CONSTRUINDO NÓ PARA REDE DE SENSORES SEM FIO BASEADO EM PLATAFORMA *OPEN* SOURCE *ARDUÍNO*

Jorge Fredericson de Macedo Costa da Silva[1], Franklin Dias da Silva[2], Katielle Dantas Oliveira[3], Thiago Oliveira Rodrigues[4], Laiza Eveline Barnardino Alves[5], Jose Wally Mendonça Menezes[6]

[1,3,4] Graduandos de Engenharia de Telecomunicações – IFCE.
[2,5] Estudantes do Integrado de Eletrotécnica – IFCE.
[6] Professor Doutor do IFCE, Departamento de Telemática.
[1]e-mail: jf.engtelecom@gmail.com
[2]e-mail: franklin.dias.silva@gmail.com
[3]e-mail: katielledantas@gmail.com
[4]e-mail: thiagoliveira08@gmail.com
[5]e-mail: laizaeveline@gmail.com
[6]e-mail: wally@ifce.edu.br

Resumo: O objetivo deste trabalho é desenvolver um nó, parte de uma Rede de Sensores sem Fio (RSSF), para aplicação em agricultura familiar e de precisão. A parte de controle dos sensores utilizará uma Plataforma de Desenvolvimento *Open Source Arduíno*, cujo microcontrolador é o Atmega328, sendo a comunicação entre os nós feita com módulos transceptores MRF24J40MA, que utilizam o protocolo de comunicação sem fio *Zigbee*. O sistema é composto por um *firmware* e duas placas sendo uma para o controle e comunicação entre os nós e outra para o sensoriamento. O desenvolvimento proposto e as respectivas automações permitirão um tratamento mais efetivo aos problemas de desperdício de energia, água e insumos agrícolas, bem como o controle quantitativo e qualitativo da produção e processos de irrigação.

Palavras-chave: agricultura familiar, agricultura de precisão, arduíno, rede de sensores sem fio, *zigbee*

1. INTRODUÇÃO

O avanço ocorrido na área de microcontroladores, rádios transceptores, sensores e comunicação sem fio tem estimulado o desenvolvimento e o uso dessas tecnologias, sobretudo em redes de sensores sem fio nas mais diversas áreas do conhecimento. A partir de pesquisas sobre Rede de Sensores, Sistemas Embarcados e Comunicações sem Fio, foi proposto desenvolver um nó, parte de uma rede, que irá se comunicar por meio de um módulo transceptor usando o protocolo *Zigbee*.

Paralelo a esse avanço, tem-se o desenvolvimento e a busca por técnicas voltadas para redução dos desperdícios da produção nas indústrias e nos polos agrícolas. No contexto da aplicação deste trabalho, a Agricultura Familiar e de Precisão, é visto vários esforços de diferentes frentes no combate ao desperdício na etapa de produção e controle de qualidade. Atualmente, tais esforços vão desde o mapeamento acoplado a tratores até o desenvolvimento de algoritmos para melhor aproveitamento dos recursos aplicados pelo homem no campo, além da questão ambiental.

Do ponto de vista prático, esse nó tem componentes complementares à sua estrutura, isto é, além da característica de emissor e receptor de dados, são elas: uma estrutura responsável pela sincronização dos dados através de um relógio de tempo real, e um circuito de potência extra para situações críticas, *Step Up*, responsável por fornecer uma alimentação em caso de falhas na alimentação principal. Já a parte física responsável pelo sensoriamento será uma extensão da placa desenvolvida, pois isto irá lhe conferir melhor autonomia em relação ao tipo de sensor usado.

Vale ressaltar que uma característica importante desse trabalho é o desenvolvimento desse sistema baseado em uma plataforma livre, *Open Source*, de modo a lhe conferir um menor valor no produto final, além de expandir seu potencial econômico do ponto de vista da aplicabilidade e da inserção de novos desenvolvedores.

ISBN 978-85-62830-10-5

2. MATERIAIS E MÉTODOS

As pesquisas feitas ao longo deste trabalho proporcionaram o desenvolvimento de um Protótipo de um Nó. Tal modelo já passou por teste e regularidades referentes à comunicação e a validade dos dados a serem transmitidos. Para essa fase de teste foi desenvolvido um *hardware* para teste com *Arduíno* conforme a Figura 5 e outro para verificar a validade dos dados transmitidos representado na Figura 6.

