

FACULDADE POLITEC

CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM REDES DE COMPUTADORES

MICHAEL RUBENS ROVERI

AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL

Santa Bárbara d'Oeste

2012

MICHAEL RUBENS ROVERI

AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL

Trabalho apresentado à Faculdade Politec, como exigência para a obtenção do grau de Tecnólogo em Redes de Computadores, sob a orientação do Prof. Mario Luiz Bernardinelli.

Santa Bárbara d'Oeste

2012

MICHAEL RUBENS ROVERI

AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL

Trabalho aprovado em: ____/____/____

Nota: ____ (____)

Nome do primeiro examinador

Nome do segundo examinador

Mario Luiz Bernardinelli

Santa Bárbara d'Oeste

2012

Dedicatória

Dedico esse trabalho principalmente a minha esposa Andrea que sempre me apoiou nos momentos de estudo.

Epígrafe

“Automação esteve, está e estará sempre no nosso meio. Essa é a forma que temos de ver o amanhã controlando o hoje de uma forma diferente”.

Michael Roveri

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus por me dar sabedoria e saúde para vencer os obstáculos da vida.

Aos professores da Faculdade Politec que de alguma forma tiveram paciência de passar um pouco do conhecimento e experiência profissional mesmo em momentos difíceis.

Agradeço também aos meus pais por me ensinarem a vencer sempre e nunca desistir dos meus sonhos e ao Jadeilson de Santana Bezerra Ramos pela publicação do seu livro que me ajudou no desenvolvimento desse trabalho.

Resumo

Esse trabalho apresenta conceitos de automação residencial, como ela deve ser projetada e o que podemos controlar neste ambiente. Uma das aplicações mais utilizadas, a rede Zigbee, será abordada de forma plena com todos os seus tópicos. O trabalho como um todo visa mostrar como a automação residencial pode ser projetada e construída de forma simples obedecendo aos conceitos de redes e segurança para o usuário. Sabemos que automação residencial já é realidade em países desenvolvidos e o profissional de redes deverá dominar e interagir com esse meio tanto para uso em residência quanto na indústria.

Palavra-chave: Automação Residencial, XBee, ZigBee.

Abstract

This work shows us the concept of home automation, how it should be designed and what we can control in this environment. One of the most used applications, the Zigbee network, will be addressed fully with all their topics. The work as a whole is intended to show how home automation can be designed and constructed obeying the simple concepts of networking and security for the user. We know that home automation is already a reality in developed countries and professional networks must dominate and interact with this medium for use in both home and industry.

Keyword: Residential Automation, XBee, ZigBee.

Lista de abreviatura e siglas

ANATEL – Agência Nacional de Telecomunicação

AODV – *Ad-hoc On-demand Distance Vector*

API – *Application Programming Interface*

APS – *Application Support Sublayer*

DSSS – *Direct Sequence Spread Spectrum*

FDD – *Full Feature Device*

IEEE – *Institute for Electrical and Electronics Engineer*

ISM – *Industrial Scientific Medical*

LR-WAN – *Low Rate Wireless Personal Area Network*

MAC – *Media Access Control*

PAN – *Personal Area Network*

PLC – *Power Line Carrier*

QA – Quadro de Automação

QE – Quadro Elétrico

RFD – *Reduce Feature Device*

SMS – *Short Message Service*

STP - *Shielded Twisted-Pair*

UART – *Universal Asynchronous Receiver Transmission*

UTP - *Unshielded Twisted-Pair*

ZDO – *ZigBee Device Objects*

Lista de figuras

Figura 1 – Cabeamentos para automação em uma residência	21
Figura 2 – Ponto de serviço de telecomunicações	22
Figura 3 – Quadro de automação	22
Figura 4 – Monitoramento remoto pelo smartphone.....	24
Figura 5 – Instalação elétrica convencional	25
Figura 6 – Quadro de automação	26
Figura 7 – Automação para tomadas	27
Figura 8 – Rack para acomodar a automação residencial.....	28
Figura 9 – Sistema integrado para automação.....	29
Figura 10 – Aplicação do sistema integrado para automação	30
Figura 11 – Módulos internos do integrador para automação	31
Figura 12 – Camadas do sistema ZigBee	34
Figura 13 – Topologias padrão 802.15.4	35
Figura 14 – Padrão ZigBee	36
Figura 15 – As quatro camadas do padrão ZigBee	37
Figura 16 – Camadas ZigBee	38
Figura 17 – Topologia estrela	40

Figura 18 – Topologia <i>Mesh</i>	41
Figura 19 – Topologia em árvore.....	42
Figura 20 – Composição de um módulo XBee.....	45
Figura 21 – Transmissão em Broadcast.....	48
Figura 22 – Conexão entre dois módulos vizinhos.....	50
Figura 23 – Pacote de dados passando por uma rede Mesh	51
Figura 24 – R3 procurando uma rota para R6	52
Figura 25 – R6 respondendo ao comando requisitado e respondendo a rota	53
Figura 26 – Funcionamento do roteamento Many-to-one Broadcast.....	54
Figura 27 – Roteamento de dados utilizando algoritmo Source Routing	55
Figura 28 – Modo de comunicação transparente	56
Figura 29 – Comunicação em modo transparente.....	56
Figura 30 – Formato do pacote de dado API.....	57
Figura 31 – Dispositivo Final	60
Figura 32 – Adaptador USB com módulo XBee	61
Figura 33 – Módulos XB-PRO.....	62
Figura 34 – Programa X-CTU para programar os módulos XBee-PRO	63
Figura 35 – Tela para configurar parâmetros do XBee.....	64

Figura 36 – Automação Residencial	67
Figura 37 – Modelo teórico e modelo prático.....	69
Figura 38 – Programa automação residencial.....	70
Figura 39 – Ícone do programa para automação residencial.....	70
Figura 40 – Portas Habilitadas e botões liberados para uso.	72
Figura 41 – Ligando a lâmpada via programa.	73
Figura 42 – Lâmpada acesa após o comando de ligar via programa.	74
Figura 43 - Acionando a segunda lâmpada da residência.	75
Figura 44– Lâmpada acesa após o comando via programa.	76
Figura 45– Finalizando a comunicação entre os módulos XBee.	77
Figura 46– Programa para acesso remoto.	78
Figura 47– Smartphone com aplicativo para acesso remoto.....	79
Figura 48– Programa de automação no smartphone.	80
Figura 49 – Simulando falha na placa RCOM-HOMEBEE.....	82
Figura 50 – Lâmpadas acesas independente da automação.....	83
Figura 51 – Código fonte para ligar um relé na placa RCOM-HOMEBEE.	84
Figura 52 - Código fonte para desligar um relé na placa RCOM-HOMEBEE.	84

Lista de tabelas

Tabela 1 – Evolução dos sistemas aplicados em novas residências.....	19
Tabela 2 – Comparação entre módulos XBee e XBee-PRO	46
Tabela 3 – Classificação do roteamento.....	49
Tabela 4 - Tabela de descoberta de rota	52
Tabela 5 - Nome e valores do pacote API.....	59

Sumário

1. Introdução	15
2. Objetivos.....	16
2.1. Objetivo geral.....	16
2.2. Objetivo específico.....	16
3. Automação Residencial	17
3.1. Definição de automação residencial.....	17
3.2. Histórico da automação no Brasil	18
3.3. Integrador de sistemas residenciais	20
3.4. Cabeamento residencial estruturado	20
3.5. Sistemas inteligentes	23
3.6. Automação e a rede elétrica.....	24
3.7. Sistema integrado para automação.....	28
3.8. Uma dose de futurismo	32
4. Sistema de automação sem fio	33
4.1. Padrão IEEE 802.15.4	33
5. Padrão ZigBee.....	36
5.1. Camada de rede	38
5.2. Camada de aplicação	38
5.3. Topologia de rede do sistema ZigBee	39
5.4. Comportamento de uma rede ZigBee	42
6. Módulos XBee.....	45
6.1. Protocolo DigiMesh.....	46
6.2. Endereçamentos	47
6.3. Transmissão de dados.....	47
6.4. Roteamento	48
6.4.1. Protocolo de roteamento AODV: roteamento Mesh	50
6.4.2. Many-to-one Routing	53
6.4.3. Source Routing.....	54
6.5. Modos de Comunicação XBee	55
7. Aplicação Prática de automação residencial usando XBee.....	60
7.1. Configuração dos módulos XBee	62
7.2. Modelo Residencial.....	67
8. Quadro de Automação – QA e quadro elétrico – QE	68
9. Software para acionamento da placa PROM-HOMEBEE	70
9.1. Habilitando a porta serial.....	71
9.2. Ligando a Lâmpada 1 da residência	73
9.3. Ligando a lâmpada 2 da residência.....	75
9.4. Finalizando a conexão.....	77
10. Acessando remotamente a placa RCOM-HOMEBEE	78

11. Simulando falha na unidade xbee	81
12. Código fonte para ligar e desligar os relés	84
13. Considerações	85
14. Referências	86

1. INTRODUÇÃO

A automação residencial permite aos usuários o controle de equipamentos eletrônicos dentro de uma residência. Com esse recurso o usuário poderá controlar lâmpadas, tomadas, ventiladores, interligar com o alarme da residência, controle da irrigação de jardins, abertura de persianas, entre outros.

A automação residencial no Brasil não está evoluída e algumas empresas ainda venceram obstáculos e lançaram no mercado sistemas integrados que fazem a automação de uma residência. Esses equipamentos são fáceis de instalar e operar e até disponibilizam recursos para controle via *WEB*.

Com o objetivo de criar redes sem fio para aplicações industriais e residenciais, o padrão ZigBee foi criado pela *Alliance* em 2002, com o objetivo de facilitar a instrumentação sem fio de pequenas redes com baixa faixa de transmissão e baixo consumo de energia e segurança na transmissão de suas mensagens.

O padrão ZigBee possibilita ao usuário a criação de interfaces gráficas para controle local ou remoto das cargas dentro de uma residência, sejam elas, tomadas ou interruptores. Algumas aplicações são controladas através de um dispositivo portátil como *notebook* e *smartphone*.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

O objetivo do trabalho é pesquisar sobre Automação Residencial, seus objetivos, funcionamento, hardware utilizado e como montar uma automação em uma residência.

Será abordado a tecnologia ZigBee e suas divisões como o *hardware* XBee-PRO para uso em automações residenciais.

2.2. Objetivo específico

Aplicar os conceitos de automação residencial, redes ZigBee e hardware XBee-PRO em um modelo prático de automação, utilizando duas lâmpadas de uso em residências e uma tomada de uso geral. Nesse modelo teremos seu acionamento através de um computador conectado à *Internet* compartilhando o recurso gráfico através de um *smartphone* que possibilita o gerenciamento do sistema através do envio de *SMS*.

3. AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL

3.1. Definição de automação residencial

É o conjunto de serviços realizados através da tecnologia integrada onde podemos satisfazer as necessidades básicas de segurança, comunicação, conforto e gestão energética de uma casa.

Automação residencial também é conhecida na Europa pelo termo “*Domótica*” e, no Brasil, é utilizado o termo *home automation*.

Domótica é a automação e o controle aplicados à residência. Esta automatização e controle se realizam mediante o uso de equipamentos que dispõem de capacidade para se comunicar interativamente entre eles e com capacidade de seguir as instruções de um programa previamente estabelecido pelo usuário da residência e com possibilidade de alterações conforme interesses. Em consequência, a *domótica*, permite maior qualidade de vida, reduz o trabalho doméstico, aumenta o bem-estar e a segurança, racionaliza o consumo de energia e, além disso, sua evolução permite oferecer continuamente novas aplicações. (MURATORI E DAL BÓ, p.70).

O fator que define uma automação residencial é a integração de vários sistemas que possam realizar as atividades através de instruções programáveis. A integração deverá abranger todos os sistemas tecnológicos da residência, tais como:

- Instalação elétrica em geral: iluminação e controle do consumo em geral;
- Sistema de segurança: alarmes, circuito fechado de TV e detector de vazamento de gás;
- Sistemas multimídia: áudio e TV, jogos eletrônicos, projetor de cinema e tela automática;
- Utilidades: irrigação de jardim, climatização, bombas e aquecimento;

3.2. Histórico da automação no Brasil

No Brasil, a automação residencial ainda é muito nova. Em meados de 70 esse sistema foi mais forte nos Estados Unidos, onde surgiram os primeiros módulos inteligentes que usavam a rede elétrica como meio físico para a transmissão de dados. Esse sistema era chamado de PLC (*Power Line Carrier*) e sua tecnologia não permitia o comando integrado de vários sistemas e sim de sistemas independentes.

Com a entrada da era dos computadores, internet e outros dispositivos móveis, houve a necessidade de criar novos sistemas para uso integrado. Nas economias mais desenvolvidas, a automação residencial evoluiu de maneira positiva, fazendo com que crescesse sua demanda, formando novos técnicos especializados e reduzindo custo de instalação.

Temos a constatação que consumidores que estão em busca da primeira casa já pensam em automatizar suas residências, levando em conta o uso de equipamentos sustentáveis, onde os recursos naturais estão cada vez mais presentes e o monitoramento à distância já não é mais um fator desprezível nos projetos.

A Tabela 1 a seguir mostra a evolução dos sistemas aplicados em novas residências:

Tabela 1 – Evolução dos sistemas aplicados em novas residências

<i>Tecnologia</i>	<i>2003</i>	<i>2004</i>	<i>2005</i>	<i>2006</i>	<i>2015(*)</i>
Cabeamento estruturado	42%	61%	49%	53%	80%
Monitoramento de segurança	18%	28%	29%	32%	81%
Multiroom audio	9%	12%	15%	16%	86%
Home Theater	9%	8%	11%	12%	86%
Controle de iluminação	1%	2%	6%	8%	75%
Automação integrada	0	2%	6%	6%	70%
Gerenciamento de energia	1%	5%	11%	11%	62%

Fonte: MURATORI, DAL BÓ, 2011.

A previsão é que os sistemas de automação residencial tripliquem nos próximos anos. Para essa pesquisa foi levado em consideração a utilização de sistemas que fazem o gerenciamento da energia, cuidados domésticos com a saúde e uso de *medias centers*.

Embora o usuário final sinta a necessidade de automatizar sua residência, a construção civil não cresceu de forma paralela a ponto de absorver a demanda.

Atualmente um automóvel tem muito mais tecnologia embarcada que uma residência e com isso o preço acaba ficando relativamente alto.

Através desse comparativo, observa-se a diferença entre as empresas automobilísticas que investem em tecnologias e as empresas do segmento da construção civil que ainda caminham lentamente em relação à adesão de novas tecnologias.

3.3. Integrador de sistemas residenciais

Hoje no Brasil temos uma alta demanda pelo “integrador de residências”, pois essas tecnologias ainda não possuem o conceito *plug-and-play*. Necessitamos de pessoas qualificadas e treinadas para projetar, construir, instalar e programar tais equipamentos. Em outros países, essa situação é diferente, pois existem profissionais com equipes especializadas em cada parte do projeto, fazendo com que os resultados apareçam de forma mais rápida.

O integrador tem como objetivos as seguintes responsabilidades:

- Elaborar o projeto conforme a necessidade do cliente;
- Acompanhar a obra, certificando-se que não há desvios do projeto;
- Especificar os materiais;
- Fornecer os equipamentos ou contratar terceiros responsáveis por tal;
- Programar e realizar os testes;
- Garantir o perfeito funcionamento do sistema integrado.

3.4. Cabeamento residencial estruturado

Quando se trata de um projeto estruturado de uma residência, tem-se que levar em conta os circuitos necessários de imediato e também as necessidades futuras. Em uma residência podemos utilizar vários meios de comunicação seja por cabo coaxial, cabo par trançado, fibra óptica e sinal RF. Os mais utilizados hoje são os de rádio frequência.

A norma americana ANSI/TIA/EIA 570B estabelece dois graus para que cada equipamento seja instalado conforme o tipo de cabo a ser empregado dentro de uma residência conforme Figura 1.

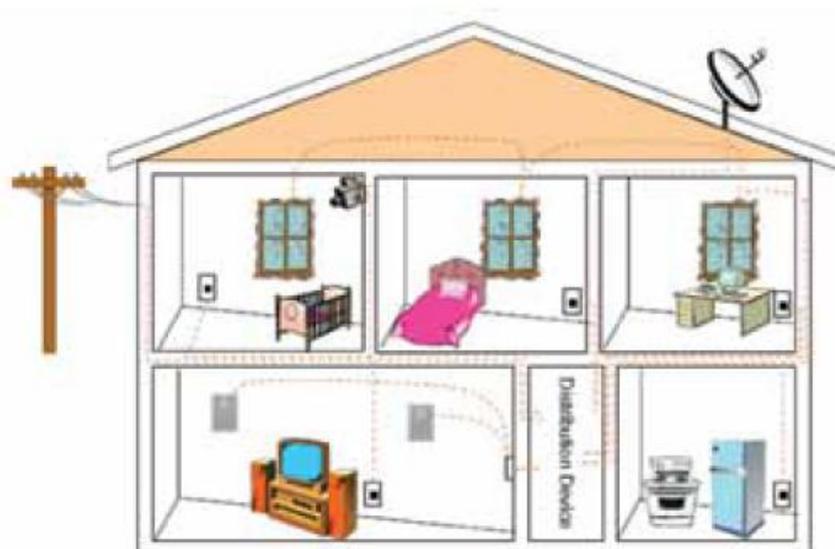
Grau 1: Provê um cabeamento genérico básico, que atinge os requisitos mínimos para serviços de telecomunicações como: telefone, dados, satélite e CATV. Cada ponto de serviço deverá ter no mínimo:

- 1 cabo UTP ou STP categoria 3 - CAT 3 (recomenda-se CAT 5e ou CAT 6);
- 1 cabo coaxial.

Grau 2: Provê um cabeamento avançado, que atinge os requisitos atuais e futuros serviços de telecomunicações e multimídia. Cada ponto de serviço deverá ser composto por:

- 2 cabos CAT 5e (recomenda-se CAT 6);
- 2 cabos coaxiais;
- 1 par de fibra óptica (opcional).

Figura 1 – Cabeamentos para automação em uma residência

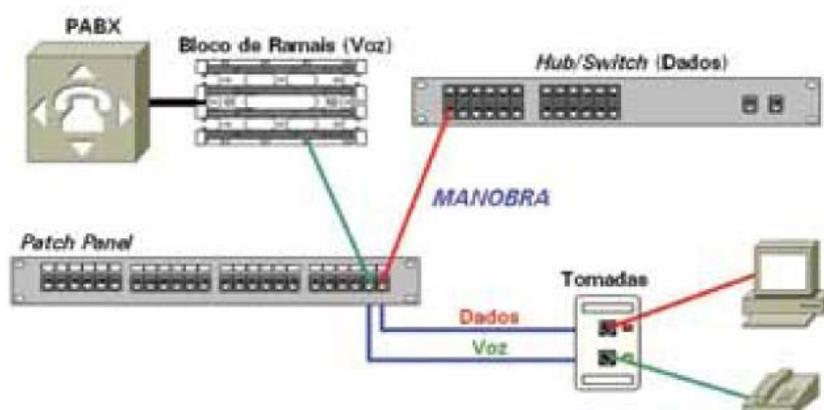


Fonte: MURATORI, DAL BÓ, 2011.

Em uma residência podemos adotar dois critérios no projeto:

1º Critério: podemos levar vários cabos ao mesmo ambiente respeitando sua área e distribuição necessária. Esses cabos são conectados no que chamamos de “ponto de serviço de telecomunicações”, onde a mudança de serviço poderá ser feita fazendo a troca de um *patch panel*, conforme Figura 2.

Figura 2 – Ponto de serviço de telecomunicações



Fonte: MURATORI, DAL BÓ, 2011.

2º Critério: podemos utilizar a topologia estrela onde os pontos de serviço serão as extremidades e o ponto central vem de um painel de manobras *patch panel* dentro de um quadro chamado de “centro de conectividade”. Conforme Figura 3.

