte.** In: SILVA, I. J. O. **Ambiência na produção de aves em clima tropical.** Piracicaba: FUNEP, 2001. p. 75-149.

NEDELTCHEV, Plamen. **Wlan white paper - Wireless Local Area Networks and the 802.11 Standard.** 2001.

PANDORFI, H. **Avaliação do comportamento de leitões em diferentes sistemas de aquecimento por meio da análise de imagens e identificação eletrônica.** Dissertação (Mestrado em Física do Ambiente Agrícola) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

PANHAN, A. M. **Sistema de aquisição de dados e monitoramento remoto para câmaras frias e sistemas de refrigeração.** Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2002.

RAPPAPORT, T. S. **Wireless Communications : Principles & Practice.** 2ª ed. New Jersey: Prentice Hall, 1999.

RISCHPATER, R. **Desenvolvendo Wireless para WEB.** Makron Books: São Paulo, 2001.

SEVEGNANI, K. B. **Zootecnia de precisão: análise de imagens no estudo do comportamento de frangos de corte em estresse térmico.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.9, n.1, p.115-119, 2005, Campina Grande, PB.

SIKKA, P.; CORKE, P. **Wireless Adhoc Sensor and Actuator Networks on the Farm. Redesigning Animal Agriculture,** 2005. Austrália.

STALLINGS, William. **Wireless Communications and Networks.** Prentice Hall. 2002.

TINÔCO, I. F. F. **Avicultura Industrial: novos conceitos de materiais, concepções e técnicas construtivas disponíveis para galpões avícolas Brasileiros.** Revista Brasileira de Avicultura, v. 3, n. 1, p. 01-26, jan./ 2001.

UMEZU, C. K. ; LIMA, T. C. B.; CAPPELLI, N. L. ; NUNES, E. F. **Equipamento microprocessado para geração de sinal de correção diferencial, em tempo real, para GPS.** In: XXXIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agroindustriais, 2004, São Pedro - SP, 2004.

VIEIRA, L. F. M. **Middleware para Sistemas Embutidos e Redes de Sensores.** Dissertação (Mestrado) Ciência da Computação da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004.

XBEE. **RF Modules - 802.15.4 - Product Manual.** v1.x82. 2006.

WALDMAN, H; YACOB, M. D. **Telecomunicações : Princípios e Tendências.** 5ª ed. São Paulo: Érica, 2001.

WiMAX, **WiMAX white Paper**. IEEE 802.16a Standard and WiMAX Igniting Broadband Wireless Access. Worldwide Interoperability for Microwave Access Forum.

3GPP, **The 3rd Generation Partnership Project**, 1998. Disponível em: <<http://www.3gpp.org/>> Acesso em: setembro 2007.

3GPP2, **The Third Generation Partnership Project 2**, 1997. Disponível em: <<http://www.3gpp2.org/>> Acesso em: abril 2007.

802.11, **Padrão IEEE 802.11: Wireless Local Area Networks WLAN**, 1997. Disponível em: <<http://www.ieee802.org/11/>> Acesso em: setembro 2007.

802.15, **Padrão IEEE 802.15: Wireless Personal Area Networks**, 1999. Disponível em: <<http://www.ieee802.org/15/>> Acesso em: setembro 2007.

802.15.4. **Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs)**. IEEE. 2003.

802.16, **Padrão IEEE 802.16: Broadband Wireless Access**, 2001. Disponível em: <<http://www.ieee802.org/16/>> Acesso em: setembro 2007.

802.20, **Grupo de trabalho IEEE 802.20: Mobile Broadband Wireless Access (MBWA)**, 2006. Disponível em: <<http://grouper.ieee.org/groups/802/20/>> Acesso em: setembro 2007.