



CENTRO PAULA SOUZA
COMPETÊNCIA EM EDUCAÇÃO PÚBLICA PROFISSIONAL

**Faculdade de Tecnologia de Americana
Curso Superior de Análise de Sistemas e Tecnologia da Informação**

BRUNO PEREIRA MARTINS

AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL WIRELESS COM O PADRÃO IEEE® 802.15.4

**Americana, SP
2014**



CENTRO PAULA SOUZA
COMPETÊNCIA EM EDUCAÇÃO PÚBLICA PROFISSIONAL

**Faculdade de Tecnologia de Americana
Curso Superior de Análise de Sistemas e Tecnologia da Informação**

BRUNO PEREIRA MARTINS

AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL WIRELESS COM O PADRÃO IEEE® 802.15.4

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Tecnologia de Americana como parte das exigências requeridas para conclusão do Curso de Análise de Sistemas e Tecnologia da Informação.

Orientador: Maria Cristina Aranda

**Americana, SP
2014**

FICHA CATALOGRÁFICA – Biblioteca Fatec Americana - CEETEPS
Dados Internacionais de Catalogação-na-fonte

M341a	<p>Martins, Bruno Pereira</p> <p>Automação residencial wireless com o padrão IEEE 802.15.4. / Bruno Pereira Martins. – Americana: 2014.</p> <p>46f.</p> <p>Monografia (Graduação em Tecnologia em Segurança da Informação). - - Faculdade de Tecnologia de Americana – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza.</p> <p>Orientador: Prof. Maria Cristina Aranda</p> <p>1.Redes de computadores 2. Automação residencial I. Aranda, Maria Cristina II. Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza – Faculdade de Tecnologia de Americana.</p> <p>CDU: 681.519</p>
-------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo apresentar uma pesquisa e desenvolvimento de um novo sistema de automação residencial wireless, utilizando uma rede sem fio baseada no padrão IEEE® 802.15.4 juntamente com a plataforma de desenvolvimento Arduino, demonstrando as características de funcionamento e os benefícios que poderão ser viabilizados pelo projeto. Serão apresentados conceitos sobre redes wireless, protocolos de comunicação e segurança da informação, os quais serão cruciais para a compreensão do funcionamento básico do sistema, também serão abordados as configurações e equipamentos que são necessários para que o sistema funcione com estabilidade, confiabilidade e segurança. Com a crescente demanda por conforto e segurança nas residências, foi identificada a necessidade de desenvolver e analisar a viabilidade de um projeto de automação residencial para suprir essas necessidades. O controle e monitoramento dos dispositivos poderão ser realizados através da internet ou Wi-Fi utilizando como interface um telefone inteligente para que possibilite mobilidade aos usuários. Um estudo de caso será iniciado para verificar a estabilidade, a confiabilidade, a segurança e possíveis melhorias que poderão ser adicionadas ao sistema.

Palavras Chave: Automação Residencial, IEEE® 802.15.4, XBee, ZigBee, Arduino.

ABSTRACT

This paper aims to present a research and development of a new wireless home automation system using a wireless network based on IEEE® 802.15.4 standard with the Arduino development platform demonstrating the operating characteristics and the benefits that may be made possible by the project. Wireless networks concepts, communication protocols and information security, which will be crucial for understanding the basic operation of the system also will be discussed the settings and equipment that are required for the system to work with stability, reliability and security. With the growing demand for comfort and safety in homes, was identified the need to develop and analyze the feasibility of a home automation project to address these needs. The control and monitoring devices may be made via the internet or Wi-Fi using a smartphone like interface that will allow mobility to users. A case study will be initiated to verify the stability, reliability, security and possible improvements that can be added to the system.

Keywords: Home Automation, IEEE® 802.15.4, XBee, ZigBee, Arduino.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	13
1 Automação	15
2 Rede sem fio	19
2.1 Módulos XBee®/XBee-PRO®.....	21
2.2 Topologia e modos de operação.....	23
2.3 Endereçamento.....	26
3 Arduino	28
3.1 Protocolo de comunicação.....	29
4 Segurança	30
5 Metodologia	32
5.1 Configuração do roteador sem fio.....	32
5.2 Configuração da central.....	34
5.3 Luminária	35
5.4 Módulo relé	36
5.5 Fonte de alimentação 5 Volts	36
5.6 Placa XBee Explorer Regulated.....	37
5.7 Placa de ensaio	37
5.8 Módulos XBee.....	38
5.9 Aplicativo Android	39
6 Resultados	41
7 Conclusão	43
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Divisão dos grupos de redes sem fio.	19
Figura 2. Padrão 802.15.4 no modelo OSI.	21
Figura 3. Módulo XBee 802.15.4.....	22
Figura 4. Módulo XBee 802.15.4PRO.....	22
Figura 5. Tipos de antenas dos módulos XBee.	22
Figura 6. Topologia Ponto-a-Ponto.	23
Figura 7. Topologia Ponto-a-Multiponto.	24
Figura 8. Estrutura do pacote API.	25
Figura 9. Arduino Uno R3.....	288
Figura 10. Roteador DIR-600.	333
Figura 11. IBoard Pro.	344
Figura 12. IDE Arduino 1.0.5.	355
Figura 13. Módulo relé.	366
Figura 15. XBee Explorer Regulated.....	37
Figura 16. Placa de ensaio.....	38
Figura 17. XCTU.	39
Figura 18. Aplicativo Android.....	40
Figura 19. Diagrama de funcionamento..	41
Figura 20. Central conectada ao roteador.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Tempo de força bruta à taxa de 800 chaves testadas por segundo.....31