2.1. AGRICULTURA DE PRECISÃO

De acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (Embrapa), Agricultura de Precisão (AP) é uma postura gerencial que considera a variabilidade espacial para maximizar o retorno econômico e minimizar efeito o meio ambiente. Contudo, as perspectivas desse conceito no Brasil são tidas com certo receio ou com uma interpretação errônea do conceito.

As aplicações na AP em nível mundial são feitas com base em sistemas compostos de *hardware* e *softwares* destinados a localização por GPS, cálculos de taxas para destinação de culturas, mapeamento e drenagem, monitoramento com câmeras online, imagens de satélite, monitoramento da produção e trafego controlado nas fazendas, segundo a *Precision Agriculture*.

A nível local observa-se cinco áreas de interesses da Embrapa, são elas: Organização da Rede, Ferramentas para Agricultura de Precisão, Agricultura de Precisão para Culturas Anuais, Agricultura de Precisão para Culturas Perenes e Semiperenes e Inovação em Agricultura de Precisão.

De forma concreta, encontra-se uma aplicação utilizando uma RSSF, mas com o foco no controle de parâmetros ambientais. Esse trabalho faz uso de um módulo *Zigbee* ETRX3 da Telegesis para sensoriar e constituir sua RSSF com base em parâmetros de dióxido de carbono da FACE (*Free Air Carbon-dioxide Enrichment*), que é usado para determinar o impacto do aumento da concentração desse gás sobre as plantações em diversos países no mundo.

Portanto, o presente trabalho mostra-se bem contextualizado no cenário global e local, posto que as soluções focadas inovação tecnológica pautam-se em sistemas autônomos e dinâmicos visando à melhoria na qualidade de vida das pessoas.

2.2. PLATAFORMA DE DESENVOLVIMENTO OPEN SOURCE ARDUÍNO

A palavra *Arduíno* se refere a três ferramentas separadas, que agrupadas criam um conjunto de ferramentas que nos referimos como Plataforma de Desenvolvimento *Arduíno* (Figura 1). Primeiro, o microcontrolador, que existe em várias formas, de grande a pequeno esquemático disponível livremente que qualquer pessoa, com os conhecimentos necessários pode montar e investimento inicial baixo. Segundo, a linguagem e o compilador, que cria o código para este microcontrolador, assim como a linguagem Processing, que simplifica muitas das tarefas dos designers e desenvolvedores, quando o desafio é trabalhar com hardware e interação física. Finalmente, há o ambiente de programação do *Arduíno*, que como a Ambiente Integrado de Desenvolvimento (IDE) Processing, é uma IDE de código aberto simples construído em Java. Portanto, o porquê da palavra *Arduíno* ter vários significados, é muito específico ao se referir a um aspecto particular do ambiente, tais como a linguagem *Arduíno*. Quando simplesmente se referem a *Arduíno*, está referenciando ao meio ambiente como um todo.

Figura 1 - Plataforma de Desenvolvimento *Arduíno* Duemilanove.

O ATmega 328 é o microcontrolador do *Arduíno* usando nesse trabalho. Esse controlador tem como características físicas: 8 bits de 20 MIPS (20 Milhões de Instruções por Segundo) com suporte a 6 canais PWM, Modulação por Largura de Pulso, 6 conversores analógicos digitais, A/D, 14 pinos de saídas ou entradas digitais, 4 timers, sendo um destes do tipo *Watch Dog* programável, 2 pinos para comunicações UART, Universal Assyncronous Receive and Transmitter, interfaces seriais Inter-Integrate Circuit - I²C - e Serial Peripheral Interface – SPI [8]. Em meio a esse contexto, o trabalho buscou desenvolver um nó, parte de uma rede de sensores (Figura 7), baseado na plataforma *Arduíno*, logo tem-se um sistema com um suporte de *hardware* e *software Open Source*, cujo sistema é efetivo e sem o custo de registro para desenvolver aplicações.

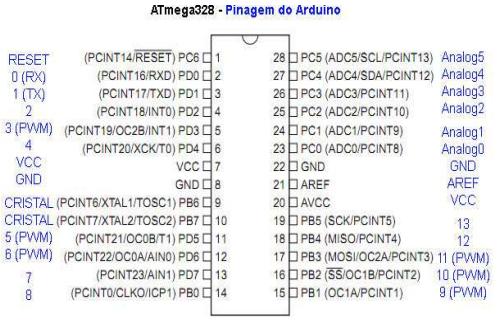

Figura 2 - Mapeamento dos Pinos do ATmega 328.