Figura 3 – Quadro de automação



Fonte: TIGRE, 2012.

3.5. Sistemas inteligentes

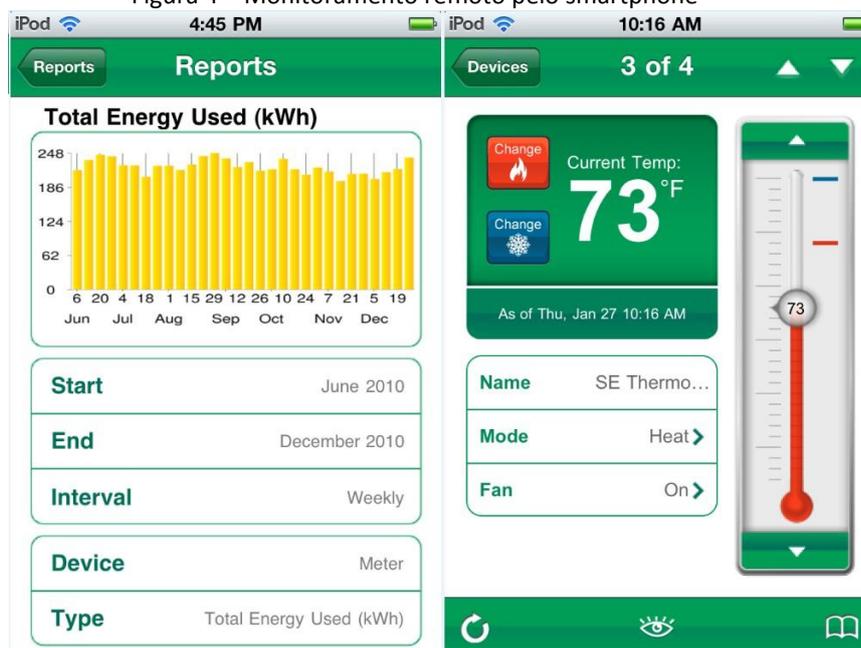
Atualmente temos uma grande variedade de equipamentos inteligentes para medição e controle em automação residencial que são conhecidos como *smart grid*. Esses equipamentos são conectados diretamente nas instalações para obter o máximo de aproveitamento dos recursos e sua transmissão normalmente ocorre através de protocolos sem fio. O bom aproveitamento desses equipamentos ocorrerá quando forem interligados em uma automação residencial com objetivo de emitir alarmes e controlar processos, a fim de manter a segurança do lar e economia de recursos.

Esse tipo de tecnologia ainda é pouco utilizada no Brasil e o maior incentivo deveria partir das concessionárias de energia. Quando os medidores de consumo do gás, água e energia elétrica estiverem ligados ao computador, através de programas dedicados, poderemos analisar, criar estatísticas e até controlar o consumo.

Os atuadores são utilizados para controlar um processo remotamente através de comando elétrico. Geralmente são constituídos por válvulas que abrem e fecham conforme a necessidade.

A Figura 4 apresenta exemplos de medidores que são instalados em uma residência automatizada para monitorar o consumo de energia elétrica. Essas medições podem ser conectadas em uma rede e monitoradas remotamente até mesmo através de um *smartphone*.

Figura 4 – Monitoramento remoto pelo smartphone



Fonte: MURATORI, DAL BÓ, 2011.

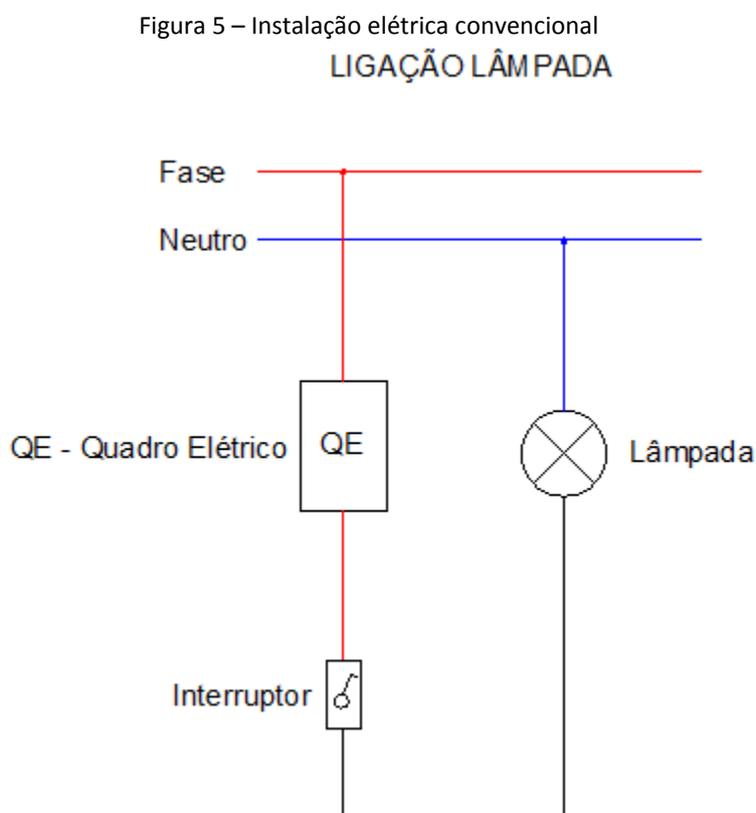
3.6. Automação e a rede elétrica

Quando pensamos em automação residencial, sempre surgem duas questões básicas:

- Como posso confiar em um sistema integrado?
- Se ocorrerem falhas ou a queima dos dispositivos da automação como faço para controlar os recursos na residência?

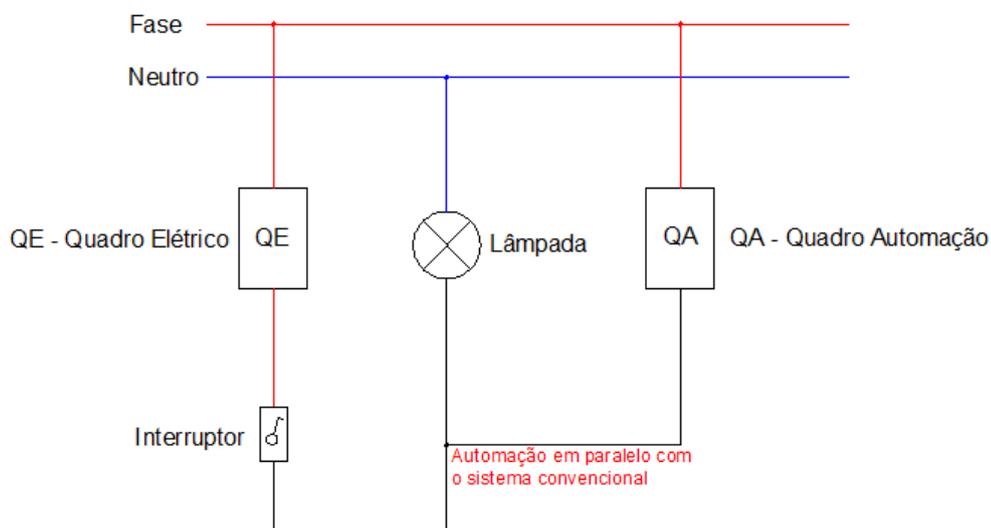
Em uma residência podemos ter o controle totalmente automático ou intercambiá-lo com o manual. Caso o integrador opte por manter apenas o recurso automático e o circuito vir a queimar, não haverá possibilidade de controlar o ambiente.

Vejamos um exemplo em um circuito elétrico, para acender uma lâmpada temos a disposição conforme a Figura 5.



Nesse caso, ao acionarmos o interruptor a lâmpada acenderá. Para a configuração automatizada, um segundo quadro instalado na casa, chamado de quadro de automação, receberá todos os fios que acionam as lâmpadas da casa e esses fios são conhecidos como retorno.

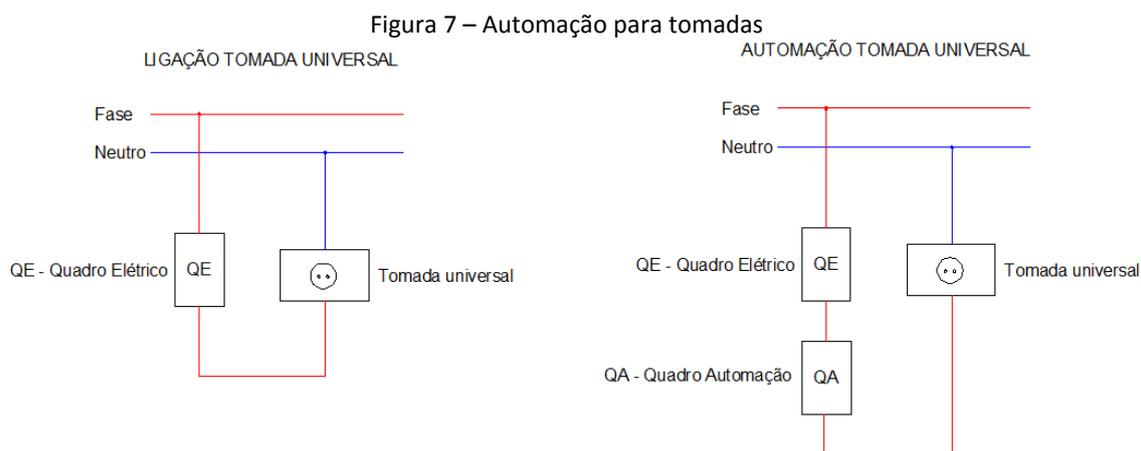
Figura 6 – Quadro de automação
AUTOMAÇÃO LÂMPADA



Fonte: Autoria própria, 2012.

Na Figura 6 temos o quadro QA (Quadro Automação) que recebe todos os fios das lâmpadas e interruptores para fechar a automação. O fio que sai do interruptor e vai para a lâmpada recebe o fio que vem da automação, ou seja, uma ligação em paralelo. No local onde está o interruptor, o integrador poderá colocar um espelho cego ou manter o interruptor para acendimento em paralelo ao circuito da automação, possibilitando o acionamento manual da lâmpada caso ocorra falha na automação.

O mesmo acontece com as tomadas da casa. O fio fase que alimenta o circuito das tomadas é encaminhado para o QA, de onde sai um cabo de retorno para a tomada. Esse processo é chamado de tomada comandada. A Figura 7 mostra essa aplicação.



A tomada comandada é normalmente utilizada quando se deseja ligar algum equipamento elétrico, como bombas de piscina, sistemas de irrigação e aquecedores centralizados. Todos os fios de retorno, sejam eles de tomadas ou de lâmpadas, são centralizados no quadro de automação, lembrando que o fio de retorno é responsável por alimentar os circuitos com energia após o comando remoto ou local.

O integrador também pode destinar um cômodo para melhor centralizar a automação. Por exemplo, embaixo de escadas ou até mesmo em algum quarto de pequena área com acesso restrito a crianças, animais e pessoas sem autorização.

Nesse local podemos montar um mini *rack* utilizado em TI para acomodar a infra da automação. A Figura 8 ilustra um mini *rack*.

Figura 8 – Rack para acomodar a automação residencial



Fonte: TOPLANTEC, 2012.

3.7. Sistema integrado para automação

O Marthe Ethernet A964 – UTR, da empresa Ativa, é um exemplo de equipamento responsável por automatizar residências, prédios e fábricas, facilmente encontrado no mercado brasileiro. Ele pode ser montado em *rack* e disponibiliza todas as suas saídas no painel frontal, facilitando a montagem e manutenção dos circuitos da residência. A Figura 9 mostra o equipamento citado.

Figura 9 – Sistema integrado para automação

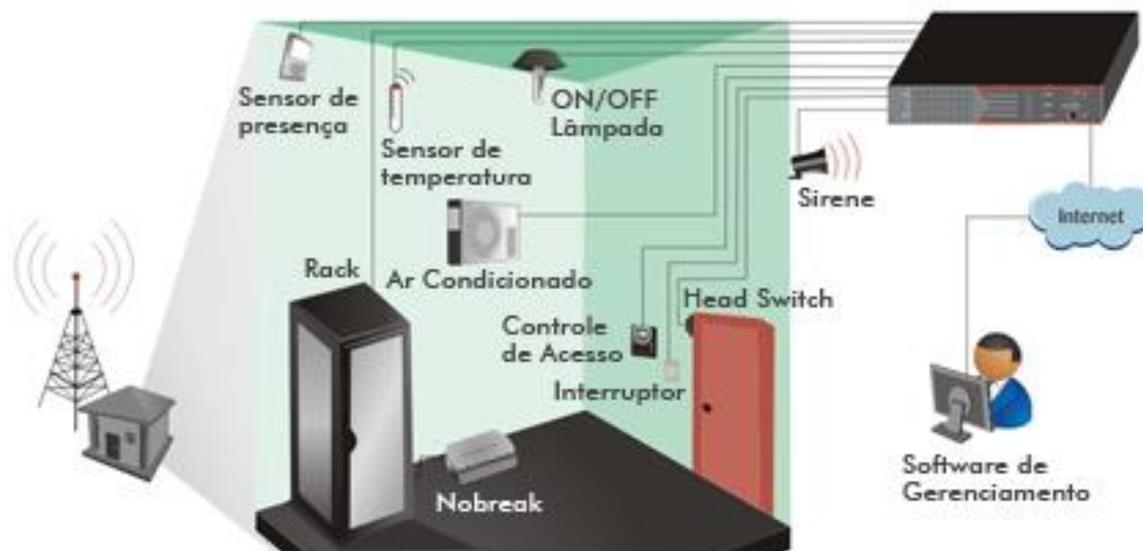


Fonte: ATIVA SOLUÇÕES, 2012.

Esse sistema possui 32 saídas à relé de contato seco para comando de cargas, portas seriais para controle e configuração local e uma porta padrão RJ45 para conectar o equipamento na rede *Ethernet* e controlar os circuitos remotamente. Para acesso remoto, o equipamento possui uma etapa de configuração de senha e parâmetros de rede. Podemos controlar todos os circuitos da casa através de um terminal remoto com um *software* de gerenciamento específico. A Figura 10 apresenta um exemplo típico de uso do Marthe.

Figura 10 – Aplicação do sistema integrado para automação

Veja como funciona o Marthe Ethernet A932:



Facilidade: Envio de SMS e Monitoramento On Line via Web

Outras Opções: Sistema Ethernet. Sem custo mensal.

Sistema GPRS. Com custo mensal (Operadora Celular).

Fonte: ATIVA SOLUÇÕES, 2012.

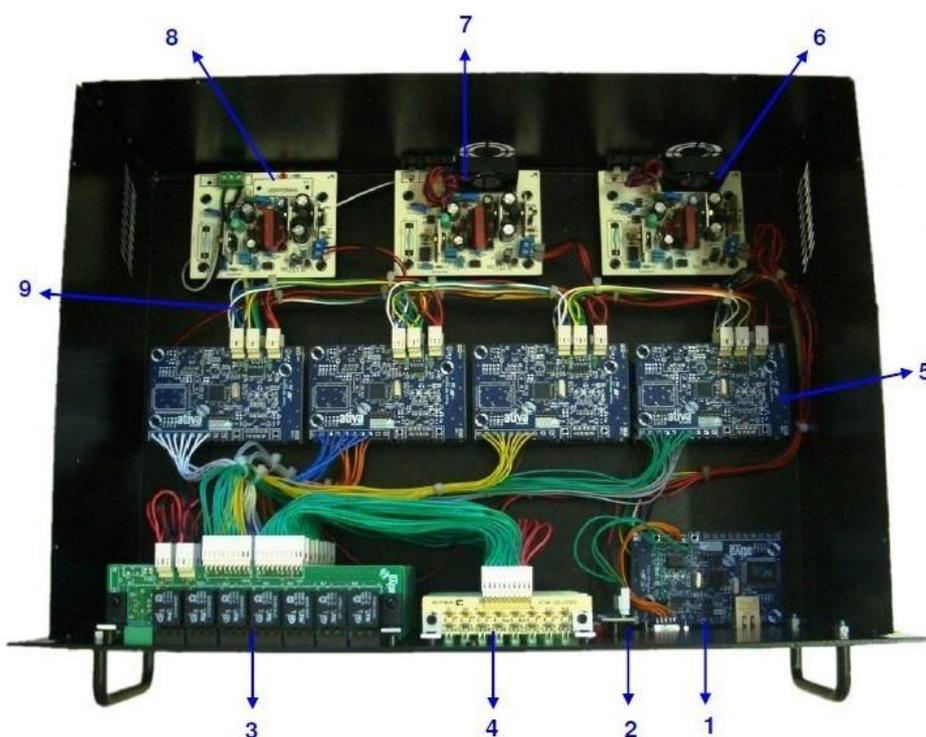
O equipamento Marthe pode ser instalado facilmente em qualquer residência, onde poderão ser automatizados vários circuitos como, ar condicionado central, iluminação, central de alarmes, controle de portas com fechadura magnética, entre outros. O controle do sistema pode ser realizado por monitoramento *On Line* via *WEB*, sistema *Ethernet* e sistema GPRS (telefonia celular).

Na Figura 11 são apresentados os módulos internos do Marthe.

Figura 11 – Módulos internos do integrador para automação

Os módulos existentes no equipamento são:

- | | |
|----------------------------|----------------------|
| 1. Concentrador | 6. Fonte Principal |
| 2. Sinalização de Operação | 7. Fonte Auxiliar |
| 3. Proteção I/O | 8. Fonte Isoladora |
| 4. Sinalização I/O | 9. Chicotes Internos |
| 5. Expansor I/O | |



Fonte: ATIVA SOLUÇÕES, 2012.

O equipamento Marthe é apenas um exemplo de equipamento usado na automação residencial. Há vários fabricantes de interfaces para automatizar uma residência que vão desde modelos acessíveis até modelos de alto custo, lembrando que o objetivo desses fabricantes é satisfazer o usuário final que terá mais prazer em realizar as tarefas no dia-a-dia.

Outro fator importante para o projeto é o levantamento de todas as necessidades de cada cômodo e antecipar ao máximo as decisões, para que depois de pronta a casa não falte nenhum circuito ou ponto não automatizado. O consumo de fios dentro de uma residência automatizada é também um pouco alto por causa dos circuitos que são criados, mas isso não deve ser um fator negativo na obra, uma vez que o objetivo é criar uma residência do futuro.

3.8. Uma dose de futurismo

Com o passar dos anos, teremos mais computadores controlando o nosso dia-a-dia e dando mais prazer ao ser humano. Sistemas com processadores e circuitos inteligentes estarão conectados na Internet 24 horas por dia antecipando as decisões que antes só o homem tomava. Fazer compras não será mais necessário, pois a geladeiras terão um banco de dados com limites mínimos de mantimentos e assim que acabar será enviado uma lista ao supermercado e no dia seguinte entregue. Quando o proprietário da casa sair para uma viagem de vários dias, o jardim será regado diariamente, a piscina será clorada sem a necessidade de uma pessoa especializada e até mesmo controlar a temperatura da casa. Dentro desse raciocínio, podemos modelar a casa do futuro.

Ficção? Nada disso! Com certeza já dispomos de tecnologia para construir este tipo de solução. O que é preciso é torná-las mais baratas e fáceis de se instalar e se manter, um desafio e tanto para os próximos anos.(MURATORI E DAL BÓ,2011, p.34).

4. SISTEMA DE AUTOMAÇÃO SEM FIO

Para este estudo, optamos pelo sistema XBee, que será utilizado também no exemplo prático de automação residencial. Para tanto, precisamos conhecer o ZigBee.