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

API	=	<i>Application Programming Interface</i>
ID	=	Identificador
IDE	=	Interface de desenvolvimento
HTML	=	HyperText Markup Language
OSI	=	Open System Interconnection
PAN	=	<i>Personal Area Network</i>
RF	=	Rádio Frequência
SSID	=	<i>Service Set Identifier</i>
USB	=	<i>Universal Serial Bus</i>
WPA	=	<i>Wi-Fi Protected Access</i>
WPA2	=	<i>Wi-Fi Protected Access 2</i>

INTRODUÇÃO

A evolução tecnológica sempre fez parte da vida do homem, desde a pré-história até, e principalmente, os dias atuais. Com o rápido avanço da tecnologia surgem novas e diversas possibilidades que podem ser utilizadas para melhorar e simplificar o modo de vida dos homens. Os primeiros instrumentos tecnológicos dos antepassados humanos foram as pedras, usadas principalmente para quebrar alimentos, depois surgiu o fogo, usado como instrumento contra o frio e grandes animais predadores, e que pode ser considerado o resultado de uma tecnologia inventada pelo homem, tais como o telefone, a televisão, o computador, a internet e muitas outras descobertas que facilitam e melhoram a qualidade de vida das pessoas (SOUSA, 2014).

Com a utilização das tecnologias atuais as possibilidades de aplicações da automação e das redes sem fio são bastante amplas, e uma dessas aplicações, a automação residencial utilizando a tecnologia sem fio, será o assunto deste trabalho, que tem como foco pesquisar a utilização de um dos padrões *wireless* para redes de baixa velocidade, o padrão IEEE® 802.15.4, na automação de residências.

No contexto deste trabalho, será apresentada uma das tecnologias sem fio existentes, que assim como a internet, surgiu há pouco tempo a partir da necessidade da troca de informações de uma forma mais simples e segura. Também será abordado o conceito de automação, que surge efetivamente com a criação das linhas de montagens automobilísticas com Henry Ford, na década de 20 e que atualmente está sendo empregada em praticamente todas as atividades do homem, sejam nas indústrias, em prédios ou residências. Serão discutidos conceitos sobre microcontroladores, utilizados para unir a automação com o padrão IEEE® 802.15.4 e conceitos sobre segurança da informação.

O principal objetivo desta pesquisa foi desenvolver e implementar um pequeno sistema de automação residencial, para que fosse possível realizar testes de segurança, estabilidade e confiabilidade. Para a elaboração do sistema foram utilizados conceitos e conhecimentos de rede, segurança da informação, protocolos de comunicação, elétrica e eletrônica.

Nesse contexto, este trabalho apresenta uma solução de configuração e organização para garantir a segurança da comunicação dos dados em uma rede de dispositivos sem fio usando o protocolo IEEE® 802.15.4 em um projeto de automação residencial.

O trabalho está estruturado em capítulos para facilitar a compreensão do leitor sobre os assuntos abordados. O primeiro capítulo trata de uma breve introdução sobre o que é automação, com ênfase em automação residencial, que é o foco desta pesquisa.

O segundo capítulo explica o que são redes de computadores, com foco em redes sem fio, que será o tipo de rede utilizada, o terceiro trata sobre a plataforma de desenvolvimento Arduino, o quarto capítulo explica o conceito sobre segurança da informação em redes sem fio, no quinto capítulo será apresentada a metodologia utilizada, tal como, os testes realizados, no sexto capítulo serão exibidos os resultados obtidos nos testes práticos do sistema e no sétimo e capítulo será apresentada uma conclusão baseada em todos os capítulos anteriores.

1 Automação

Automação é um sistema que possui processos automáticos que comandam e controlam os mecanismos para seu próprio funcionamento. Segundo Moraes e Castrucci (2007):

Automação é qualquer sistema, apoiado em computadores, que substitui o trabalho humano, em favor da segurança das pessoas, da qualidade dos produtos, rapidez da produção ou da redução de custos, assim aperfeiçoando os complexos objetivos das indústrias, dos serviços ou bem estar.

A importância da automação pode ser percebida quando se pensa em segurança, conforto, rapidez e facilidade para executar as tarefas do dia a dia, sejam no trabalho (registradores de ponto automático, robôs industriais, no recebimento de matéria-prima através de um sistema automático de transporte de carga, etc.), nas residências (lavadoras de roupas e de louças automáticas, micro-ondas, nos controles remotos de portões de garagem, etc.), na rua (caixas eletrônicos de bancos, nos controladores de velocidades de automóveis, nos cartões de crédito, etc.) e no lazer (máquinas automáticas de refrigerantes, esteiras elétricas, videogames, parques de diversão, etc.). Pode-se dizer que sem a automação a vida das pessoas seria muito mais difícil e menos confortável do que é hoje (MARTINS , 2012).