Por fim, o *Arduíno* tem alguns *shields* incorporados a sua filosofia. Os *shields* são componentes eletrônicos específicos complementares a estrutura física da plataforma e, geralmente, tem sua estrutura tanto de hardware quanto as bibliotecas disponibilizadas para a comunidade desenvolvedora. Ao longo desse trabalho, a equipe desenvolveu um *shield* para o módulo transceptor usado ilustrado na Figura 5.

2.3. REDE DE SENSORES SEM FIO USANDO *ZIGBEE*

Uma Rede de Sensores sem Fio (RSSF) constitui-se, basicamente, de uma série de sensores espalhados em uma área alvo de estudo, que se comunicam usando protocolos de comunicação sem fio. O funcionamento dessas redes é baseado em topologias e protocolos nessas aplicações, que seguem a regulamentação do IEEE 802.15 e nesse trabalho o protocolo em estudo baseia-se no IEEE 802.15.4. Tal padrão tem como características principais o baixo consumo de potência, custo reduzido, baixa taxa de transferência de dados e tempo de latência curto. Nesse trabalho, o *Zigbee* usa uma série de recursos desse padrão e algumas modificações que são desenvolvidas por um conjunto de empresas que produzem os módulos transceptores e constituem a *Zigbee Aliance*.

Do ponto de vista da topologia de rede, tem-se a formação de redes ponto a ponto (*P2P*), estrela (*STAR*), malha (*MESH*) e árvore (*CLUSTER TREE*), onde é observado nos nós da rede três

características comportamentais distintas, conforme a Figura 1. O primeiro deles são os coordenadores da rede, os *Zigbee Coordinator* (ZC). Já um segundo grupo constituem os roteadores da rede, os *Zigbee Routers* (ZR). E por último, têm-se os dispositivos finais, *Zigbee End Devices* (ZED). Portanto, devido a essas, e outras, caracteristicas o protocolo *Zigbee* é usado em aplicações desenvolvidas em áreas como: agricultura, monitoramento de vulcões e florestas, industria, zonas militares, hospitais, etc.

A topologia de rede adotada neste trabalho é a topologia P2P devido a sua simplicidade de implementação, entretanto essa topologia tem algumas desvantagens comparadas a outras formações de rede. Uma das dificuldades é tratar a grande quantidade de informações redundantes que se propaga ao longo dos nós e, com isso, sobrecarregando os recursos computacionais do nó, além de corromper ou sobrescrever os novos dados adquiridos.

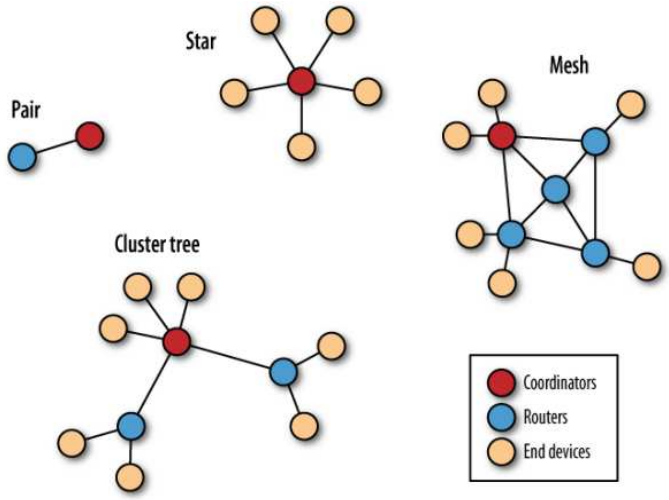

Figura 3 - Topologias de Redes *Zigbee*.

2.4. MÓDULO TRANSCEPTOR *ZIGBEE* MRF24J40MA

O MRF24J40MA, Figura 4, é um modulo transceptor fabricado pela Microchip. Ele tem suporte aos recursos computacionais de interrupção, interface periférica serial (SPI, em inglês), estado de latência e reinicialização via *software* ou *hardware*. O uso bem definido desses recursos aliados ao recursos do *Arduíno* permite uma comunicação bastante eficiênte por parte do módulo, bem como pela plataforma. Essa comunicação, a interface SPI, é implementada via *software* no ambiente de programação do *Arduíno*. Outra caracterísca desse módulo é a programação do protocolo *Zigbee*, porque ela é feita pelo desenvolvedor da aplicação. Devido a isso, é possível dar um maior direcionamento nas aplicações, além do custo de aquisição do módulo ser razoável em relação a outros encontrados no mercado, Tabela 1 e Tabela 2.