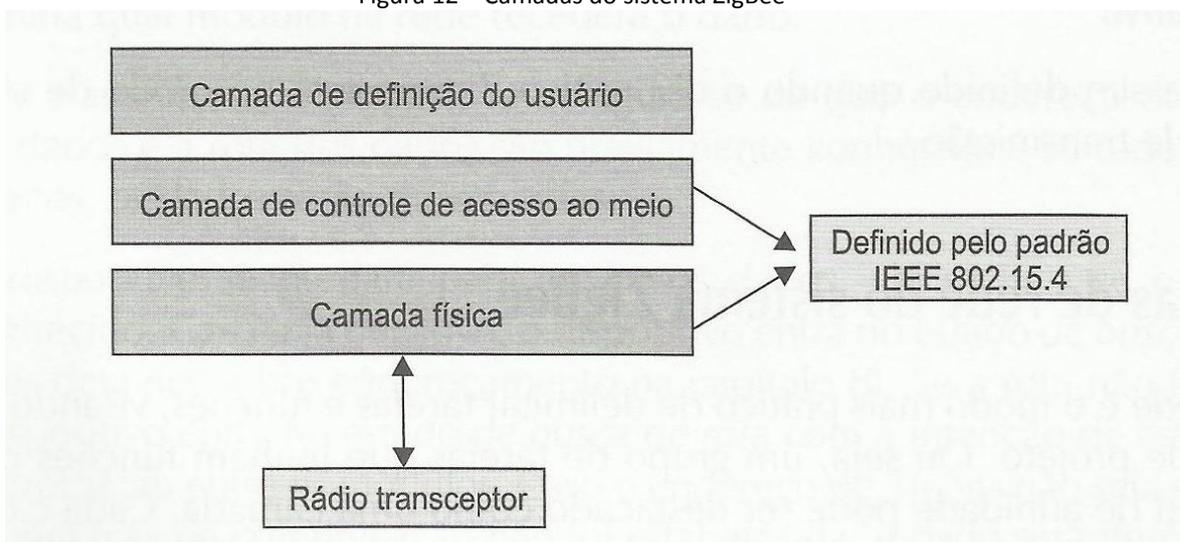
4.1. Padrão IEEE 802.15.4

O IEEE 802.15.4 é um padrão para comunicação de eletrônica sem fio criado pelo IEEE (*Institute for Electrical Electronics Engineer*), uma associação de profissionais técnicos que vêm padronizando protocolos de comunicação, visando o crescimento e a interoperabilidade de tecnologias existente e aquelas que poderão existir. (RAMOS, 2012, p.37).

Quando necessitamos de aplicações com baixa taxa de transmissão e baixo consumo de energia, utilizamos o padrão IEEE 802.15.4. Esse padrão é base para todos os protocolos LR-WAN (*Low rate Wireless Personal Area Network*). O protocolo ZigBee utiliza esse padrão como base para o seu funcionamento.

Duas camadas definem o padrão IEEE 802.15.4, sendo a camada física e a camada MAC (*Media Access Control*), conforme a Figura 12.

Figura 12 – Camadas do sistema ZigBee



Fonte: RAMOS, 2012.

Na camada física são definidas as características de hardware e comandos elétricos. Essa camada recebe a informação dos meios externo e adequa para ser entregue a camada MAC (*Media Access Control*).

Na camada MAC (*Media Access Control*) é realizado todo acesso ao meio físico. Atividades como segurança do dispositivo, associação e desassociação de PAN e conexão confiável entre duas entidades MAC.

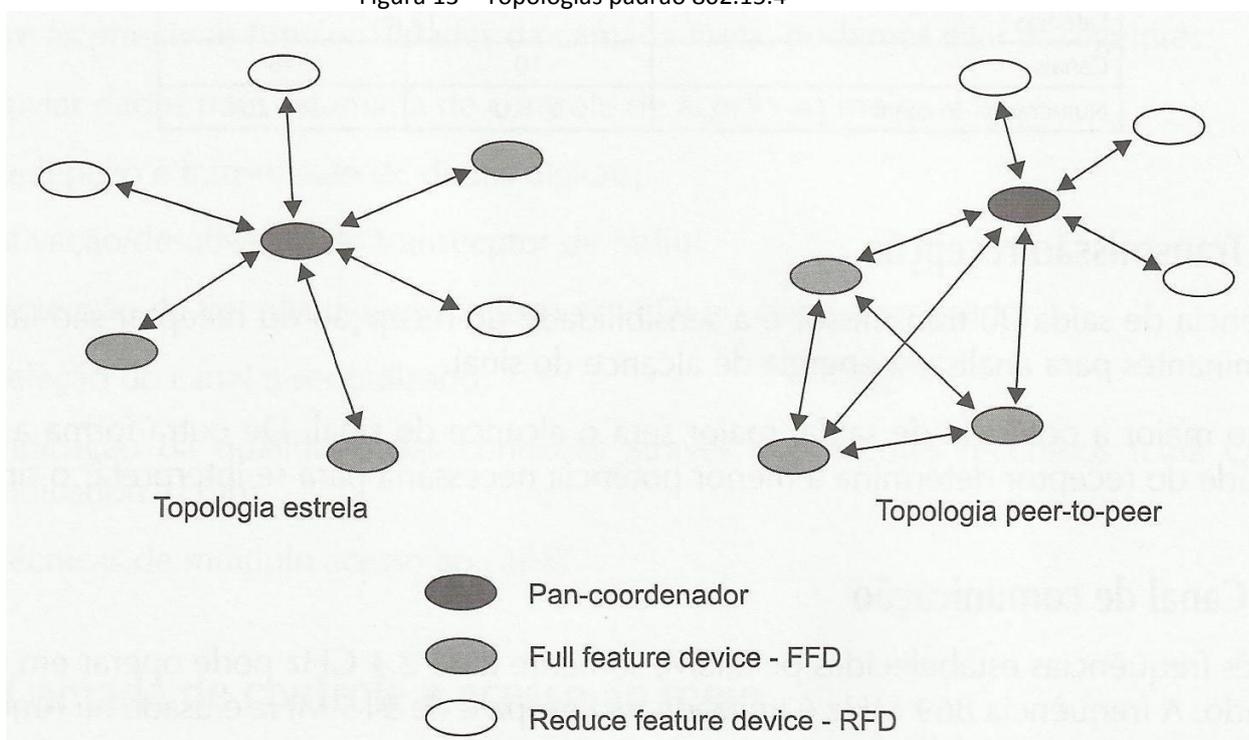
O padrão IEEE 802.15.4 opera com uma banda de frequência que chamamos de ISM (*Industrial Scientific Medical*) e opera nas frequências 868 MHz, 968 MHz e 2.4 GHz. Esse padrão opera em duas topologias de rede: estrela e *peer-to-peer*.

No padrão IEEE 802.15.4 temos dois componentes para o seu funcionamento: FFD (*Full Feature Device*) e RFD (*Reduce Feature Device*). O componente RFD não pode rotear dados na rede, somente se comunica com os componentes FFD.

O componente FFD já é mais completo, podendo rotear dados na rede, formar redes e comunicar-se com componentes RFD.

No protocolo de comunicação IEE 802.15.4 temos três componentes que integram a rede, que são o PAN-coordenador, coordenador e *end device*. O PAN-coordenador tem o papel de formar a rede selecionando um canal de comunicação e endereço específico, o coordenador é utilizado como roteador disponibilizando rotas de caminhos alternativos e o *end device* trabalha de forma reduzida enviando e recebendo informação dos dispositivos FFD. Na Figura 13, temos a ideia da divisão desses três componentes na topologia estrela e *peer-to-peer*.

Figura 13 – Topologias padrão 802.15.4



Fonte: RAMOS, 2012.

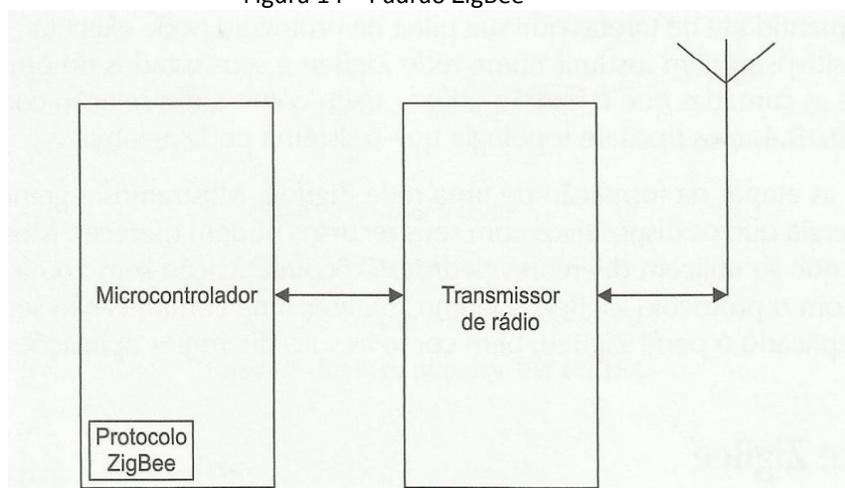
5. PADRÃO ZIGBEE

Em 2002, grandes empresas do setor de eletrônicos e áreas afins decidiram padronizar um sistema de comunicação eletrônica sem fio para o setor de automação. Elas juntaram forças com a finalidade promissora de tornar esse sistema compatível independentemente da empresa que produzisse o circuito. Essa junção de forças ocasionou a formação de uma sociedade conhecida como *Alliance ZigBee*. (RAMOS, 2012, p.41).

Esse padrão ZigBee é livre para aquisição, todas as especificações e documentos estão disponíveis para o público. O interessado deverá ser sócio da *Alliance ZigBee* e pagar uma certa quantia pela associação. Os produtos que são construídos com essa tecnologia devem passar por testes para receber a homologação.

O Padrão ZigBee é a união de um protocolo particular associado ao uso de um rádio, onde os pacotes são enviados através de uma rede sem fio com frequência específica, comunicando-se com outros componentes do mesmo padrão. Na Figura 14, temos um exemplo do que é o padrão ZigBee.

Figura 14 – Padrão ZigBee

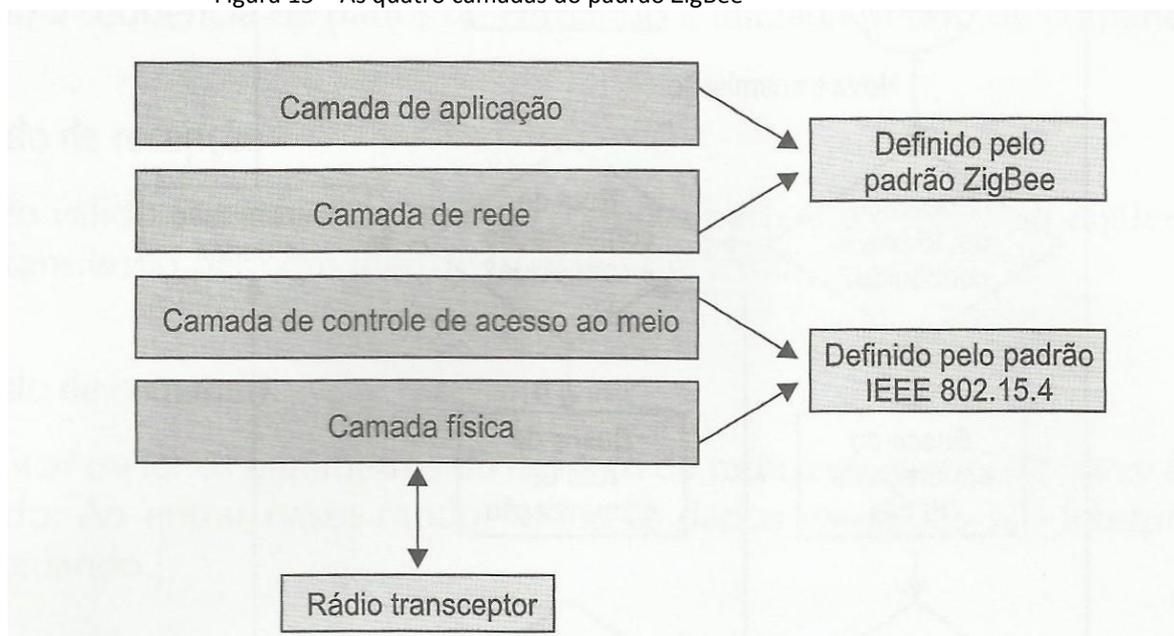


Fonte: RAMOS, 2012.

Numa pilha de protocolos, cada camada tem seu papel em uma arquitetura e o ZigBee implementa as camadas essenciais quando comparado ao modelo ISO/OSI, já que os objetivos são, baixo custo, baixa taxa de transmissão, baixo consumo de energia e circuitos com baixa complexidade.

O padrão ZigBee possui apenas quatro camadas, sendo as duas camadas mais baixas, a física e controle, definidas pelo padrão IEEE 802.15.4, e as camadas de aplicação e rede definidas pelo padrão ZigBee. Na Figura 15, temos o modelo das camadas no padrão ZigBee.

Figura 15 – As quatro camadas do padrão ZigBee



Fonte: RAMOS, 2012.

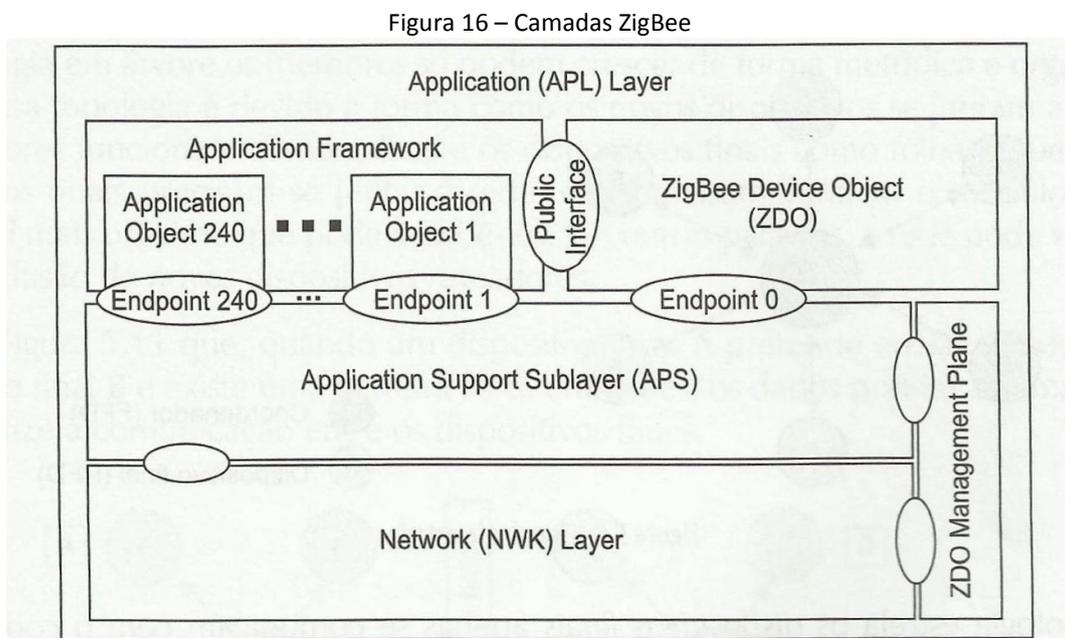
5.1. Camada de rede

Conforme Ramos (2012), a camada de rede oferece basicamente dois serviços: dados e gerenciamento. A camada de rede é responsável por:

- Controlar o fluxo de dados na rede;
- Distribuir os endereços de 16 bits;
- Controlar a distância que um *frame* pode viajar na rede;
- O modo de comunicação: *multicast*, *broadcast* ou *unicast*.

5.2. Camada de aplicação

A camada de aplicação é o nível mais alto do padrão de comunicação ZigBee. Essa camada é dividida em três partes sendo: *Application Support (APS) Sublayer*, *ZigBee Device Objects (ZDO)* e *Application Framework*. A Figura 16 ilustra a disposição das camadas.



Fonte: RAMOS, 2012.

A *Application Support (APS) Sublayer* faz a interface entre a camada aplicação e a camada de rede (*Network Layer*). *Application Framework* é uma subcamada onde são armazenados os *application objects* responsáveis por controlar a camada APS.

As empresas que fabricam o ZigBee desenvolvem um perfil de aplicação responsável pela atuação do ZigBee na prática. Este processo é chamado de *application objects*.

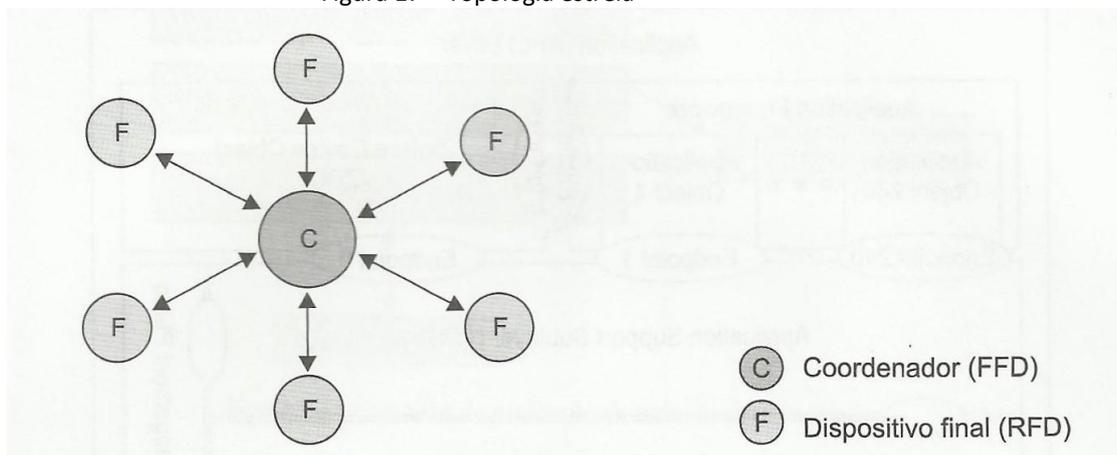
Num dispositivo ZigBee podem se armazenados 240 *application objects* diferentes. Com um único rádio é possível ter o controle de 240 dispositivos conectados a ele. No caso de automação predial, pode-se ter o controle de 240 lâmpadas independentemente umas das outras através de seus respectivos *endpoint address*. (RAMOS, 2012, p.49).

5.3. Topologia de rede do sistema ZigBee

No padrão ZigBee, o gerenciamento é feito pela camada de rede e disponibilizadas nas topologias estrela e *peer-to-peer*. Existem três componentes fundamentais em uma rede ZigBee, a saber: Coordenador (FFD), Roteador (FFD) e o Dispositivo Final (RFD).

Na topologia estrela, os dispositivos finais (RFD), comunicam-se com os dispositivos coordenadores (FFD), conforme ilustrado a Figura 17.

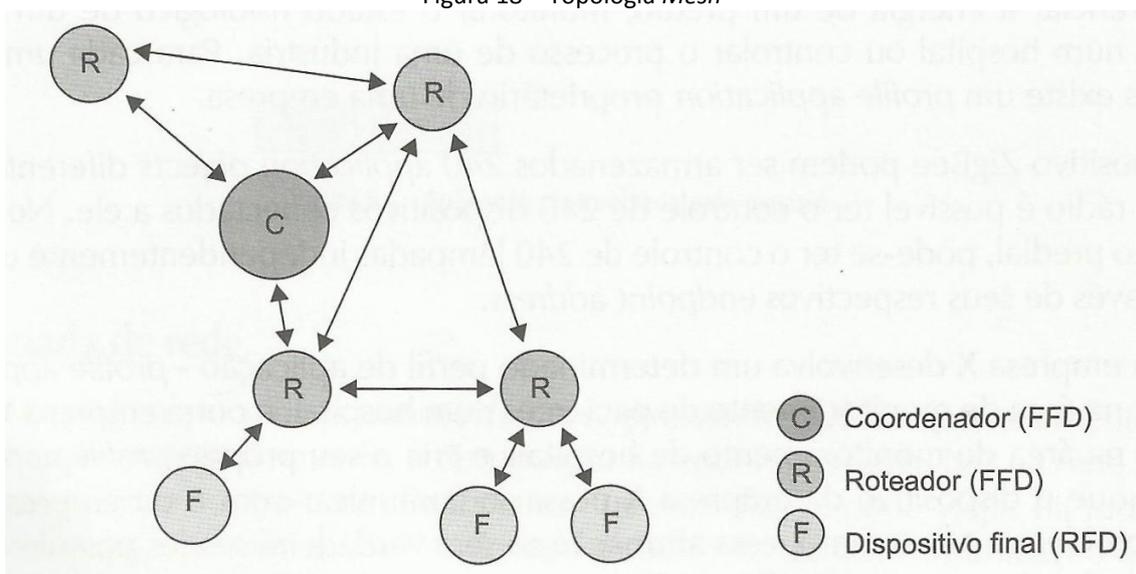
Figura 17 – Topologia estrela



Fonte: RAMOS, 2012.