Na Automação Industrial ainda para o autor, existem três grandes áreas da engenharia:

- **A mecânica:** através das máquinas que possibilitam transformar matérias primas em produtos “acabados”.
- **A engenharia elétrica:** que disponibiliza os motores, seus acionamentos e a eletrônica indispensável para o controle e automação das malhas de produção;
- **A informática:** que através das arquiteturas de bancos de dados e redes de comunicação permitem disponibilizar as informações a todos os níveis de uma empresa.

Assim, a automação faz parte das atividades humanas, esta presente nos processos das indústrias, com objetivo de facilitar os processos de produção, viabilizando a produção de bens com custo reduzido, maior quantidade, menor tempo e maior qualidade (MARTINS, 2012).

De acordo com Vecchi e Ogata (1999), domótica ou automação residencial é uma tecnologia que permite a gestão de todos os recursos habitacionais. O termo domótica resulta da junção da palavra *domus* (casa) com robótica (controle automatizado de algo). É com essa integração que faz com que a vida das pessoas seja simplificada, unindo segurança, lazer, comunicação e conforto.

A domótica ainda é pouco conhecida, mas vem crescendo exponencialmente, possibilitada pela facilidade de acesso das pessoas que se interessam por tecnologia e que desejam unir o conforto, o lazer, a segurança e também a utilização racional dos meios de consumo em suas residências. Outro aspecto que viabiliza o crescimento dessa área de tecnologia é o fato de que o custos para a implementação de um sistema de automação em residências ou prédios está cada vez menor (AURESIDE, 2014).

Conforme Aureside (2014) pode-se dizer que praticamente qualquer dispositivo, seja eletrônico ou não, pode ser automatizado. Entretanto, os sistemas mais utilizados em automação residencial são:

- **Sistemas de segurança:** alarmes, monitoramento, circuito fechado de TV e controle de Acesso.
- **Entretenimento:** *home theater*, áudio e vídeo distribuídos e TV por assinatura.
- **Controle de iluminação.**
- **Ar condicionado e aquecimento.**
- **Portas e cortinas automáticas.**
- **Utilidades:** bombas e limpeza de piscinas e irrigação automática.
- **Aspiração central a vácuo.**

A Aureside (2014) afirma que os sistemas de automação residencial podem ser classificados em três níveis, que são: sistemas autônomos, integração de sistemas e a residência inteligente.

Para essa associação de automação residencial (a Aureside), nos sistemas autônomos pode-se controlar um dispositivo específico ou um conjunto dos mesmos de acordo com um ajuste pré-definido. No entanto, nesta estrutura, cada dispositivo ou conjunto é tratado independentemente, sem que dois ou mais dispositivos tenham relação um com o outro.

A integração de sistemas é projetada para ter vários conjuntos de sistemas autônomos.

Na residência inteligente o sistema pode ser configurado para atender a qualquer necessidade do proprietário. Nos sistemas de automação residenciais inteligentes fazem uso de dispositivos com comunicação de mão dupla, ou seja, fornecem retorno de estado dos equipamentos controlados.

As pessoas estão conhecendo cada vez mais os benefícios da automação residencial, bem como utilizando-os a seu favor. Alguns dos benefícios que podem imediatamente ser apropriados pelo proprietário ou moradores da residência ou prédio, de acordo com a Aureside são os seguintes:

- **Economia de energia:** a energia é usada apenas onde e quando é necessária. O controle remoto e tempo apropriado do aquecimento, do ar condicionado, iluminação, e dispositivos diversos elimina os gastos desnecessários de energia.
- **Conveniência:** as luzes podem ser ligadas ou apagadas por toda a residência a partir de um único local. A temperatura dentro da casa de veraneio pode ser ajustada antes das pessoas chegarem, através de um controle remoto no carro.
- **Segurança:** uma câmera pequena e barata discretamente colocada e apontada para a porta pode ser conectada ao sistema de automação residencial. Este arranjo permite que visitantes sejam vistos em qualquer aparelho televisor dentro da residência ou de qualquer lugar do mundo através de um computador conectado a internet.

- **Economia de Tempo e Esforço:** o controle todas as luzes (dentro e fora) a partir da cama a noite. Sistemas de irrigação podem funcionar apenas em horários determinados ou na falta prolongada de chuvas.
- **Conforto:** ajuste das piscinas, banheiras, aquecedores de água centrais, filtros de ar, umidificadores, aquecedores e condicionadores de ar, cobertores elétricos, e aquecedores de banheiro, todos com uma interface inteligente.

Sistemas de automação residenciais estão deixando de ser apenas uma questão de conveniência, e estão se tornando ferramentas necessárias, as quais dão ao indivíduo independência e mobilidade.

Os sistemas de automação também podem ser classificados pelos meios de transmissão de dados que são utilizados para implementação dos mesmos, que são os meios guiados ou não guiados, ou seja, cabeados ou sem fios *wireless*, respectivamente (AURESIDE, 2014).