Figura 4 - Módulo *Zigbee* Microchip MRF24J40

Tabela 1 - Preço do Módulo *Zigbee* usado em três lojas Distintas.

Módulo *Zigbee*	**Preço**
Módulo *ZIGBEE* c/ MRF24J40MA	R$ 198,00
Módulo *ZIGBEE* MRF24J40MA-I	R$ 41,38
Módulo *ZIGBEE* MRF24J40MA-I	R$ 42,73

Tabela 2 - Preço de Outros Módulos *Zigbee* mais robustos encontrados nas Lojas citadas.

Outros Módulos *Zigbee*	**Preço**	**Fabricante**
Zigbee Pro	R$ 130,00	Atmel
Xbee Pro S2B	R$ 434,40	Digi Internacional
Zigbee ETRX2	R$ 237,57	Telegesis

2.5. HARDWARES DESENVOLVIDOS PARA TESTES

Para essa etapa foram desenvolvidos três hardwares para testes: uma placa para interação entre o módulo transceptor e o *Arduíno*, uma placa para verificar os dados que migram ao longo da rede (chamada placa *Sniffer*, ou espiã) e um protótipo de nó da rede para teste em laboratório.

A Figura 5 mostra o *hardware* desenvolvido para realizar os testes com o *Arduíno* e o módulo transceptor MRF24J40MA. Essa placa possui uma série de resistores para deixar os valores de tensão de modo a não danificar o transceptor. Essa placa serve também para expandir os recursos de entrada e saída (i/o) presente no *Arduíno*.

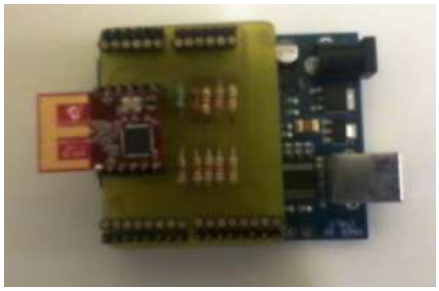

Figura 5 - Placa para Interação *Arduíno* MRF24J40MA.

O segundo *hardware* foi feito para verificar se os dados transmitidos e recebidos estão corretos. Essa placa consiste num módulo MRF24J40MA, PIC18f2620, um circuito regulador de tensão e uma interface serial para conexão com computador (DB9). Através essa interface serial podemos verificar os dados por meio dos softwares de interação com essa porta. Os dados recebidos ou enviados pela placa são vistos na representação hexadecimal e numa escala de potência de transmissão, ou recepção, logarítmica, em dB. A Figura 5 ilustra as representações citadas.

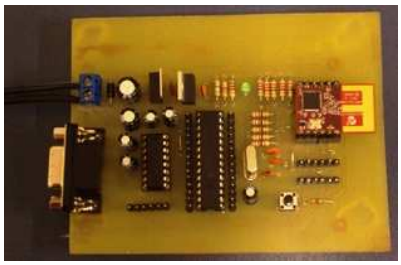

Figura 6 - Placa Espiã ou Sniffer

Por fim, tem-se o protótipo desenvolvido segue duas etapas no seu desenolvimento: a montage física da placa e o desenvolvimento de seu *fimware*.

A parte física, Figura 7, tem em sua constituição um módulo MRF24J40MA, um Atmega 328, um circuito regulador de tensão e uma interface serial para computador (DB9). O transceptor é o responsavel por manter a comunicação com base no protocolo *Zigbee*. Já o Atmega 328 é o microcontrolador presente no *Arduíno*, portanto pode-se usar todos os recursos disponíveis por essa plataforma. Por fim, a interface serial é para checar os dados enviados e transmitidos, logo esta parte do circuito será removida na etapa de aplicação final. Caso seja de interesse verificar os dados num campo de aplicação, o uso da placa *Sniffer* é o recomendado.

Figura 7 - Protótipo Desenvolvido.