Já na topologia ponto-a-ponto, os módulos roteadores (FDD) se comunicam com os roteadores (FDD) mais próximos. Dependendo de como os módulos se comunicam, duas formações podem aparecer: árvore e *Mesh*.

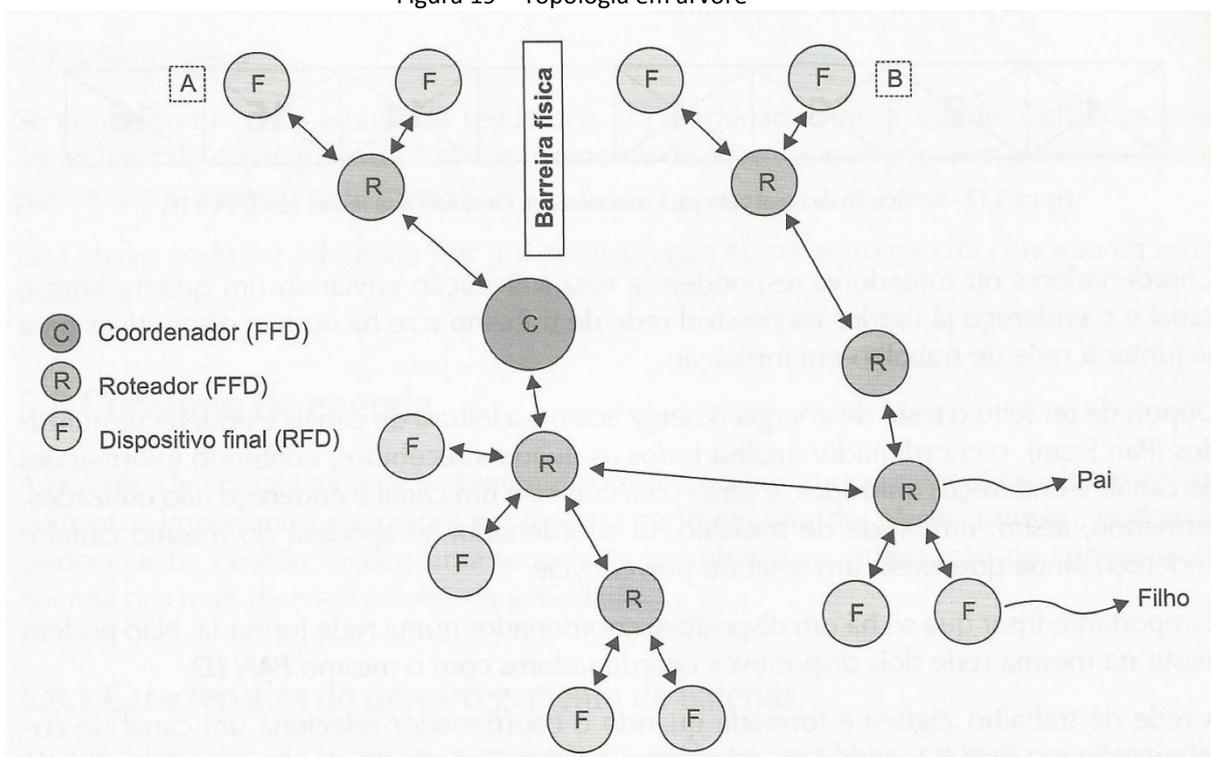
Na topologia *Mesh*, quando um dispositivo final (RFD) é comandado pelo coordenador (FFD) e não tem alcance para tal, outros coordenadores (FFD) podem fazer o papel de repetidores para fazer com que a comunicação seja estabelecida. Na rede *Mesh* o único fator para não ocorrer a comunicação será se a potência de radiação for baixa, conforme Figura 18.

Figura 18 – Topologia *Mesh*

Fonte: RAMOS, 2012.

Na topologia árvore, caso haja uma barreira física que impeça a comunicação entre os pontos finais da comunicação, será necessário assumir outra rota através dos elementos roteadores até que os dados sejam entregues ao seu destino. Nesse tipo de topologia, os roteadores são chamados de elementos pais e os dispositivos finais de elementos filhos, conforme a Figura 19.

Figura 19 – Topologia em árvore



Fonte: RAMOS, 2012.

5.4. Comportamento de uma rede ZigBee

Entende-se como uma rede ZigBee a união do protocolo IEEE 802.15.4 com o protocolo ZigBee, resultando no controle do melhor caminho, comunicação que oferece menor ruído e a distribuição dos endereços dinâmicos na rede.

A formação de uma rede ZigBee é chamada de PAN (*Personal Area Network*), onde cada rede formada possui um endereço, chamado de PAN ID. Esse endereço é armazenado em cada dispositivo coordenador quando esses dispositivos acessam uma rede.

Em uma rede sempre será necessário a presença de um coordenador e nunca ocorrerão repetições do Pan ID. O coordenador que assumir o controle da rede, terá um PAN ID e um canal específico; e os roteadores e elementos poderão associar-se a essa rede.

Em uma rede ZigBee, o coordenador realiza várias leituras com o objetivo de procurar um canal e uma frequência disponível. Nesse processo é analisado o nível de energia dos canais (*energy scan*) e os que possuem maior nível de energia, ficarão fora da lista de canais disponíveis na memória do coordenador. Isto ocorre porque o coordenador precisa encontrar um canal livre para operar e os canais livres apresentam baixo nível de energia. O coordenador encaminha pacotes em *broadcast*, solicitando canais e possíveis componentes de uma rede já formada. Após esse teste, o coordenador verifica se os canais armazenados na sua memória estão ligados a outros coordenadores e se existem componentes disponíveis para essa nova formação.

Após a rede Zigbee ser formada, todos os dispositivos receberão um endereço de 16 bits ao se juntar a PAN e o endereço do coordenador será sempre 00h. Após a formação da rede, os roteadores e elementos finais também pesquisam as PAN mais próximas para uma nova formação. Os dispositivos finais, chamados filhos, só podem se associar a um único elemento roteador, chamado pai.

“Coordenadores e roteadores permitem o acesso de dispositivos à rede. O controle de acesso depende de dois fatores: se o acesso é permitido ou se o número de dispositivos filhos já chegou ao limite máximo”. (RAMOS, 2012, p.53).

Quando uma rede ZigBee é formada, o coordenador inicia a segurança da rede com uma chave de cifra de 128 *bits*. Somente os componentes que possuem essa chave, poderão acessar a rede. Essa chave pode ser configurada antes do processo ou no instante que o dispositivo iniciar a conexão.

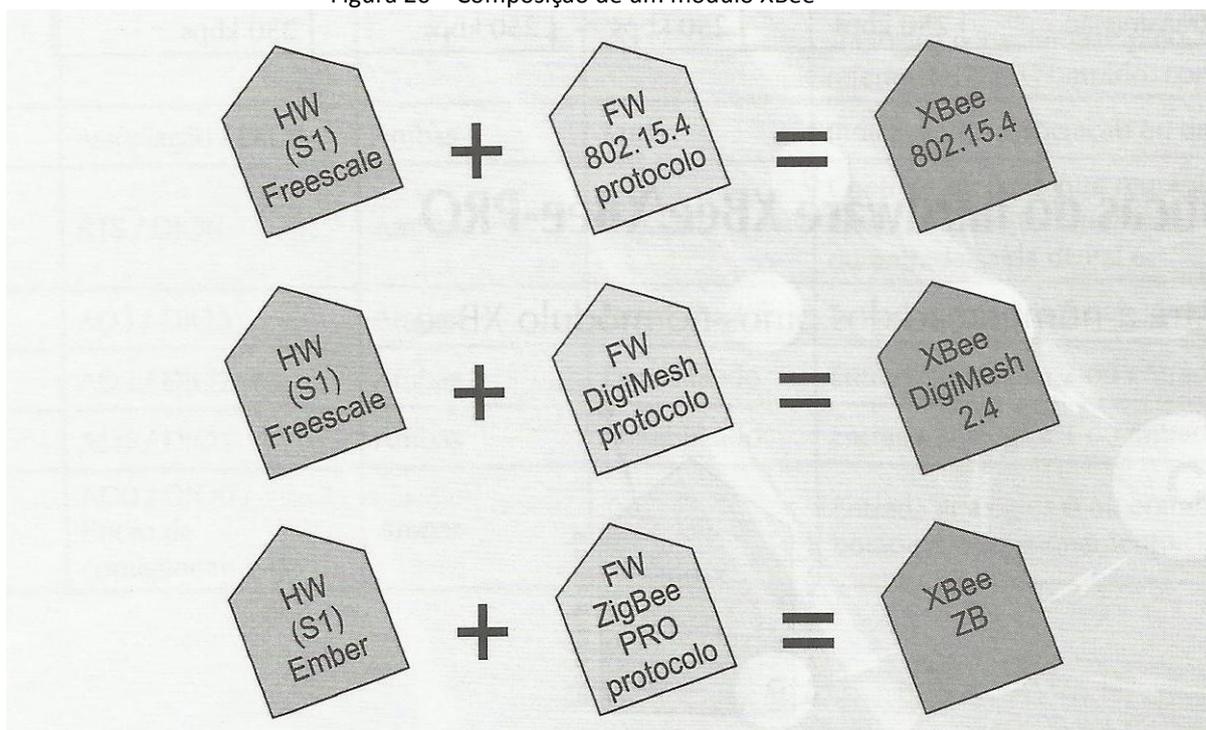
O espectro de frequências eletromagnéticas é regulamentado em praticamente todos os países. No Brasil, o órgão responsável é a ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações).

O ZigBee possui uma característica, conhecida como coexistência, por operar em frequências de 2,4 GHz e não interferir em equipamentos como telefones sem fio, dispositivos Bluetooth e IEEE 802.11b/g. Através de técnicas de tratamento do espectro, esses dispositivos podem operar próximos uns dos outros sem interferência significativa.

6. MÓDULOS XBEE

Para ter um módulo XBee, duas uniões deverão ocorrer: *hardware* e protocolo utilizado, Figura 6.1

Figura 20 – Composição de um módulo XBee



Fonte: RAMOS, 2012.

Os módulos XBee podem estar divididos em séries que correspondem ao tipo de *hardware* que estão utilizando e ao tipo de protocolo empregado. Outra característica é a potência de transmissão que é dividida em dois modos: XBee e XBee PRO, Tabela 2.

Tabela 2 – Comparação entre módulos XBee e XBee-PRO

	802.15.4 (S1)		ZigBee (S2)	
	XBee	XBee-PRO	XBee	XBee-PRO
Distâncias internas	30 m	90 m	40 m	90 m
Distâncias externas	90 m	1600 m	120 m	3200 m
Potência de transmissão	1 mW (0 dBm)	63 mW	2 mW (3 dBm)	50 mW (17 dBm)
Sensibilidade de recepção	-92 dBm	-100 dBm	-96 dBm	-102 dBm
Corrente de pico na transmissão	45 mA	250 mA	40 mA	295 mA
Corrente na recepção	50 mA	55 mA	40 mA	45 mA
Taxa de transmissão	250 kbps	250 kbps	250 kbps	250 kbps

Fonte: RAMOS, 2012.

Os módulos da série 1 são mais básicos e suportam apenas os protocolos IEEE 802.15.4 e DigiMesh.

Os módulos da série 2 PRO suportam operações como coordenador, roteador e dispositivos finais. Possuem *hardware* mais avançado como: parâmetros para configuração em modo avançado, memória *flash*, memória RAM, maior alcance podendo chegar até (40 km), entre outros. Para cada aplicação temos uma série e um perfil para atender as necessidades em campo.

6.1. Protocolo DigiMesh

Esse protocolo foi definido pela empresa Digi, cujo objetivo é permitir a transmissão de dados através de nós até as informações chegarem ao destino final. Esse protocolo é muito utilizado pela capacidade de autorrecuperação em ambientes com muitos obstáculos.

A rede DigiMesh utiliza técnica de DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*).

Utilizado no padrão 802.11b, o DSSS utiliza uma técnica denominada *code chips*, que consiste em separar cada bit de dados em 11 *sub-bits*, que são enviados de forma redundante por um mesmo canal em diferentes frequências, e a banda de 2,4 GHz é dividida em três canais. Essas características torna o DSSS mais suscetível a ataques diretos em uma frequência fixa e a ruídos que ocupem parte da banda utilizada. (RUFINO, 2011, p.21).

6.2. Endereçamentos

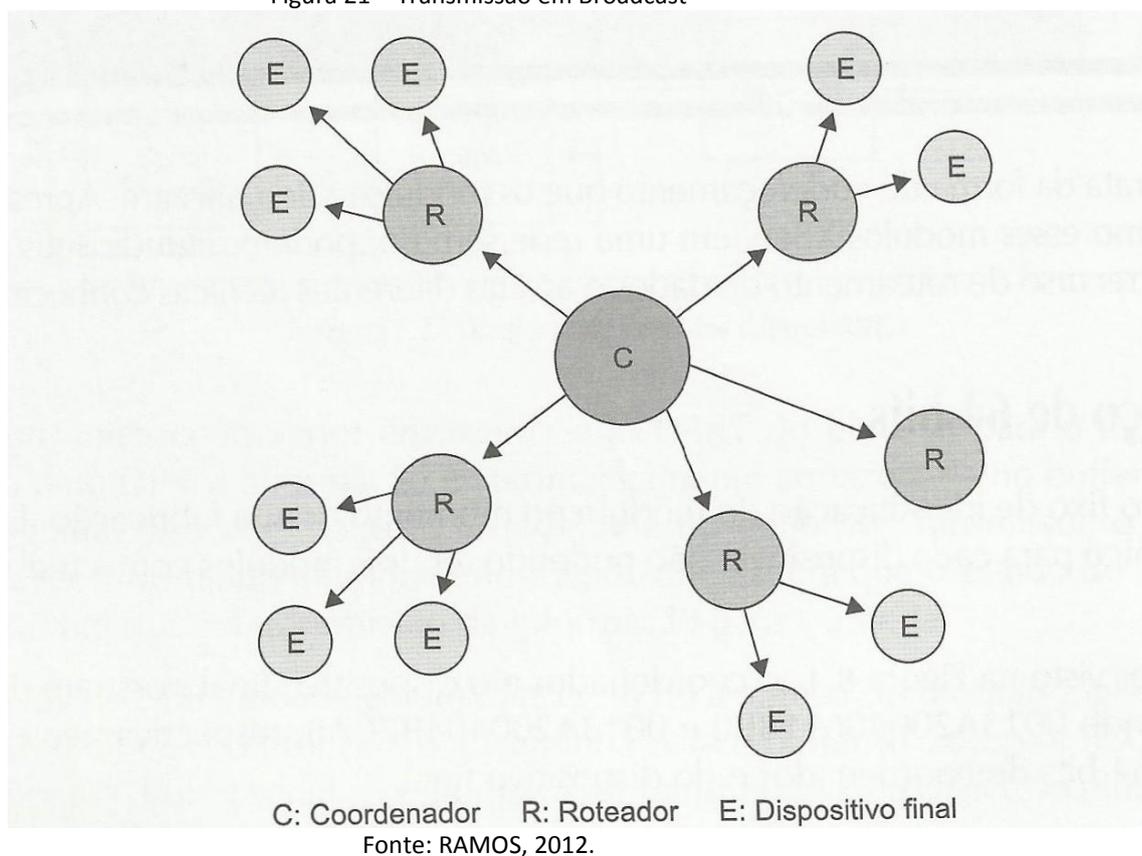
O módulo possui um endereço físico de 64 *bits*, que é gerado na sua fabricação e não podem haver dois módulos com o mesmo endereço. Há um outro endereço, dinâmico, que corresponde ao endereço adquirido na conexão a uma rede PAN.

Outro endereçamento utilizado é o de 16 *bits*, que o módulo recebe ao entrar em uma PAN. Não é nada mais que o endereço de rede, fornecido pelo coordenador ou roteador. O endereço 0X0000 é sempre reservado para o coordenador da rede.

6.3. Transmissão de dados

A transmissão de dados pode ser feita de duas formas: *unicast* e *broadcast*. No modo *broadcast*, o coordenador envia três pacotes de dados, que passa pelos roteadores até chegarem aos dispositivos finais. Quando o coordenador receber o comando de *broadcast*, ele utilizará o roteador mais próximo para que a informação chegue ao dispositivo final, Figura 21.

Figura 21 – Transmissão em Broadcast



No modo *unicast*, o coordenador envia um pacote em modo *broadcast* com o endereço de 16 bits para toda a rede e, quando o destino for encontrado, um pacote é retornado ao coordenador com *status* de localização concluída, de forma que o pacote de dados possa ser enviado ao destinatário.

6.4. Roteamento

Quando temos transmissões em modo *unicast* e a distância entre um dispositivo e o coordenador não for suficiente para estabelecer a comunicação, a rede ZibBee adotará várias formas de roteamento. A Tabela 3 define os tipos de roteamento e suas aplicações.

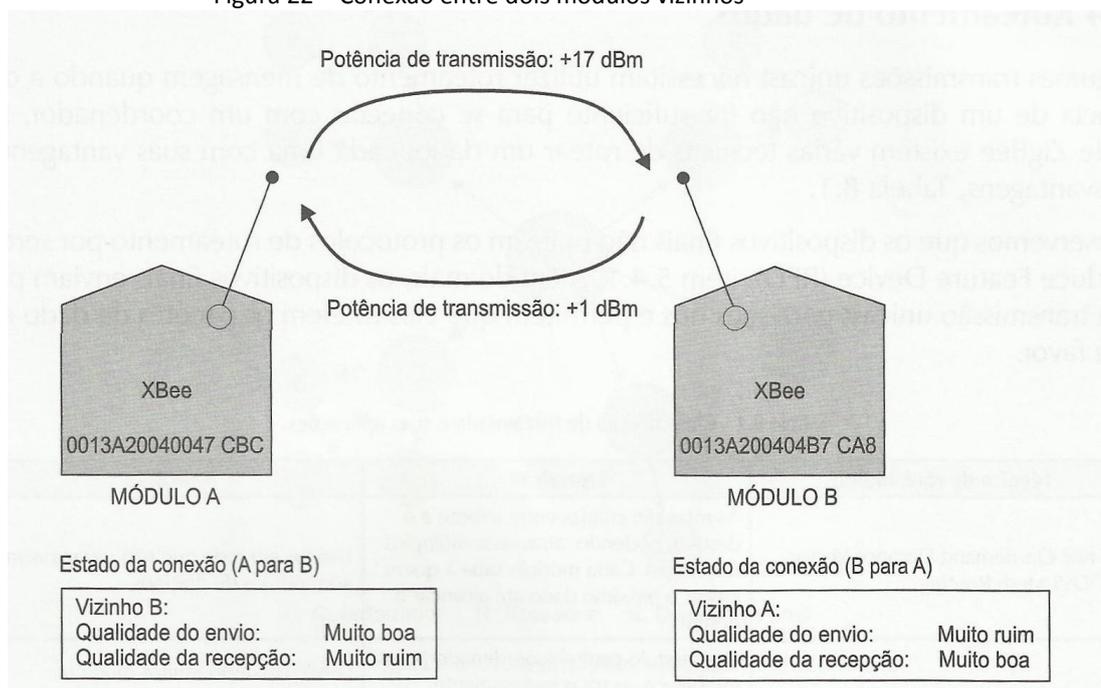
Tabela 3 – Classificação do roteamento

Técnica de roteamento	Descrição	Aplicação
Ad hoc On-demand Distance Vector (AODV) Mesh Routing	As rotas são criadas entre a fonte e o destino, podendo atravessar múltiplos nós (hops). Cada módulo sabe a quem enviar o próximo dado até alcançar o destino.	Usados em rede que não ultrapassem 40 módulos de destinos.
Many-to-One Routing	Um módulo central (coordenador) estabelece as rotas reversamente, através das transmissões em broadcast dos módulos da rede.	Usados quando muitos módulos enviam dados para um módulo central (coordenador) ou um gateway.
Source Routing	Nos pacotes de dados é incluída toda a rota que deve ser atravessada da fonte até chegar ao destino.	Melhor eficiência de rota em grandes redes (acima de 40 módulos).