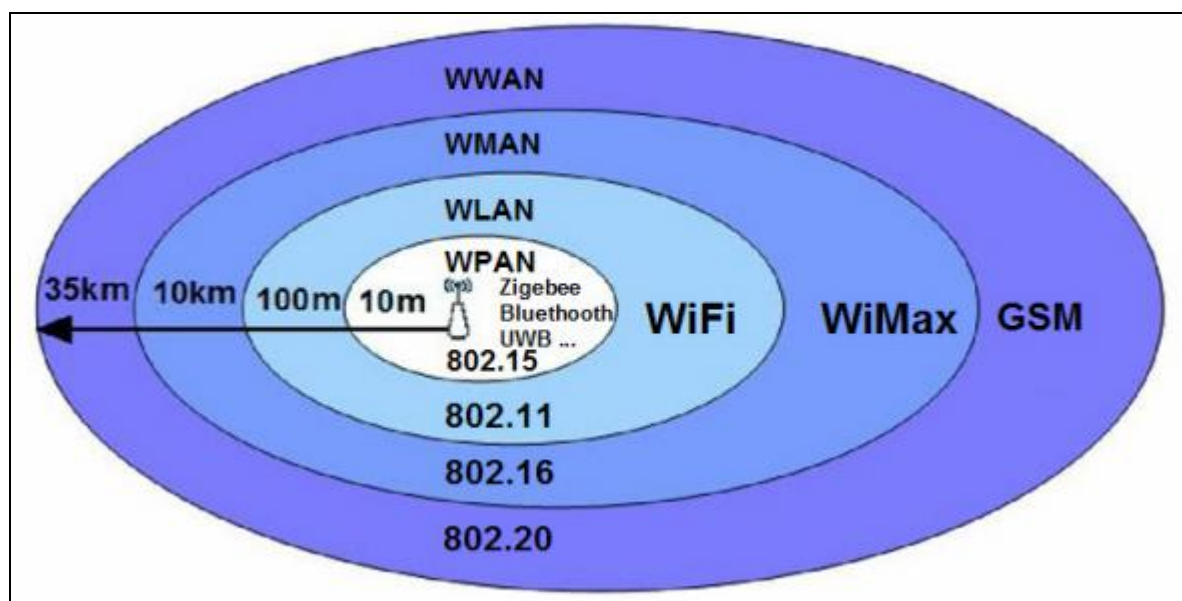
Para os sistemas *wireless*, foi criado um padrão de rede especificamente para atender as necessidades da automação residencial e industrial, o IEEE® 802.15.4, este que será explicado no próximo capítulo.

2 Rede sem fio

Rede é um conjunto de dois ou mais dispositivos (também chamados de nós) ligados por cabos ou por sistemas sem fios, que usam um conjunto de regras (protocolo) para trocar informações e compartilhar dados entre si (TANEMBAUM, 2003).

A rede sem fio é um tipo de rede que faz uso de radiofrequência para conectar os nós e é classificada conforme a área de abrangência que são: área pessoal (WPAN), área local (WLAN), áreas metropolitanas (WMAN) e área mundial (WWAN).

Figura 1. Divisão dos grupos de redes sem fio.



Fonte: Valente (2008).

Os critérios para a classificação desses grupos são: aplicação, largura da banda e alcance do sinal (VALENTE, 2008).

O IEEE 802.16 ou WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access/Interoperabilidade Mundial para Acesso de Micro-Ondas*) especifica uma interface sem fio para redes de áreas metropolitanas. O padrão GSM (*Global System for Mobile Communications*, ou Sistema Global para Comunicações Móveis) pode

ser citado como exemplo de rede de área mundial e é largamente utilizado em telefones celulares.

Dentre os padrões de rede local e pessoal de comunicação sem fio está o IEEE® 802.11, também conhecido como Wi-Fi (Wireless Fidelity), que segundo Guimarães (2009), é o padrão de rede sem fio local mais utilizado, e os padrões de rede pessoal, como por exemplo, o Zigbee, o Bluetooth e o IEEE® 802.15.4, este que foi homologado em 2003.

Seu principal objetivo é permitir a comunicação entre dois dispositivos, com baixa taxa de transferência e baixíssimo consumo de energia. As aplicações potenciais são sensores, brinquedos interativos, crachás inteligentes, controles remotos e automação residencial.

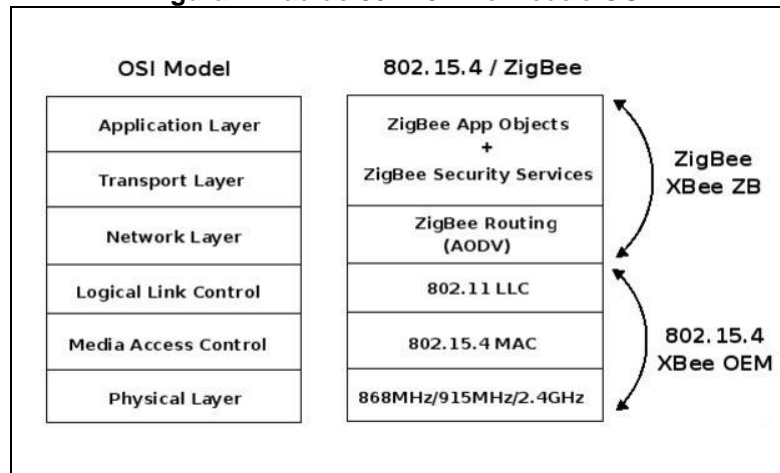
Esse padrão foi criado pelo Instituto de Engenharia Elétrica e Eletrônica (IEEE®), entidade em que a principal tarefa é estabelecer normas para que o desenvolvimento tecnológico possa contar com uma plataforma de regras definidas.

O padrão IEEE® 802.15.4 foi definido em duas camadas, a física (*PHY*) e a de enlace, que é a camada de Controle de Acesso ao Meio (*MAC*) do modelo OSI (Open System Interconnection), como ilustrado na Figura 2 (FALUDI, 2010).