O *firmware* desse módulo foi desenvolvido no ambiente de programação do *Arduíno* com uso dos recursos disponíveis na IDE. O primeiro passo foi desenvolver uma aplicação, uma biblioteca, em linguagem C++ que contém a descrição e o funcionamento do MRF24J40MA. Feito isso, a comunicação entre os módulos foi testa em duas formas usando uma outra biblioteca e o envio de forma direta.

Nessa nova classe foi descrito um tipo de dado chamado de “pacote”, que contém uma série de informações adicionais ao dado de interesse a ser enviado. Já no envio de forma direta tem-se apenas o uso de uma biblioteca, referente ao módulo, e a partir de indexações nos registradores do transceptor a mensagem é enviada a um destino.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O trabalho encontra-se na etapa de correção e melhoria de estruturas de *hardware* e *software* já desenvolvidas. O primeiro resultado observado é a comunicação do protótipo com diferentes arquiteturas conferindo interoperabilidade do modelo. Isso é observado quando comunicamos o módulo com um modelo usando PIC18F4550 e um modelo usando FPGA SPARTAN 3E, posto que os dados trocados entre eles não foram perdidos ou corrompidos ao longo das transmissões.

Num segundo momento, o sistema foi testado numa estrutura de rede ponto a ponto, conforme se observa na Figura 3. Nessa topologia de rede todos os nós da rede tem o mesmo espaço para transmissao dos dados, logo a informação pode ser propagada diretamente entre os nós.

Ao final de testes os pacotes, ou informações, foram satisfatoriamente transmitidos e recebidos ao longo da rede como se pode observar na Figura 8 e na Figura 9. Nessas imagens dá-se destaque para

os dados obtidos por um sensor de temperatura é enviado e recebido por um nó da rede e o mesmo dado é recebido pela Placa Espiã.

Por fim, foi feito uma etapa de teste com alguns sensores, assim simularam-se alguns parâmetros de interesse do setor agrícola, a temperatura e a umidade. Como sensor de temperatura foi usado o LM35 e para umidade usou-se o DHT11. O primeiro sensor tem suas medidas aferidas por meio dos conversores analógico-digital do *Arduíno* com calibração feita de maneira linear conforme as informações contidas no *Datasheets*. Já o segundo sensor tem um biblioteca disponibilizada pela sua fabricante, além do conteúdo de seu *Datasheet.*

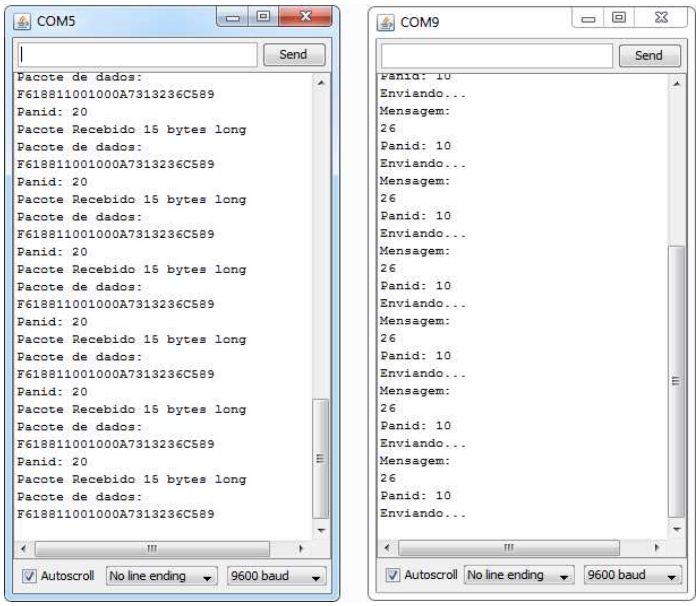

Figura 8 - Dados de Temperatura enviados e recebidos pelo Nó no Ambiente Serial do Arduíno.