Fonte: RAMOS, 2012.

Em uma rede ZigBee os dispositivos coordenador e roteador encaminham um pacote de dados chamado *link status transmission* (estado do *link* de transmissão), com o objetivo de verificar o estado da conexão dos componentes da rede. Esse pacote é enviado em *broadcast* para os vizinhos mais próximos com a qualidade de transmissão e recepção. Com essas informações cada dispositivo na rede pode saber qual será o caminho com melhor qualidade e estabelecer uma rota mais específica, conforme a Figura 22.

Figura 22 – Conexão entre dois módulos vizinhos



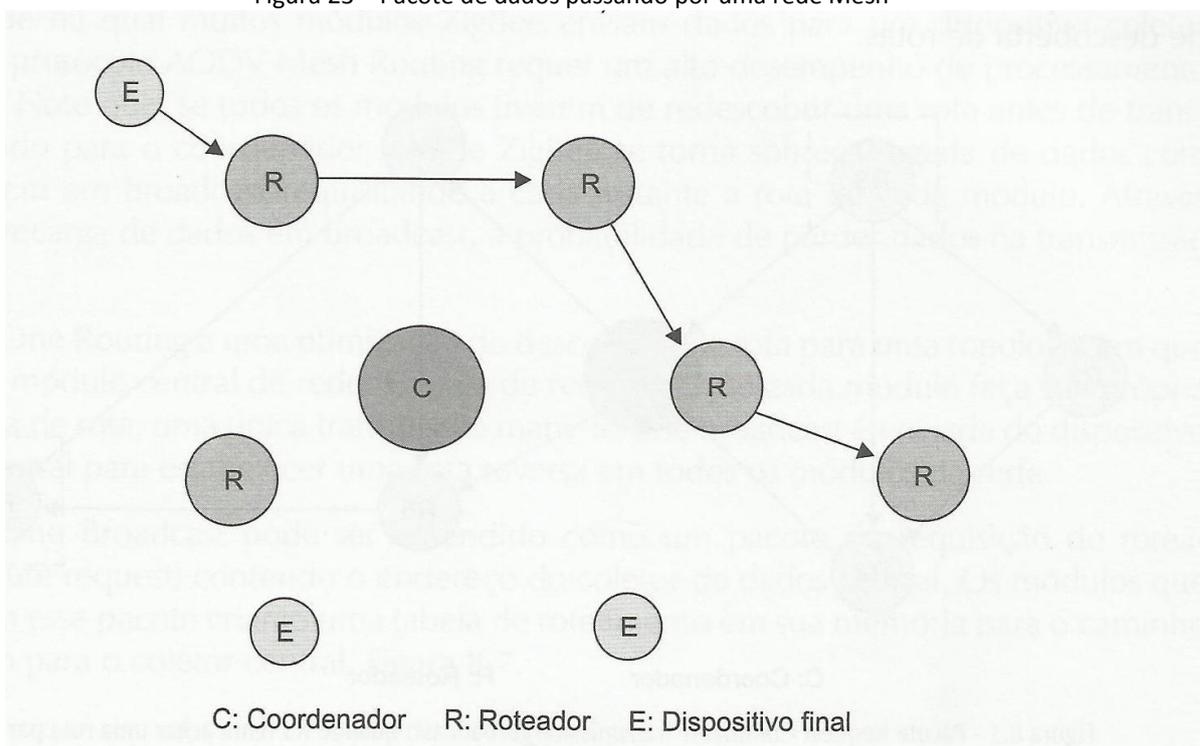
Fonte: RAMOS, 2012.

Quando um dispositivo coordenador ou roteador é energizado, ele já encaminha um pacote com as informações da sua conexão com um intervalo de dois segundos entre cada pacote. Assim que a conexão de melhor qualidade é estabelecida, esse pacote que com as informações da conexão é encaminhado com menor frequência, em torno de três a quatro minutos.

6.4.1. Protocolo de roteamento AODV: roteamento Mesh

O protocolo AODV (*Ad-hoc On-demand Distance Vector*) é um protocolo de roteamento, que é a técnica adotada para estabelecer um roteamento *Mesh*, onde é adotado o melhor caminho entre a origem e o destino. Os pacotes são encaminhados passando por vários dispositivos roteadores. A Figura 23 ilustra um roteamento *Mesh*.

Figura 23 – Pacote de dados passando por uma rede Mesh



Fonte: RAMOS, 2012.

O algoritmo de roteamento AODV (*Ad-hoc On-demand Distance Vector*) é aplicado na tabela que armazena o próximo *hop* (nós intermediários entre a fonte e o destino) até o destino, Tabela 4, a qual é armazenada na memória do próprio ZigBee. (Ramos, 2012, p.85).

Tabela 4 - Tabela de descoberta de rota

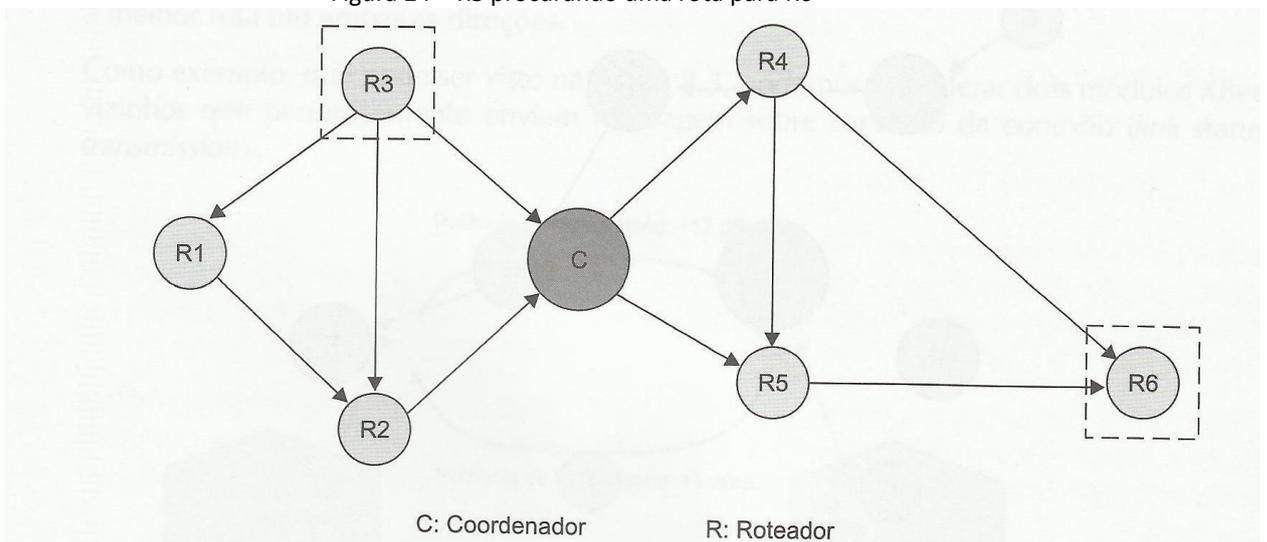
Nó	Endereço de destino	Endereço do próximo HOP
R3	Roteador 6	Coordenador
C	Roteador 6	Roteador 5
R5	Roteador 6	Roteador 6

Fonte: RAMOS, 2012.

Durante uma transmissão partindo da fonte, o pacote contém a informação de origem, destino e qual será a melhor rota.

Vejamos um exemplo: na Figura 24, o dispositivo R3 envia um pacote em *broadcast* com o objetivo de estabelecer a conexão com o dispositivo R6.

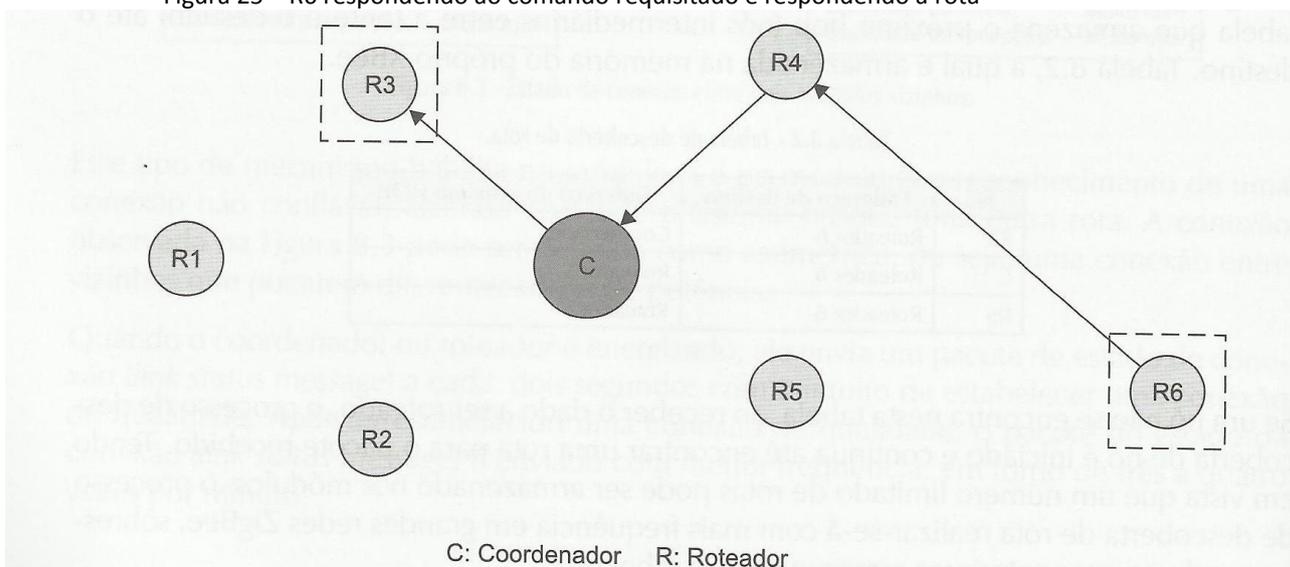
Figura 24 – R3 procurando uma rota para R6



Fonte: RAMOS, 2012.

Quando o dispositivo R6 receber os pacotes dos outros dispositivos, ele compara a melhor qualidade do sinal e envia um pacote para o dispositivo R3 com a rota escolhida, conforme a Figura 25.

Figura 25 – R6 respondendo ao comando requisitado e respondendo a rota

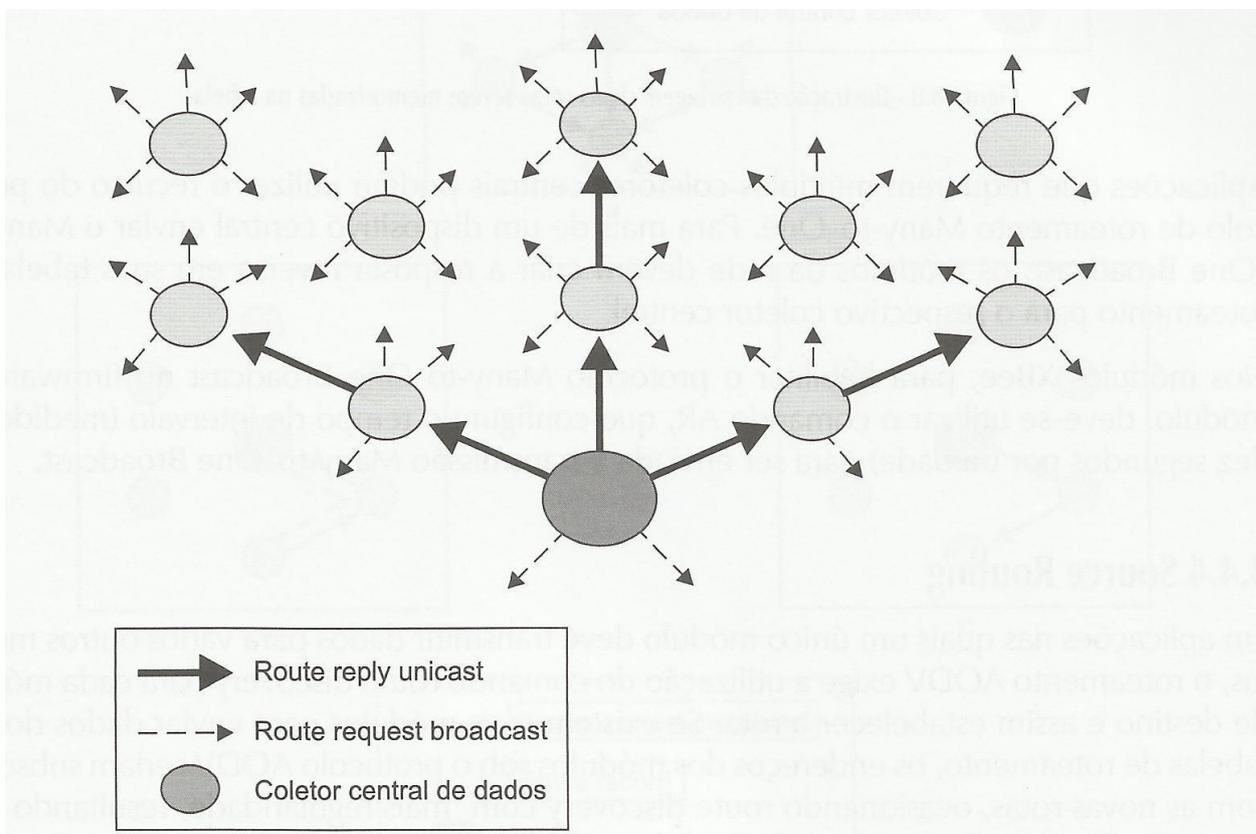


Fonte: RAMOS, 2012.

6.4.2. Many-to-one Routing

Outra forma de roteamento utilizada ocorre quando há vários módulos na rede ZigBee e a necessidade de descoberta de rota se torna constante. Neste caso, o tráfego aumenta e podem ocorrer perda de dados. Nesse caso é preciso um coletor de dados central, que tem o objetivo de criar uma tabela de rotas para todos os dispositivos da rede, conforme ilustrado na Figura 26.

Figura 26 – Funcionamento do roteamento Many-to-one Broadcast

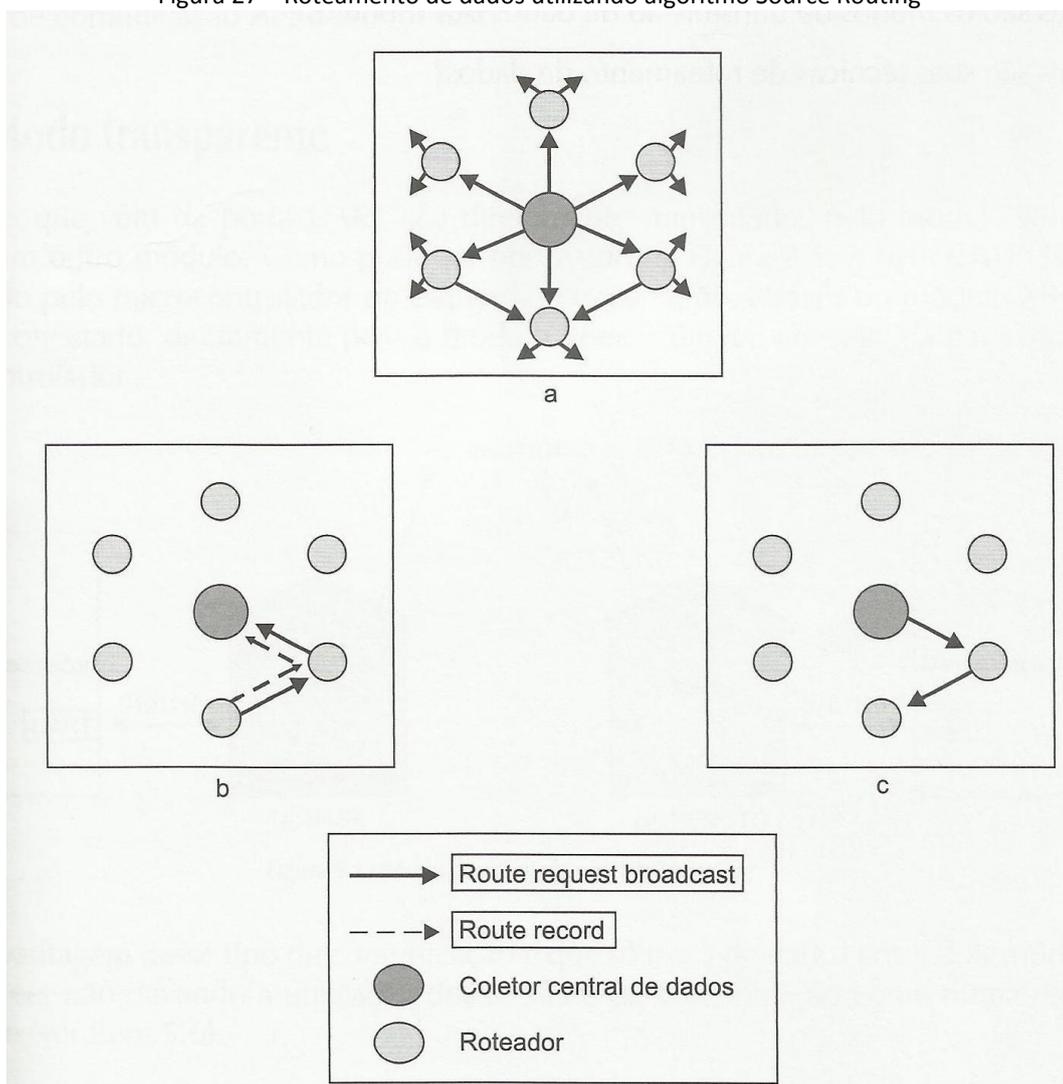


Fonte: RAMOS, 2012.

6.4.3. Source Routing

Esse protocolo de roteamento tem como característica o fato de apenas um dispositivo transmitir dados para os outros dispositivos na rede. O coletor central envia um pacote de dados em *broadcast* para criar rotas reversas em todos os dispositivos da rede, conforme ilustrado na Figura 27a. Assim que os dispositivos remotos receberem esse sinal, outro pacote retorna com a informação da rota, Figura 27b. Após o pacote retornar para o coletor central, os dispositivos estarão prontos para iniciar a transmissão, conforme a Figura 27c.