As funções da camada física são: ativação e desativação da transmissão, detecção de energia, indicação da qualidade da comunicação, seleção do canal e transmissão/recepção de pacotes através do meio físico (FALUDI, 2010).

A camada MAC controla o Acesso aos canais de radiofrequência, utilizando o protocolo de anti colisão de pacotes de dados CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Acces - Collision Avoidance) e especifica os tipos de dispositivos permitidos na rede, garantindo a segurança de operação (IEEE®, 2003).

Figura 2. Padrão 802.15.4 no modelo OSI.



Fonte: Gascón (2008).

Nos dispositivos de redes de sensores sem fio, este protocolo é utilizado com os módulos XBee da DIGI International.

2.1 Módulos XBee®/XBee-PRO®

Os módulos XBee®/XBee-PRO® 802.15.4 são pequenos dispositivos que podem enviar e receber dados por meio de radiofrequência, possuem entradas e saídas que podem ser controladas através de comandos, esses designados pelo fabricante (Digi International) por comandos AT (MANUAL XBEE 802.15.4, 2014).

Os módulos podem ser encontrados em duas nomenclaturas diferentes, XBee® (Figura 3) e XBee-PRO® (Figura 4) e com três tipos de antenas diferentes, apresentadas na figura 5. A única diferença está na potência de transmissão, que no XBee® é de 1mW e no XBee-PRO® 63mW (MANUAL XBEE 802.15.4, 2014).

Figura 3. Módulo XBee 802.15.4.

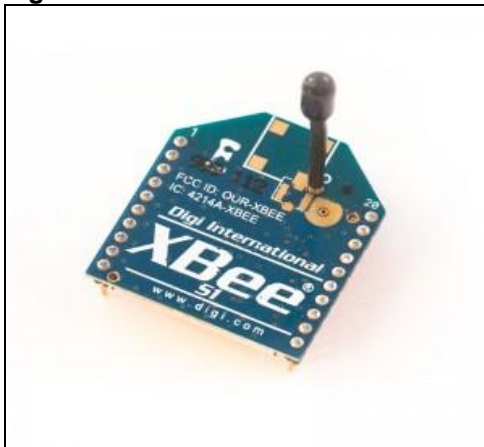
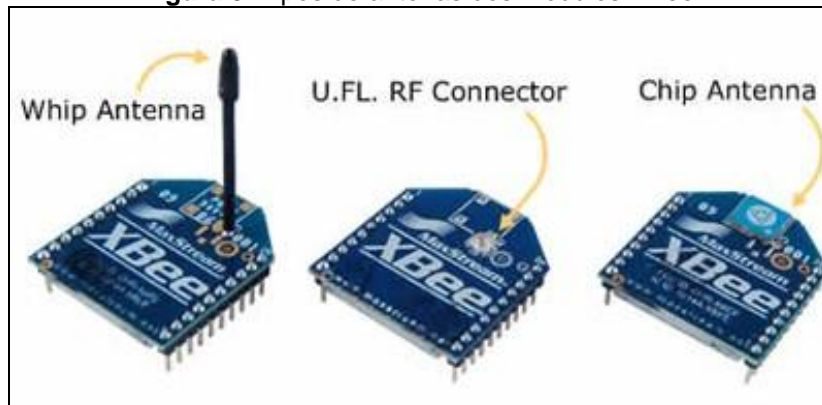


Figura 4. Módulo XBee 802.15.4PRO.



Fonte: Disponível em: <<https://www.sparkfun.com/products/8742>>. Acessado em: 25 set. 2014.

Figura 5. Tipos de antenas dos módulos XBee.



Fonte: Disponível em: <<http://www.rogercom.com/ZigBee/ZigBee.htm>>. Acessado em: 28 out. 2014

Segundo Gascón (2008) as frequências definidas na norma IEEE® 802.15.4, estão distribuídas entre 27 canais diferentes divididos em três faixas principais:

- 868,0 - 868.6MHz -> canal 1 (Europa).
- 902,0-928.0MHz -> 10 canais (EUA).
- 2,40-2.48GHz -> 16 canais (Mundial).

Existem três transceptores XBee diferentes que podem ser usados nas redes de sensores sem fio para fornecer comunicação nestas frequências:

- 868MHz -> 868MHz OEM XBee®
- 900MHz -> 900MHz OEM XBee®

- 2.40GHz - ZB> XBee®/XBee-PRO® 802.15.4 OEM

Taxas de transferência de dados:

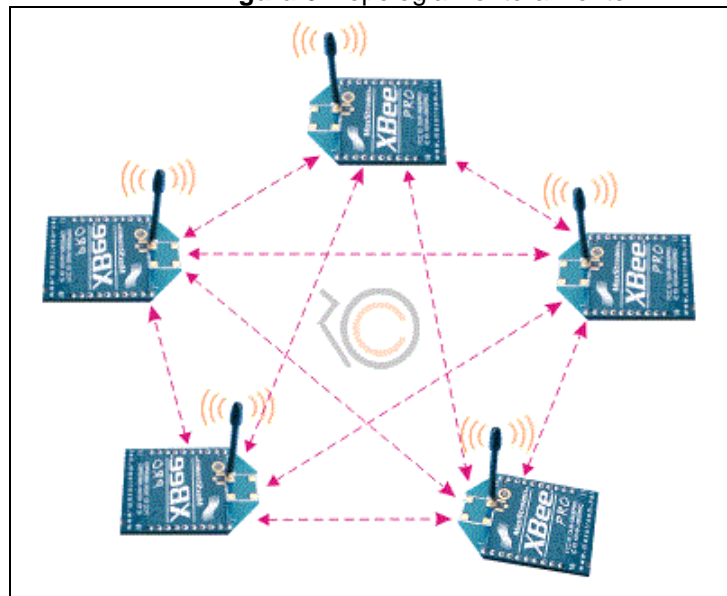
- 868,0 - 868.6MHz -> 20/100/250 Kb / s
- 902,0-928.0MHz -> 40/250 Kb / s
- 2,40-2.48GHz -> 250 Kb / s

2.2 Topologia e modos de operação

As topologias possíveis em que os módulos XBee®/XBee-PRO® podem operar são:

- Ponto-a-Ponto: nessa configuração não existe um módulo mestre, e todos os módulos podem comunicar-se entre si. Normalmente é utilizada para trocar informações apenas entre dois módulos, como mostrado na Figura 6.

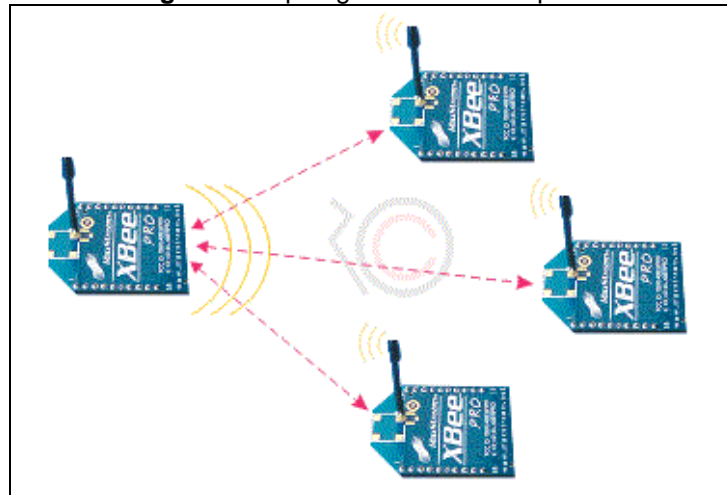
Figura 6. Topologia Ponto-a-Ponto.



Fonte: Disponível em: <<http://www.rogercom.com/ZigBee/ZigBeePag03.htm>>. Acessado em: 28 out. 2014.

- Ponto-a-Multiponto: nessa topologia um módulo deve ser configurado como coordenador da rede, e todos outros módulos, que são chamados de dispositivos finais (*End Devices*) respondem apenas para o coordenador, como ilustrado na Figura 7.

Figura 7. Topologia Ponto-a-Multiponto.



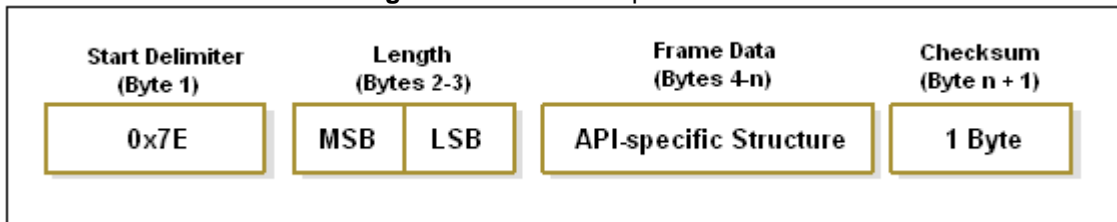
Fonte: Disponível em: <<http://www.rogercom.com/ZigBee/ZigBeePag03.htm>>. Acessado em: 28 out. 2014.

Os módulos podem operar em dois modos distintos, o modo transparente e o modo API. Por padrão, os módulos operam no modo transparente. Quando neste modo, os dados enviados ao pino de recepção de dados do módulo, o pino DI, são colocados na fila para serem transmitidos via radiofrequência.

Já o modo API, é baseado em pacotes de dados, ou seja, os dados transmitidos ou recebidos estão contidos em um pacote, o qual contém informações como endereço do módulo remetente, endereço do módulo destinatário, comando, estado das portas, entre outros (MANUAL XBEE 802.15.4, 2014).

A operação em modo API exige que a comunicação com o módulo seja feita através de uma interface estruturada, onde os dados são comunicados em pacotes em uma ordem definida. O modo API especifica como os comandos, respostas dos comandos e mensagens de status do módulo são enviados e recebidos, usando um quadro de dados UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) (MANUAL XBEE 802.15.4, 2014).

Figura 8. Estrutura do pacote API.



Fonte: Manual XBee-802.15.4.

O pacote API é dividido em bytes (Figura 8), onde o primeiro byte do pacote (0x7E) serve para identificar o começo do mesmo, os bytes 2 e 3 são os bytes referentes ao tamanho do pacote, do quarto byte até o penúltimo (conforme consta no manual do módulo, o número máximo de dados que podem ser enviados em uma transmissão é de 100 bytes) são referentes aos bytes dados a serem enviados, o último byte é o de soma de verificação, que é usado para verificar a integridade dos dados transmitidos.