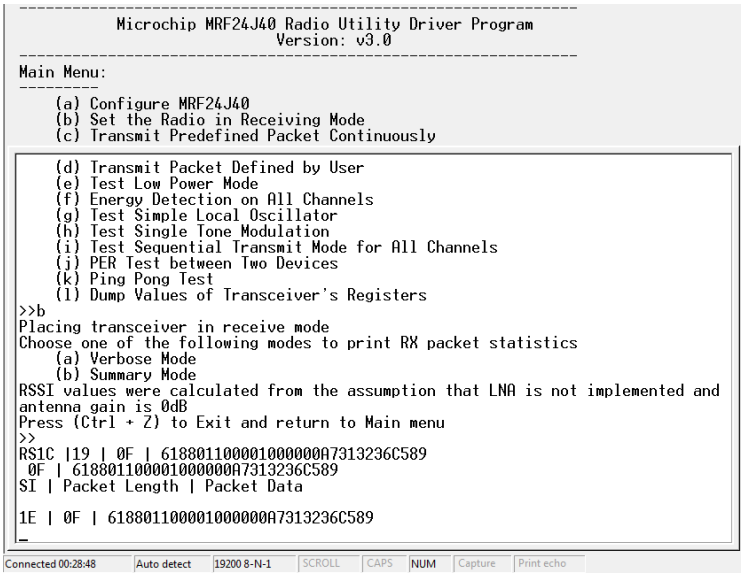

Figura 9 - Dados obtidos pela Placa Espiã no Ambiente Serial *Hyperterminal*.

Em síntese, o protótipo desenvolvido comporta-se dentro dos parâmetros observados em estudos com base em simuladores, logo a transmissão dos dados oriundo dos sensores usados ao longo da rede ponto a ponto com seis (6) nós, onde observamos o intenso trafego de dados como fator destaque.

5. CONCLUSÕES

Do pondo de vista experimental, o sistema desenvolvido atende as metas estabelecidas e agregam valor funcional ao modelo. Ressaltamos que a parte desenvolvida mostra o potencial da solução, sobretudo, que a pesquisa e inovação tecnológica abrindo caminho para a melhoria dos meios de produção industrial assim como pro meio agrícola.

Como perspectivas para o trabalho teremos como base testes com mais sensores voltados aos parâmetros agrícolas para aplicação num projeto piloto, e testes com topologia estrela de modo a tentar integra duas ou mais PANs e para diminuir o trafego de dados ao longo da rede caracterizado pela topologia adota, ponto a ponto (P2P).

REFERÊNCIAS

Atmel**. Documentação do microprocessador Atmega328**.Disponível em: <http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/8271S.pdf.> Acessado em: 07 de agosto de 2011.

Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias. **Agricultura de Precisão um Novo Olhar**, São Paulo: 2012.

Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias**. Projetos e Redes do Macroprograma 1.**Disponível em:

<**http://www.macroprograma1.cnptia.embrapa.br/climapest/efeitos-do-co2>** Acessado em: 27 de junho de 2012.

Faludi, Robert. **Building Wireless Sensor Network,** O'Reilly: 2011.

Farnell Newark. **Farnell Newark Element 14.** Disponível em:

<http://www.farnellnewark.com.br> Acessado em: 22 de janeiro de 2012.

Margolis, Michael. **Arduíno Cookbook,** O'Reilly: 2011.

Micropik. **Sensor de Temperatura e Umidade DHT11.** Disponível em: <www.micropik.com/PDF/dht11.pdf> Acessado em: 22 de julho de 2011.

Molin, J. P. **Agricultura de Precisão: Situação Atual e Perspectivas,** Rio Grande do Sul: 2005.

National Semiconductor. **Sensor de Temperatura LM35.** Disponível em: <https://www.national.com/ds/LM/LM35.pdf> Acessado em: 22 de julho de 2011.

Neto, A.T; Ghini, Raquel. **Rede de sensores sem fio para monitoramento e controle de processos em ambiente agrícola.** São Paulo: 2012.

Noble, Joeshua. **Programming Interactivity,** O'Reilly: 2009.

Pereira, M. R.; Amorim, C. L.; Castro, M. C. S. **Tutorial sobre Redes de Sensores.** Programa de Engenharia de Sistemas e Computação, Rio de Janeiro: 2003.

Precision Agriculture. **Precision Agriculture Projects.** Disponível em: < http://www.precisionagriculture.com.au/> Acessado em: 07 de agosto de 2011.

Song, C.C; Feng, C.F; Wang, C.H. **Simulation and Experimental Analyses of a *Zigbee* Sensor Network with Fault Detection and Reconfiguration Mechanism.** Taiwan: 2011.

Zigbee Alliance. ***Zigbee* Specifications.** Disponível em:

<http://www.*Zigbee*.org/Specifications.aspx> Acessado em: 02 de junho de 2011.