Figura 27 – Roteamento de dados utilizando algoritmo Source Routing

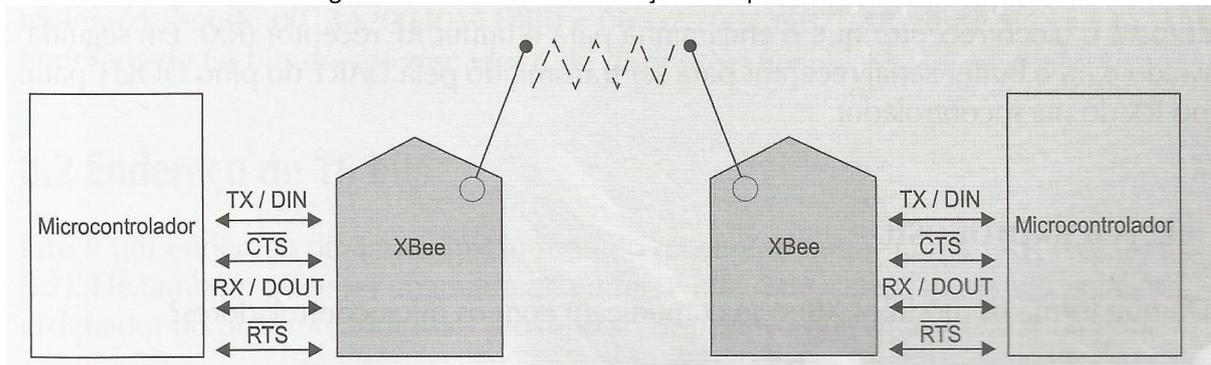


Fonte: RAMOS, 2012.

6.5. Modos de Comunicação XBee

Os módulos XBee comunicam-se através de uma interface serial UART (*Universal Asynchronous Receiver Transmission*). Em ambos os módulos fonte e remoto, temos um microcontrolador com seus terminais seriais ligados eletricamente aos pinos seriais do módulo XBee, conforme a Figura 28.

Figura 28 – Modo de comunicação transparente

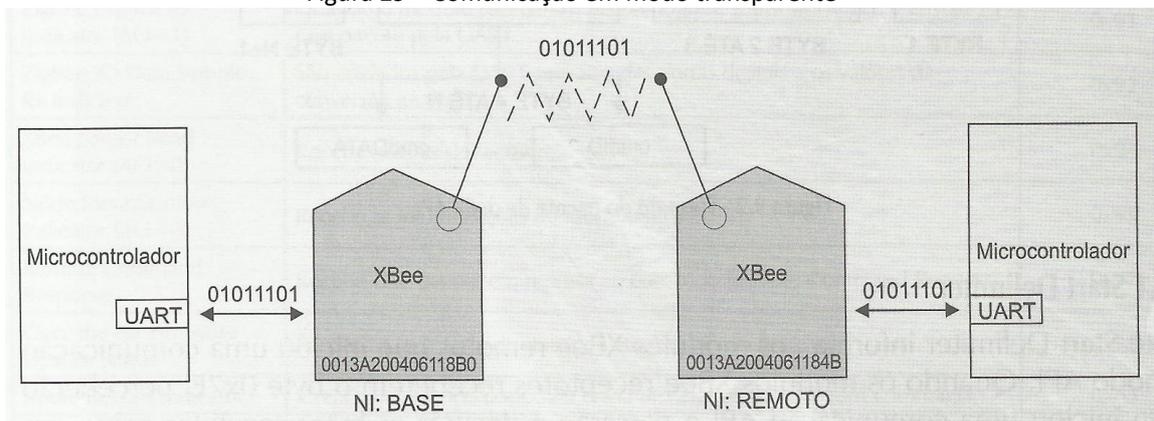


Fonte: RAMOS, 2012.

Os módulos podem operar em dois modos: transparente e API.

O modo transparente é adotado quando os *bits* enviados de um microcontrolador devem ser encaminhados para outro microcontrolador sem nenhum tipo de transformação através dos módulos XBee, como ilustrado na Figura 29.

Figura 29 – Comunicação em modo transparente



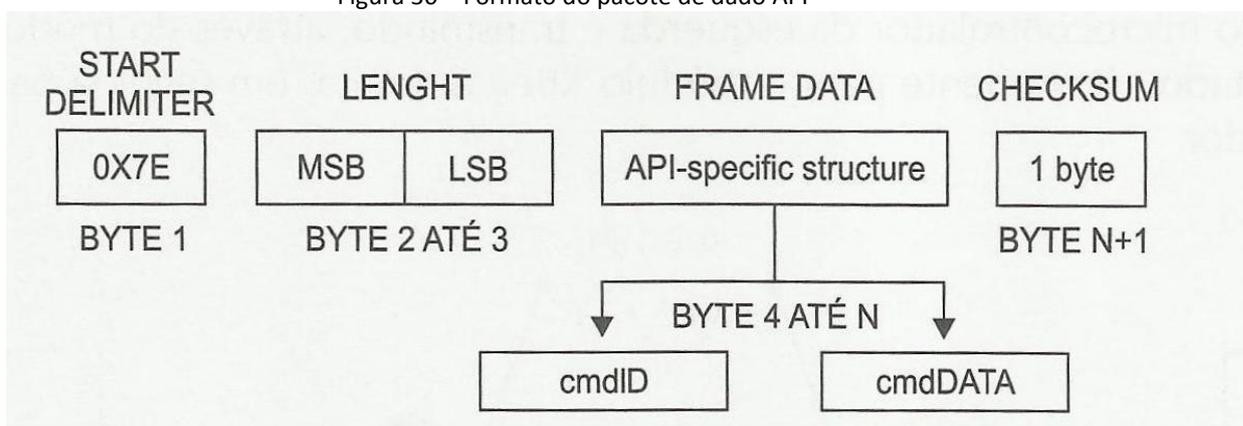
Fonte: RAMOS, 2012.

Neste modo, temos apenas a transmissão de dados de um ponto para outro sem ter a interação de uma rede ZigBee complexa. Podemos utilizar esse sistema em uma pequena automação onde se requer o controle de apenas um circuito sem a necessidade de outros módulos ZigBee.

Ao contrário do modo transparente, o modo API (*Application Programming Interface*) possui seus dados estruturados em forma de *frames*, especificando qual dispositivo da rede pode interagir com os comandos e seu *status* atual. O modo API pode ser dividido em duas classes: API sinalizada e não sinalizada.

A estrutura de dados API sem caractere sinalizado é mostrada na Figura 30.

Figura 30 – Formato do pacote de dado API



Fonte: RAMOS, 2012.

Os campos do *frame* são:

- *Start Delimiter*: informa aos módulos XBee remotos que a comunicação foi iniciada em modo API.
- *Lenght*: esse campo representa o tamanho do *frame* que pode ser indicado por 2 *bytes* (do *byte* 2 até o *byte* 3). Este protocolo utiliza frames de tamanho variável, marcados por um inicializador (o *start delimiter*).
- *Frame Data*: possui duas partes sendo, *cmdID* e *cmdDATA*. O *cmdID* contém o identificador do comando, conforme a Tabela 5. Os endereços de 16 e 64 bits estão listados no *cmdDATA* do dispositivo remoto. Quando os dispositivos estão com os seus dados em modo API local, não são utilizados esses endereços de 16 e 64 *bits*, ou seja, isso só funciona em modo rede com vários dispositivos e não quando em funcionamento de apenas dois dispositivos (modo transparente).
- *Checksum*: Controle de verificação de integridade do *frame*. A verificação é realizada somando-se todos os valores do campo *frame Data* e do campo *checksum*. Se o resultado da soma for 0xff, o *frame data* estará livre de erro.

Tabela 5 - Nome e valores do pacote API

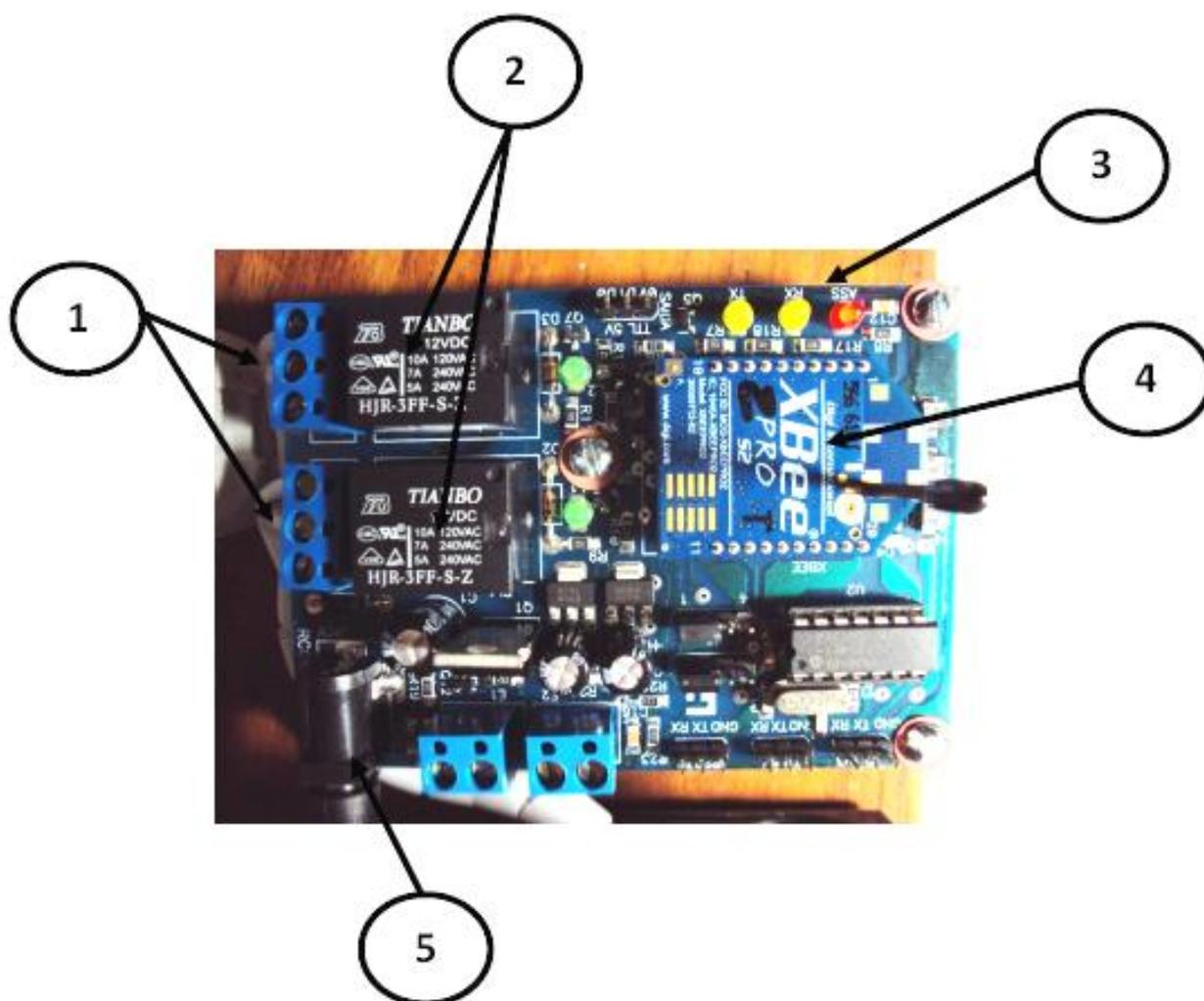
Nome do dado API ID	Função	Valor em hexadecimal
AT command	Configura salvando ou lê um determinado local no módulo	0x08
AT command - Queue	Configura sem salvar ou lê o valor de um parâmetro local no módulo	0x09
ZigBee Transmit Request	Comando ZigBee que solicita uma transmissão para um determinado endereço	0x10
Explicit Addressing ZigBee Command Frame	Permite que os endpoints e cluster ID sejam especificados por um pacote de transmissão	0x11
Remote AT Command Request	Utilizado para solicitar ou configurar parâmetros de um módulo remoto usando comando AT	0x17
Create Source Route	Cria uma rota de comunicação no módulo	0x21
AT Command Response	Responde a solicitação de um comando AT	0x88
Modem Status	Retorna o status do módulo para um determinado evento	0x8A
ZigBee Transmit Status	Indica se a transmissão do último pacote foi transmitido com sucesso	0x8B
ZigBee Receiver Packet	Recebe um pacote pelas portas UART do módulo	0x90
ZigBee Explicit Rx Indicator (AO=1)	Quando o módulo recebe um pacote ZigBee Transmit Packet, é enviado esse pacote pela UART	0x91
ZigBee IO Data Sample Rx Indicator	São enviados pela UART os status das portas digitais e os valores da conversão analógica	0x92
XBee Sensor Read Indicator (AO=0)	Recebe leitura dos sensores	0x94
Node Identification Indicator (AO=0)	Recebe as identificações do módulo remoto	0x95
Remote Command Response	Recebe esse pacote em resposta ao comando Remote Command Request	0x97
Over-the-Air Firmware Update Status	Fornecer a indicação do status da atualização do firmware	0xA0
Route Record Indicator	É recebido quando o módulo envia um ZigBee route record command	0xA1
Many-to-One Route Request Indicator	É enviado pela UART quando many-to-one route request command é recebido	0xA3

Fonte: RAMOS, 2012.

7. APLICAÇÃO PRÁTICA DE AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL USANDO XBEE

Para o desenvolvimento prático, vamos utilizar a interface *RCOM-HOMEBEE*. Essa interface possui dois relés, um microcontrolador e um *slot* para receber o *hardware* XBee. Nesse trabalho não vamos nos aprofundar nos conceitos do microcontrolador e seus objetivos na placa *RCOM-HOMEBEE*. Essa placa terá papel de dispositivo final. Na Figura 31 temos a imagem da placa *RCOM-HOMEBEE*.

Figura 31 – Dispositivo Final



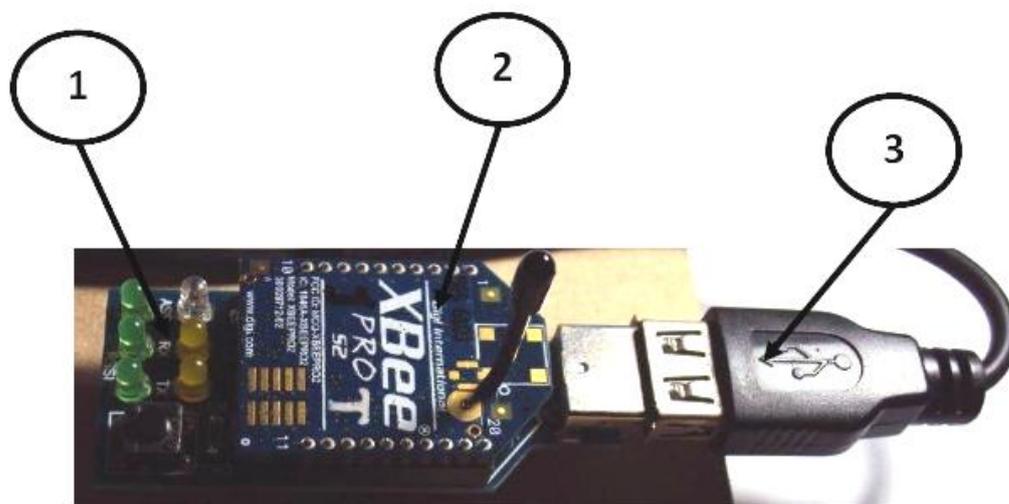
Fonte: Autoria própria, 2012.

Legenda da Figura 31:

- 1 – Bornes de para conexão com o circuito elétrico
- 2 – Relés para ligar e desligar os circuitos elétricos
- 3 – *Led* vermelho para sinalizar placa funcionando. *Led* amarelo transmissão de dados
- 4 – Módulo XBee – PRO dispositivo final
- 5 – Fonte de alimentação 12 V

Para comandar o módulo remoto RCOM-HOMEBEE, será utilizada uma placa adaptadora *USB* para transmitir os comandos a partir do computador. Na Figura 32 temos a foto do adaptador *USB*.

Figura 32 – Adaptador USB com módulo XBee



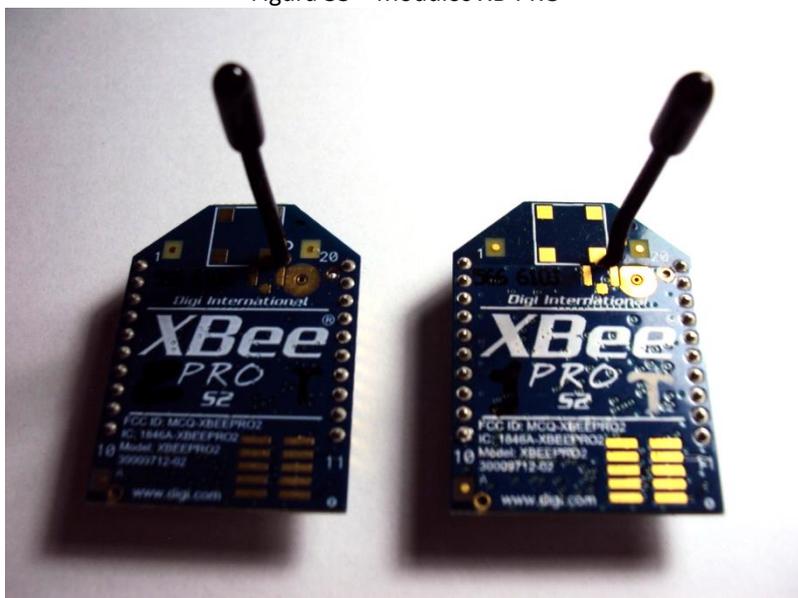
Fonte: Autoria própria, 2012.

Legenda Figura 32:

- 1 – *Led* Amarelo indica transmissão de dados e *led* verde indica qualidade do sinal.
- 2 – Módulo XBee-PRO Coordenador
- 3 – Conexão *USB*.

Na Figura 33 temos os módulos XBee, sendo que um será instalado no adaptador USB e outro na placa RCOM-HOMEBEE.

Figura 33 – Módulos XB-PRO

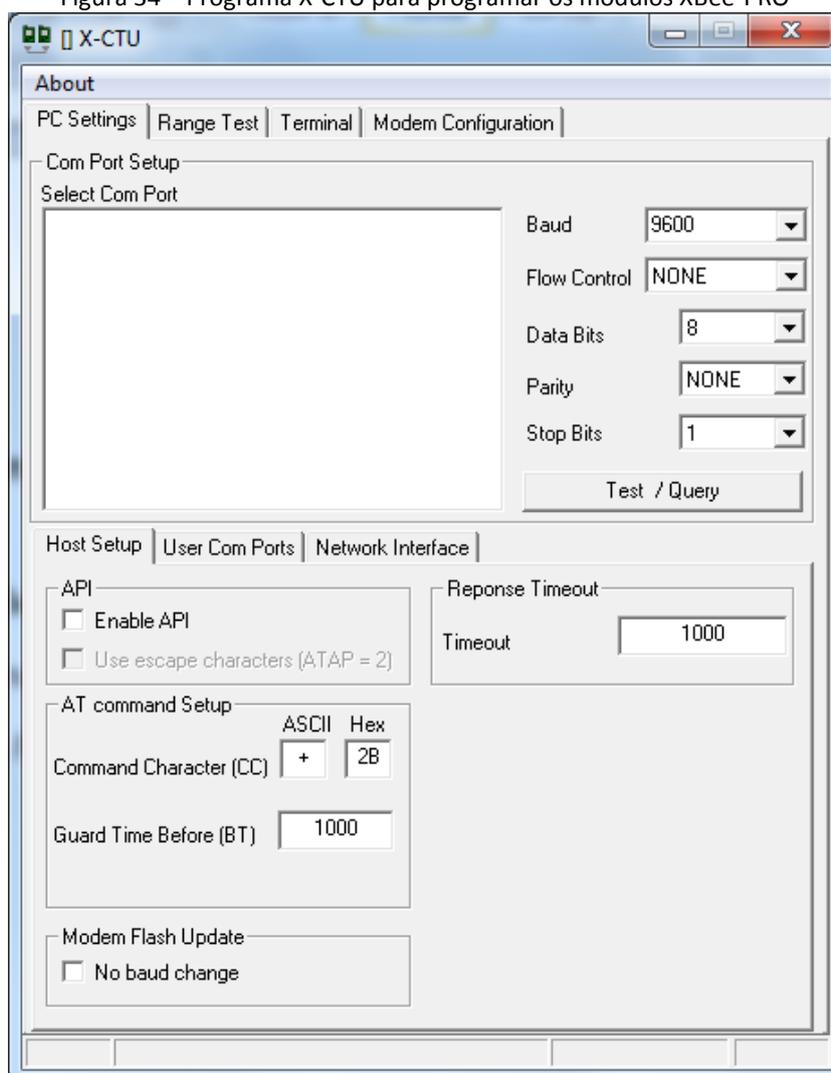


Fonte: Autoria própria, 2012.