2.3 Endereçamento

Segundo Faludi (2010) o endereçamento dos módulos XBee®/XBee-PRO® é comparável com o modelo de endereços residenciais, onde existem cidades, bairros, ruas ou avenidas e casas e para que uma pessoa possa enviar uma correspondência a outra ela precisa saber estes dados para que a informação chegue corretamente ao destino. O endereçamento da rede para os módulos seguem o mesmo padrão, porém com nomenclaturas diferentes e menos informações, onde existem as “cidades” que são as PANs (*Personal Area Network*), e as casas que são os endereços dos módulos. Nesse caso, não é necessária a utilização de mais variações no endereçamento como no sistema residencial, pois os módulos possuem endereços únicos, especificados pelo fabricante.

Em uma rede ponto-a-multiponto, consiste em um coordenador e um ou mais dispositivos finais formando uma rede PAN. Cada dispositivo em uma PAN tem um identificador, PAN ID. PAN IDs devem ser exclusivos, para evitar mal-entendidos entre as PANs (MANUAL XBEE 802.15.4, 2014).

Conforme o especificado no manual dos módulos, nas redes de topologia ponto-a-multiponto, como mencionado, um módulo deve ser configurado como coordenador e os outros módulos responderão apenas a ele. Para que isso ocorra, uma associação entre os dispositivos finais e o coordenador deve ser estabelecida, ou seja, os dispositivos finais serão filiados ao coordenador.

O estabelecimento desta filiação é útil em casos que necessitam de uma unidade central (Coordenador) para retransmitir mensagens, reunir dados de várias unidades remotas (*End Devices*) e atribuir PAN IDs (MANUAL XBEE 802.15.4, 2014).

Ainda no sistema de endereçamento existem dois modos de operação, que são o *unicast*, que consiste da transmissão de pacotes de dados à apenas um destinatário, e *broadcast*, que consiste da transmissão de pacotes de dados para vários destinatários ao mesmo tempo (MANUAL XBEE 802.15.4, 2014).

Por padrão, os módulos vêm configurados para operar no modo *unicast*. Este é o único modo que suporta tentativas de retransmissão. Quando neste modo, o módulo receptor envia um ACK (*acknowledgement*) para o módulo transmissor, que significa confirmação de recebimento do pacote. Se o módulo transmissor não receber um ACK, ele irá reenviar o pacote até três vezes (MANUAL XBEE 802.15.4, 2014).

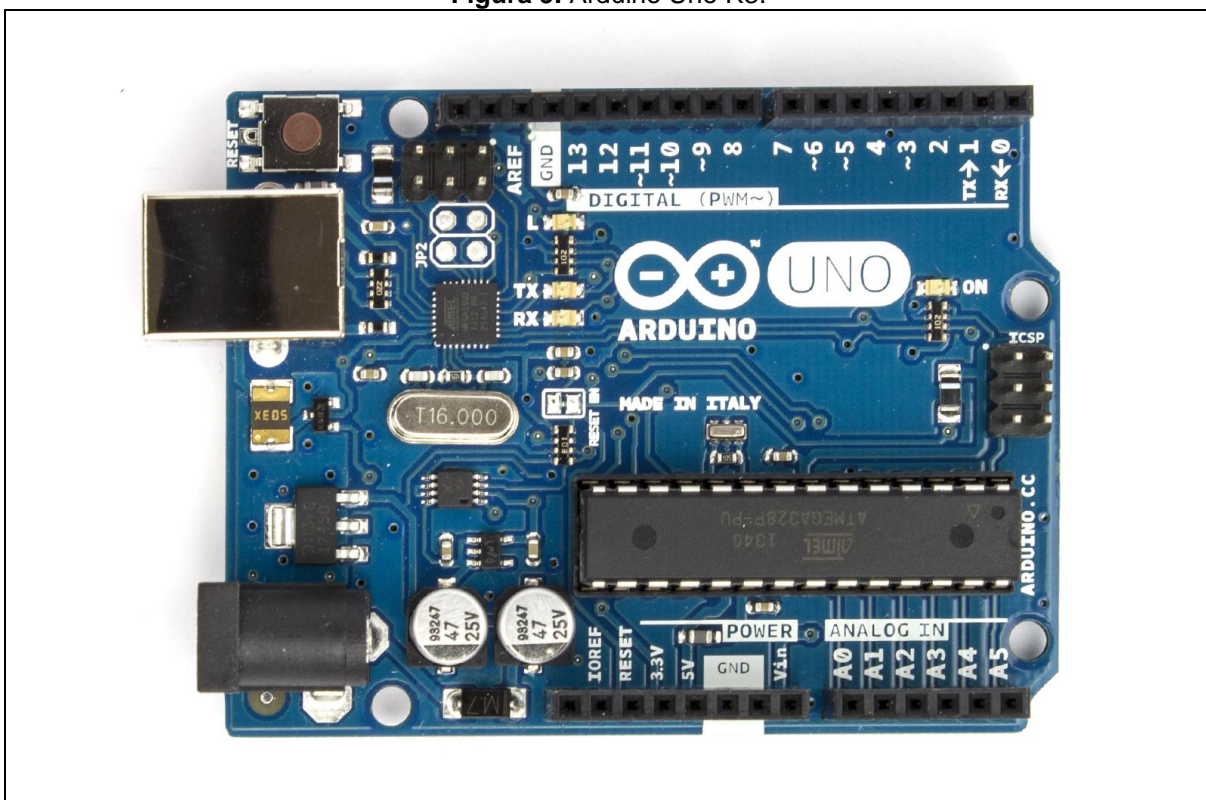
Um pacote de dados que contenha um endereço *broadcast* será aceito por qualquer módulo que faz parte da PAN, porém neste modo, os módulos receptores não enviam ACKs e nem os módulos transmissores fazem retransmissões dos dados, conforme informado no Manual XBee 802.15.4, do fabricante.