7.1. Configuração dos módulos XBee

Para que os módulos XBee funcionem na automação, é necessário configurar os parâmetros. Para isso é necessário o programa X-CTU desenvolvido exclusivamente para os módulos XBee. Essa configuração foi realizada para apenas dois módulos XBee, o que chamamos de transmissão em modo transparente, ou seja, nesse modelo não teremos os conceitos de uma rede *Mesh*, por falta de mais módulos XBee. Na Figura temos a disposição da tela do programa X-CTU.

Figura 34 – Programa X-CTU para programar os módulos XBee-PRO

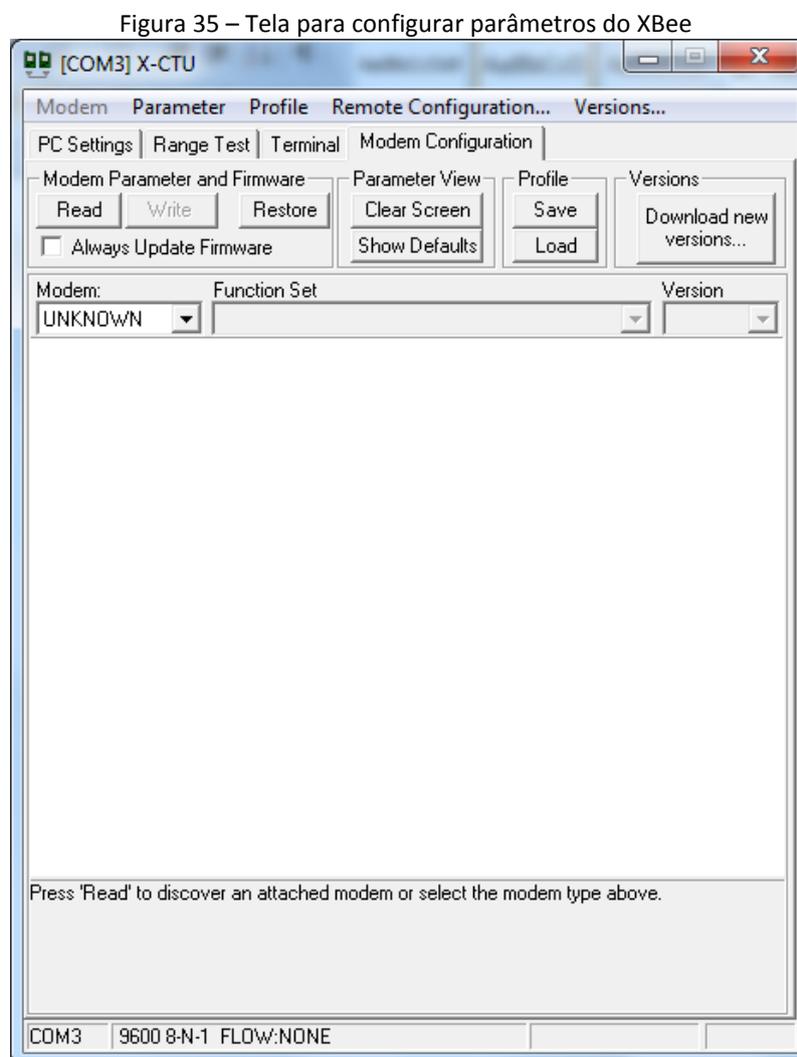


Fonte: DIGI INTERNATIONAL, 2011

Como primeira configuração, devemos entrar no campo *PC Settings* e selecionar os seguintes campos da comunicação serial:

- *Baud = 9600*
- *Flow control = none*
- *Data Bits = 8*
- *Parity = none*
- *Stop bits = 1*

Após selecionar, devemos configurar as opções de modem do módulo *XBee*. Na Figura 35 temos apresentação da tela a ser configurada. Para isso a aba *Modem Configuration* deverá ser acionada.



Fonte: DIGI INTERNATIONAL, 2011

Conforme ROGERCOM (2012), com o adaptador USB conectado ao computador, sem clicar em *Read*, os seguintes passos foram selecionados:

- Modelo do nosso modem que é XB24ZB no campo Modem;
- Função no campo *Function Set*, como *ZIGBEE COORDINATOR AT*;
- Versão do firmware que deve ser a mais atual, escolhida no campo *Version*;
- Marcar a opção *Always Update firmware*;
- *Clicar no botão Write para gravar os parâmetros.*

Após terminar a gravação do *firmware*, o botão *Read* foi acionado e executados os seguintes passos:

- Clicar no botão *Read*;
- Parâmetro DH = 0013A200
- Parâmetro DL = (inserido o número de série do módulo remoto);
- Desmarcada a função *Always Update firmware*;
- Acionado botão *Write* para gravar os parâmetros.

Após a realização desse procedimento um dos módulos já está pronto para funcionar. O módulo que não foi gravado foi inserido no Adaptador USB e os passos de gravação foram repetidos, exceto pelo fato de que o parâmetro *Function Set* foi configurado como *ZIGBEE ROUTER AT*:

- Modelo do nosso modem que é XB24ZB no campo Modem;
- Função no campo *Function Set*, como *ZIGBEE ROUTER AT*;
- Versão do firmware que deve ser a mais atual, escolhida no campo *Version*;
- Marcar a opção *Always Update firmware*;
- *Clicar no botão Write para gravar os parâmetros.*

Após terminar a gravação do *firmware*, o botão *Read* foi acionado e executado os seguintes passos:

- Clicar no botão *Read*;
- Parâmetro DH = 0013A200
- Parâmetro DL = (inserido o número de série do módulo local);
- Desmarcado a função *Always Update firmware*;
- Botão *Write* acionado para gravar os parâmetros.

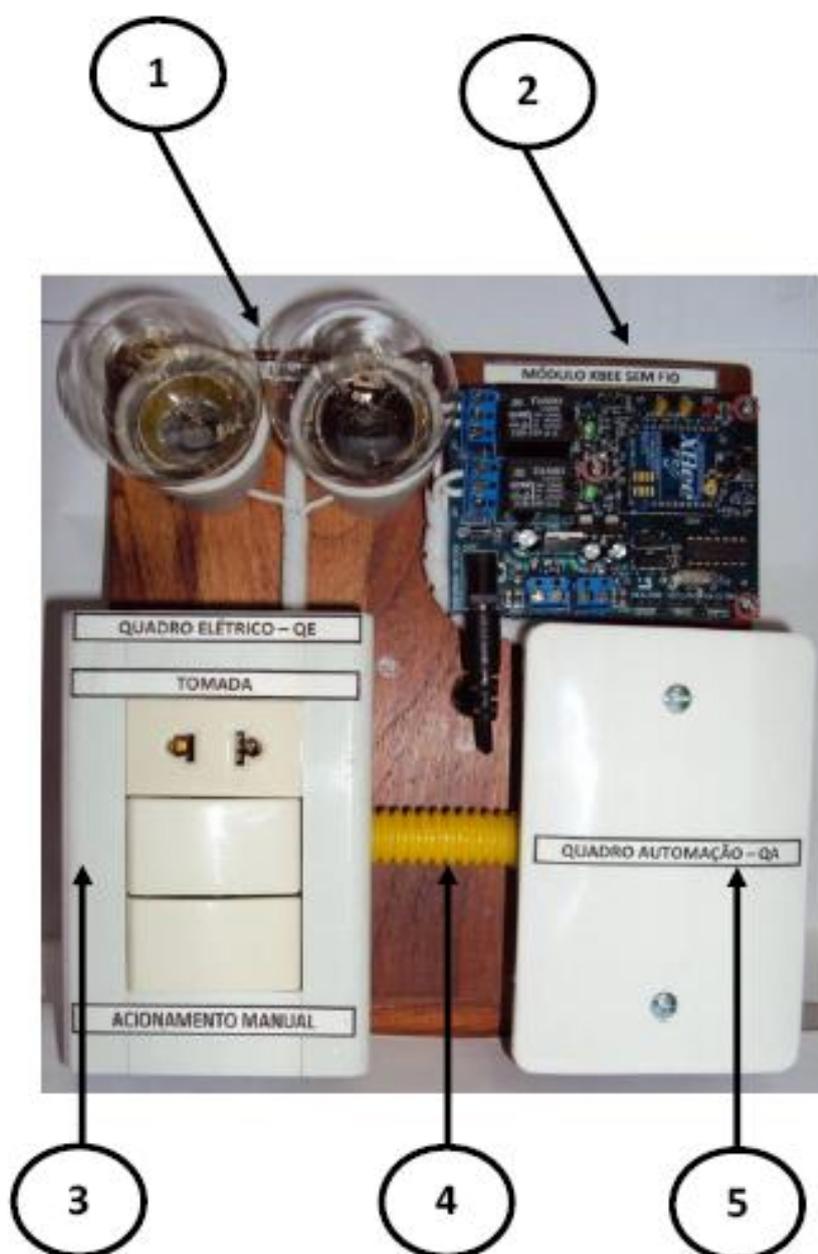
Depois dos módulos estarem gravados e configurados, o módulo configurado como *Coordinator* foi acoplado à placa adaptadora *USB* e o módulo configurado como *Router* acoplado à placa *RCOM-HOMEBEE*.

Enfim, os módulos configurados foram acoplados às placas remota e local. A placa adaptadora foi conectada à porta *USB* do computador local e foi energizada a fonte da placa remota *RCOM-HOMEBEE*.

7.2. Modelo Residencial

Para o entendimento da teoria aplicada, a Figura 36 disponibiliza uma ideia de Quadro Elétrico – QE (3) e Quadro Automação – QA (5), circuito de automação (2), interruptores (3) e lâmpadas (1). Entre os quadros de automação e elétrico temos uma interligação física para passagem dos fios da instalação (4).

Figura 36 – Automação Residencial



Fonte: Autoria própria, 2012.

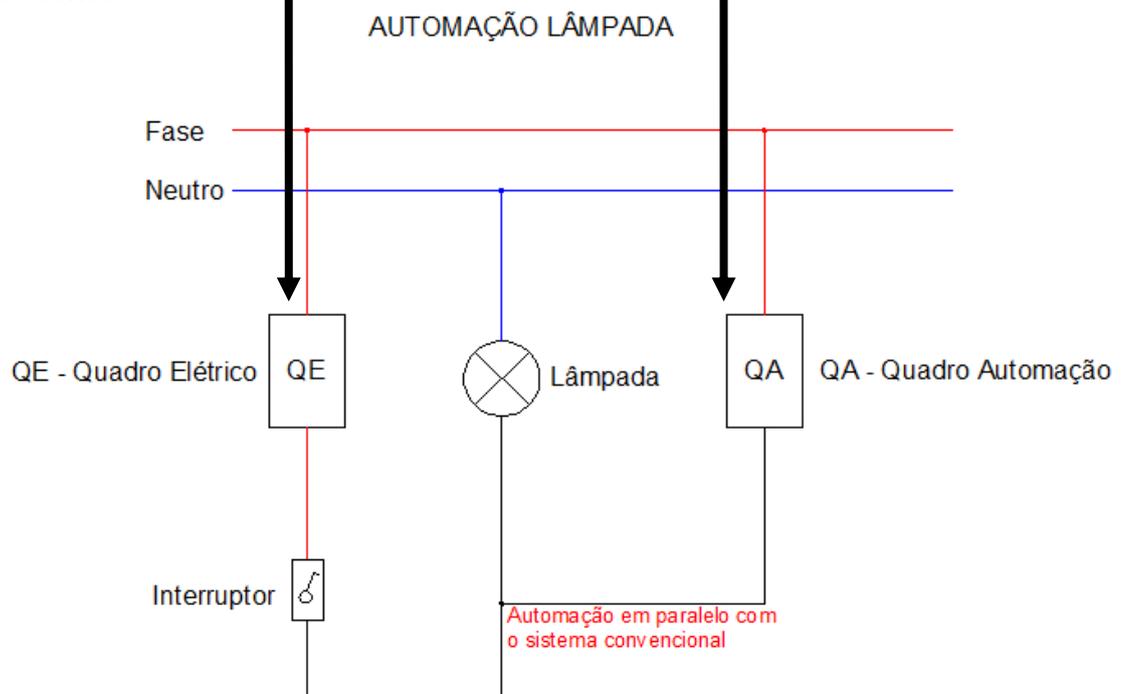
8. QUADRO DE AUTOMAÇÃO – QA E QUADRO ELÉTRICO – QE

No Quadro de Automação – QA, ficam todos os circuitos responsáveis pela automação da residência e também os cabos do Quadro Elétrico - QE. Os fios que chegam até o Quadro de Automação, responsáveis por ligar as lâmpadas e tomadas, são conhecidos como retorno e saem do Quadro Elétrico – QE. A Figura 37 ilustra as comparações entre o modelo teórico e o modelo prático.

Figura 37 – Modelo teórico e modelo prático



Modelo teórico



Fonte: Autoria própria, 2012.

9. SOFTWARE PARA ACIONAMENTO DA PLACA PROM-HOMEBEE

Para funcionar a automação é necessário um programa instalado em um computador da residência. A Figura 38 ilustra o programa para automação residencial.

Figura 38 – Programa automação residencial



Fonte: Autoria própria, 2012.

Observação: A placa adaptadora USB deve estar conectada na porta serial do computador. Em seguida, abrir o programa AUTOMAÇÃO RESINDECIAL no ícone apresentado na Figura 39.

Figura 39 – Ícone do programa para automação residencial.

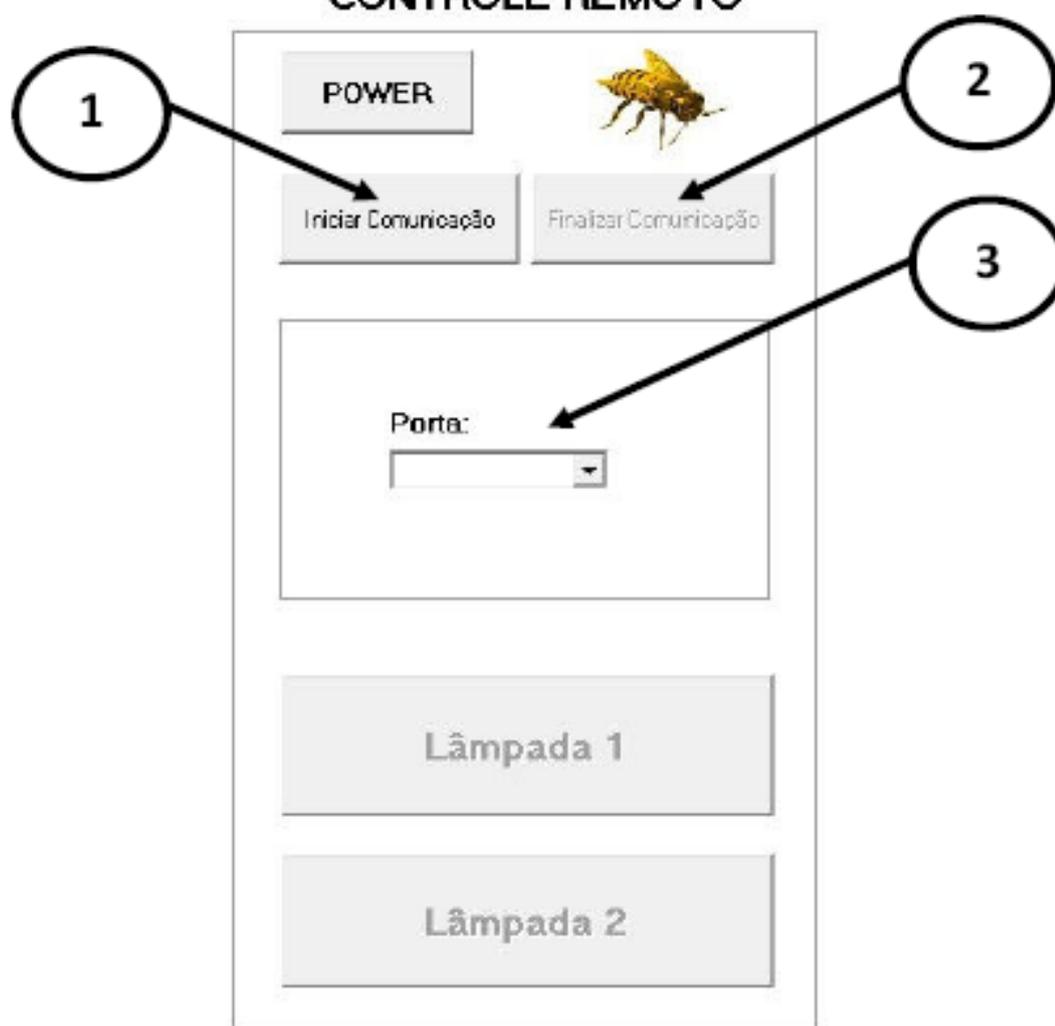


Fonte: Autoria própria, 2012.

9.1. Habilitando a porta serial

Ao executar o programa, a porta serial deverá ser habilitada para que o programa comunique-se com o adaptador USB XBee. A Figura 39, ilustra os botões para escolher a porta serial (3), iniciar comunicação (1) e finalizar a comunicação (2).

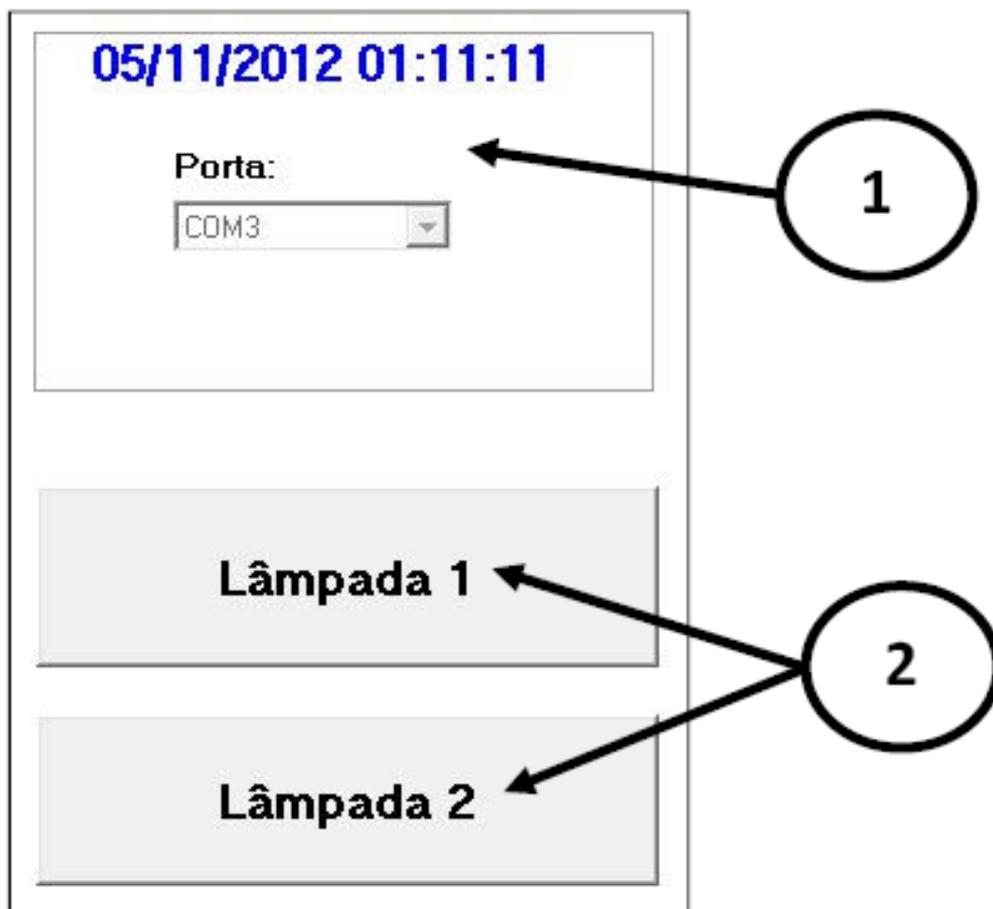
Figura 39 – Habilitando a porta serial



Fonte: Autoria própria, 2012.

Após habilitar a porta serial, veja a Figura 40, o programa estará pronto para ser utilizado e no *Display* será visualizada a data e hora (1), a porta serial em que a placa adaptadora está conectada (1) e os botões para ligar e desligar as lâmpadas (2).

Figura 40 – Portas Habilitadas e botões liberados para uso.

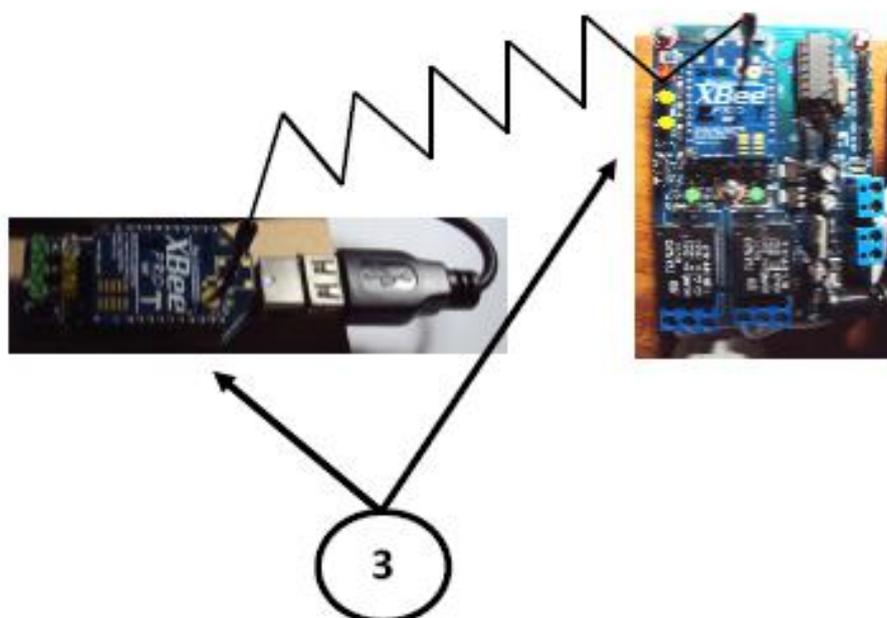
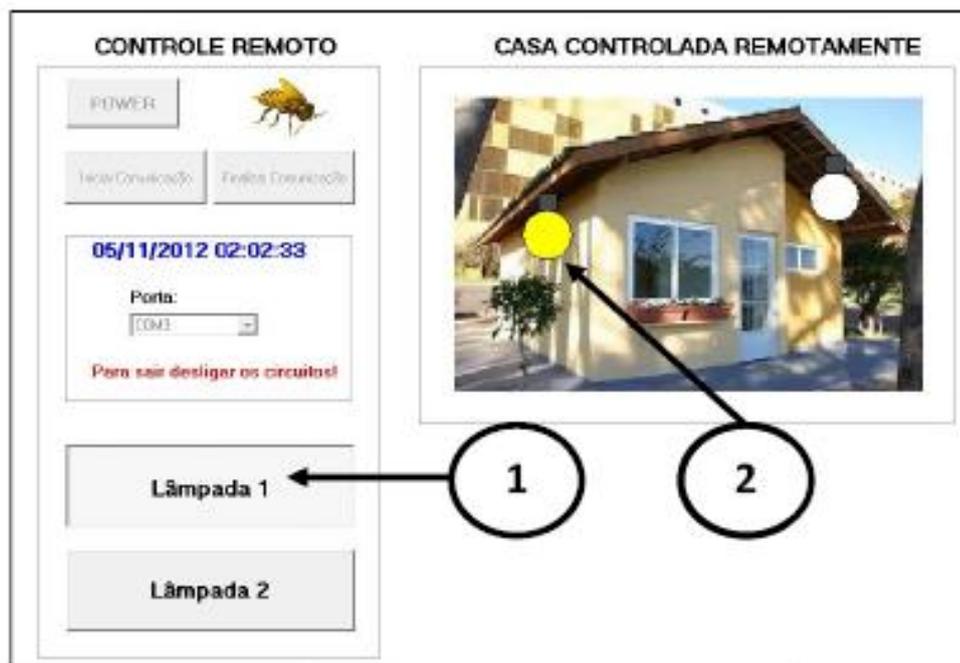


Fonte: autoria própria, 2012.

9.2. Ligando a Lâmpada 1 da residência

Ao clicar no botão da Lâmpada 1 (1), o módulo XBee da placa USB Adaptadora comunica-se com o módulo XBee da placa RCOM-HOMEBEE (3). A lâmpada no programa acende (2), conforme Figura 41.

Figura 41 – Ligando a lâmpada via programa.



Fonte: Autoria própria, 2012.

A Figura 42 ilustra a lâmpada (1) acendendo conforme o comando solicitado via programa. Na placa RCOM-HOMEBEE o Led (2) indica que o relé está ligado.

Figura 42 – Lâmpada acesa após o comando de ligar via programa.



Fonte: Autoria própria, 2012.

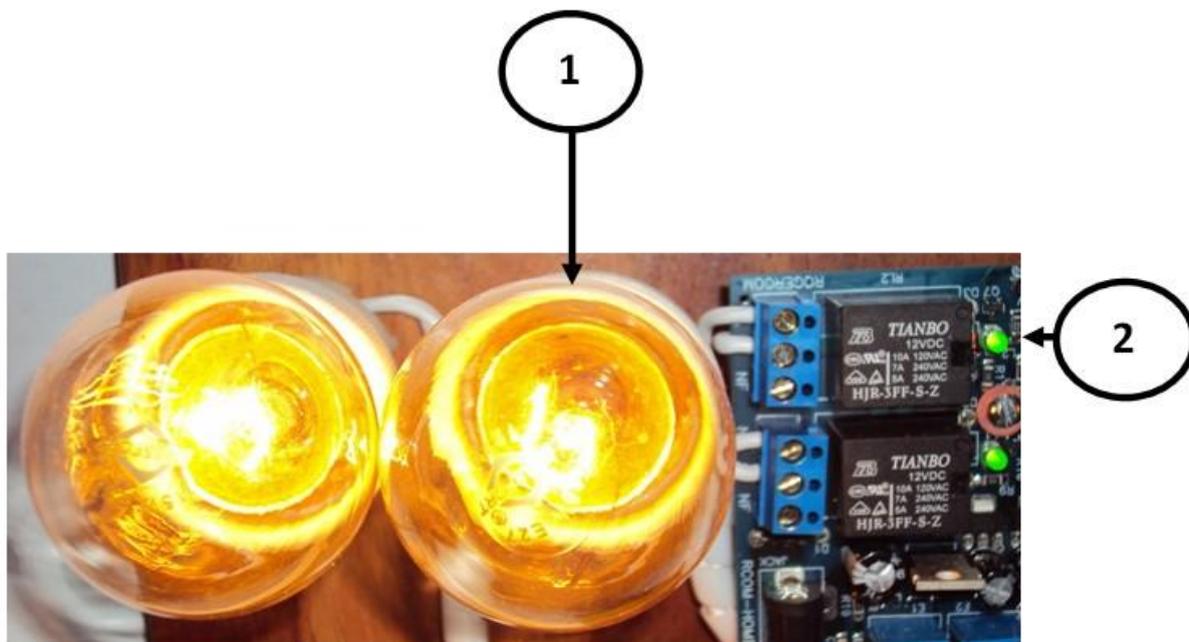
9.3. Ligando a lâmpada 2 da residência

Ao clicar no botão da Lâmpada 2 (1), o módulo XBee da placa USB Adaptadora comunica-se com o módulo XBee da placa RCOM-HOMEBEE (3). A lâmpada no programa acende (2), conforme Figura 43.



A Figura 44 ilustra a lâmpada (1) acendendo conforme o comando solicitado via programa. Na placa RCOM-HOMEBEE o *Led* (2) indica que o relé está ligado.

Figura 44– Lâmpada acesa após o comando via programa.



Fonte: Autoria própria, 2012.

Para apagar as lâmpadas, deve-se clicar novamente nos respectivos botões utilizados para acendê-las. Nesse processo as lâmpadas ficarão apagadas e podemos então finalizar a conexão. Caso o programa seja finalizado com as lâmpadas acesas, será necessário repetir os procedimentos do Capítulo 7.

9.4. Finalizando a conexão

Assim que as lâmpadas apagarem, clicar em finalizar comunicação (1) e por fim, fechar o programa (2), conforme Figura 45.

Figura 45– Finalizando a comunicação entre os módulos XBee.



Fonte: Autoria própria, 2012.

10. ACESSANDO REMOTAMENTE A PLACA RCOM-HOMEBEE

Para acessar essa placa remotamente de um *smartphone*, vamos utilizar um programa para conexão remota. Esse programa será instalado no computador e no aparelho celular. Após estabelecer a conexão, poderemos controlar as lâmpadas utilizando uma rede *wi-fi* dentro da casa ou até mesmo conectar-se pela banda 3G e acessar a placa fazendo o acendimento das lâmpadas.

Para essa conexão remota, vamos utilizar o programa TeamViewer 7.0. Esse programa cria automaticamente um *link* entre computador e *smartphone* sem a necessidade do responsável da residência precisar configurar os parâmetros da rede.

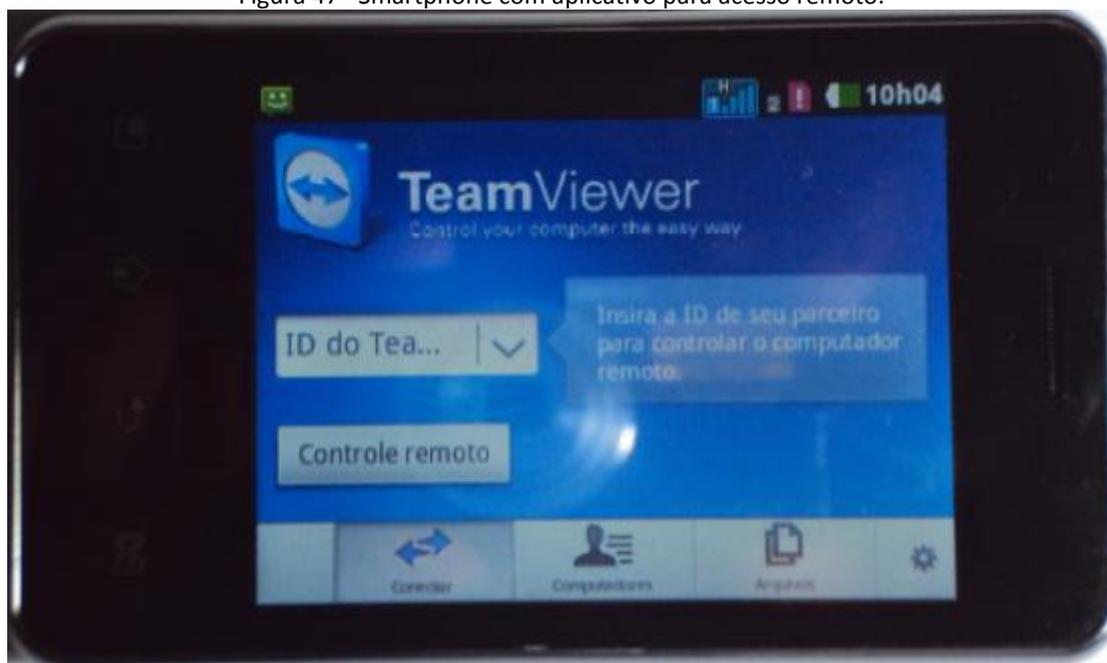
Figura 46– Programa para acesso remoto.



Fonte: TEAMVIEWER 7, 2012

No *smartphone* também foi instalado o software TeamViewer para fazer a conexão com o computador da residência. A Figura 47 ilustra o programa no *smartphone*.

Figura 47– Smartphone com aplicativo para acesso remoto.



Fonte: Autoria própria, 2012.

Uma vez instalados os programas, no *smartphone* deverá ser inserido o *ID* que identifica o computador e a senha gerada pelo programa naquele momento. Lembrando que, se a senha for alterada no computador, a mesma deverá ser alterada também no *smartphone*.

Assim que a senha for inserida é só clicar no botão OK e teremos a tela do computador da residência, sendo visualizada no *Smartphone* e assim teremos acesso ao programa AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL para ligar e desligar as lâmpadas da residência. A Figura 48 ilustra a tela do computador sendo visualizada no *smartphone*.

Figura 48– Programa de automação no smartphone.



Fonte: Autoria própria, 2012.

Após realizar o acendimento ou o desligamento da lâmpada, podemos fechar o programa para que não haja consumo excessivo de bateria do *smartphone*.

O uso do *software* TeamViewer é apenas um exemplo de disponibilização remota do *software*, mas que expõe todo o computador na *Internet*. Uma outra solução seria desenvolver o *software* de controle em ambiente *WEB*.

11. SIMULANDO FALHA NA UNIDADE XBEE

Por se tratar de uma automação, podemos ficar sem o processo automático caso alguma pane nos módulos XBee venham a ocorrer. Como opção, o usuário desse sistema pode ter um *backup* de módulos em casa para a substituição imediata após queima ou utilizar os interruptores.

Lembrando que os interruptores devem ficar nos locais convencionais, para que em caso de falha do sistema ou até mesmo problemas com o *smartphone*, o usuário não seja prejudicado e consiga controlar as lâmpadas com conforto e segurança.

Os interruptores estão ligados em paralelo ao circuito de automação, possibilitando o comando independentemente da automação. Alguns donos de residência podem questionar quanto ao custo de se manter a instalação elétrica junto com a automação. Essa é uma decisão que só caberá ao proprietário e uma instalação com redundância, ou seja, um plano B no caso de panes é sempre bem vindos, mas traz como consequência um custo adicional de instalação.

Na placa RCOM-HOMEBEE, foi simulada a falha no módulo XBee desligando-se a alimentação 12 V da placa (1) (Figura 49) e, após a falha, conseguimos acender as lâmpadas normalmente.

Figura 49 – Simulando falha na placa RCOM-HOMEBEE.



1

Fonte: Autoria própria, 2012.

Na Figura 50 temos as lâmpadas acesas através do acionamento manual (1), o que traz conforto e segurança para o usuário final.

Figura 50 – Lâmpadas acesas independente da automação.



Fonte: Autoria própria, 2012.

12. CÓDIGO FONTE PARA LIGAR E DESLIGAR OS RELÉS

No código fonte Delphi (ROGERCOM, 2012), temos os comandos de liga e desliga dos relés e endereçamento da placa remota. Na Figura 51, a variável RL[0]:= \$7B indica o endereço da placa RCOM-HOMEBEE e o comando GLBReles:= LigaBit (GLBReles,0) liga o bit 0 associado ao relé número 1.

Figura 51 – Código fonte para ligar um relé na placa RCOM-HOMEBEE.

```

procedure TForm1.SpeedButtonRELE1Click(Sender: TObject);
  Var
  RL: array [0..2] of BYTE;
begin
  if SpeedButtonRELE1.Down = true then
  begin
    RL[0] := $7B; //ID da RCOM-HOMEBEE.
    GLBReles := LigaBit(GLBReles,0); //Liga o bit 0 - Associado ao Relê 1
    RL[1] := GLBReles;
    GLB_Conectado := false;
    WriteFile(hCom, RL, 2, BytesEscritos, nil);
    GLB_Conectado := true;
    Sleep(1);
  end;
end;

```

Fonte: ROGERCOM, 2012

Na Figura 52, a variável RL[0]:= \$7B indica o endereço da placa RCOM-HOMEBEE e o comando GLBReles:= DesligaBit (GLBReles,0) desliga o bit 0 associado ao relé 1.

Figura 52 - Código fonte para desligar um relé na placa RCOM-HOMEBEE.

```

else begin
  RL[0] := $7B; //ID da RCOM-HOMEBEE.
  GLBReles := DesligaBit(GLBReles,0); //Desliga o bit 0 - Associado ao Relê 1
  RL[1] := GLBReles;
  GLB_Conectado := false;
  WriteFile(hCom, RL, 2, BytesEscritos, nil);
  GLB_Conectado := true;
  Sleep(1);
end;

```

Fonte: ROGERCOM, 2012

Para controlar o Relé número 2, o comando GLBReles recebe valor 1 (GLBReles,1). Valor 0 corresponde ao Relé 1 e valor 1 corresponde ao Relé 2.

13. CONSIDERAÇÕES

Através do estudo da rede ZigBee, podemos concluir que o padrão ZigBee pode ser aplicado em automação residencial com grande eficiência e segurança. O *hardware* do padrão ZigBee possui tamanho reduzido para facilitar as montagens, baixo consumo de energia podendo ser alimentado por baterias com alta durabilidade. O padrão pode até ser empregado em empresas para controle de processos com facilidade de leitura de contatos e sensores sendo digitais e analógicos.

No modelo prático para entendimento da automação residencial, módulos XBee fabricados pela Digi foram empregados. Esse *hardware* é a unificação do padrão IEEE 802.15.4 e um microcontrolador específico. Esses módulos possuem uma família diversificada, podendo operar com distâncias de 10 metros à 40 Km. Os módulos XBee foram instalados em dois módulos, Adaptador USB e RCOM-HOMEBEE.

A placa adaptadora USB, responsável pela comunicação entre o computador e módulo XBee. A placa RCOM-HOMEBEE faz o acionamento de dois relés para acionar as lâmpadas de uma residência, simulando a prática da automação residencial.

O conhecimento do padrão ZigBee foi adquirido durante a elaboração desse trabalho e todos os resultados foram comprovados e satisfatórios através do modelo prático.

Como perspectiva futura, os módulos ZigBee poderão trabalhar com uma interface eletrônica que possua uma interface *Ethernet*, disponibilizar o programa de automação em Delphi na Internet e também no *software* de controle a possibilidade de agendar as tarefas de acordo com as necessidades do usuário.

14. REFERÊNCIAS

ATIVA. **Soluções em automação**. Disponível em:

<http://www.ativasolucoes.com.br/conectividade-via-ethernet-marthe-a820.html>

Acesso em: 12 set. 2012.

MURATORI, J.R.; DAL BÓ, P.H. **Automação Residencial**. Disponível em:

<http://www.osetoreletrico.com.br/web/a-revista/fasciculos.html#catid70>

Acesso em: 12 set. 2012.

RAMOS, J. S. B. **Instrumentação eletrônica sem fio**. 1. Ed.

São Paulo: Érica, 2012. 238p.

ROGERCOM. **Pesquisa e desenvolvimento**. Disponível em:

<http://www.rogercom.com/>

Acesso em: 25 set. 2012.

RUFINO, N. M. O. **Segurança em redes sem fio**. 3. Ed.

São Paulo: Novatec, 2011. 237p.

TIGRE. **Quadros sistema VDI**. Disponível em:

http://www.tigre.com.br/pt/produtos_linha.php?rcr_id=5&cpr_id=12&cpr_id_pai=4&lh_id=293

Acesso em: 20 out. 2012.

TOP LAN TEC. **Rack para TI**. Disponível em:

<http://www.toplantec.com.br/loja/busca.asp>

Acesso em: 15 set. 2012.