3 Arduino

O Arduino (Figura 9) é uma plataforma de *hardware* e *software* livres, de prototipagem eletrônica baseada em um *hardware* e *software* flexível e fácil de usar. É destinado a artistas, designers, hobbistas, e qualquer pessoa interessada em criar objetos ou ambientes interativos (ARDUINO, 2014).

Com essa plataforma pode-se controlar um ambiente através da recepção de sinais em algumas das portas de entrada, a partir de uma variedade de sensores e pode atuar nos seus arredores controlando luzes, motores e outros atuadores. O microcontrolador na placa é programado usando a linguagem de programação do Arduino e o ambiente de desenvolvimento Arduino. Projetos podem ser implementados apenas com as placas Arduino ou podem comunicar com software rodando em um computador, como por exemplo, Flash, Processing, MaxMSP (ARDUINO, 2014).

Figura 9. Arduino Uno R3.



Fonte: Fonte: Disponível em: <http://arduino.cc/en/uploads/Main/ArduinoUno_R3_Front.jpg>. Acessado em: 10 out. 2014.

O Arduino será o responsável pelo endereçamento e por gerar, enviar e receber os pacotes API dos XBees, ou seja, será o computador central (servidor) da rede onde todas as informações serão processadas. Os comandos que definirão quais ações o Arduino irá tomar, serão enviados para o mesmo através de um aplicativo instalado em um *smartphone* (telefone inteligente) com o sistema operacional Android. As informações serão enviadas do *smartphone* para o Arduino através de uma rede Wi-Fi, configurada especificamente para este fim.

3.1 Protocolo de comunicação

O protocolo de comunicação utilizado para enviar os comandos através do *smartphone* e receber as respostas do Arduino foi o protocolo Hypertext Transfer Protocol (HTTP). Esse protocolo é utilizado para transferência de páginas HTML. Por esse motivo, os endereços dos *websites* utilizam no início a expressão "http://", definindo o protocolo usado. Esta informação é necessária para estabelecer a comunicação entre o cliente e o servidor Web que armazena os dados, enviando então a página HTML (HyperText Markup Language) solicitada pelo usuário..

O HTTP é um protocolo de nível de aplicação para sistemas distribuídos e colaborativos de informação de hipermídia. É um protocolo genérico sem estado, que pode ser usado para muitas tarefas para além do seu uso para hipertexto, tais como servidores de nomes e sistemas de gerenciamento de objetos distribuídos, através da extensão de seus métodos de requisição, códigos de erro e cabeçalhos (World Wide Web Consortium, 2014).

O HTTP funciona baseado na troca de requisição-resposta e seus cabeçalhos são de texto puro, e também não é orientado a conexões, ou seja, não guarda estado entre conexões distintas, isto é, cada conexão é nova para o servidor (World Wide Web Consortium, 2014).

4 Segurança

Em uma rede cabeada é difícil algum intruso se conectar à rede sem que isso seja percebido, porém com a utilização de redes não cabeadas, qualquer pessoa com qualquer pessoa com um computador provido de uma placa de rede sem fio, que se encontre ao alcance de uma rede pode se associar à ele despercebido e desfrutar dos recursos compartilhados por esta rede.

Para evitar acessos indevidos, a segurança da rede foi toda implementada no roteador wireless, pois o mesmo utiliza o protocolo criptografia WiFi Protected Access (WPA/WPA2) que é considerado um protocolo seguro se utilizado com algumas condições, essas que serão apresentadas adiante.

Segundo Guimarães (2009), não existe outro método para descobrir senhas WPA e WPA2 que não seja o de força bruta, que consiste da utilização de um programa de computador que testa milhares de senhas, essas que devem ser predefinidas em um arquivo de texto chamado de “dicionário” e depois passadas como parâmetro para o programa em questão, para então o mesmo tentar encontrar a senha correta. Porém esse método só funciona se a senha estiver contida no “dicionário”. Segundo o autor, a partir de 8 letras minúsculas são possíveis, aproximadamente, 208 bilhões de chaves diferentes, então calculou-se que o tempo máximo necessário para a quebra da senha seria de, aproximadamente, 9 anos.

No WPA/WPA2 é possível criar chaves que contenham de 8 a 63 caracteres, dificultando muito a quebra por força bruta. Em WPA/WPA2 a força bruta é a única forma de se obter a senha, por isso a importância de não ser permitido chaves com menos de oito caracteres. A tabela 1 lista o tempo necessário para testar todas as combinações de senha de acordo com o seu tamanho.

Tabela 1. Tempo de força bruta à taxa de 800 chaves testadas por segundo.

Número de caracteres (apenas letras minúsculas)	Tempo necessário para testar todas as combinações
4	10 minutos
5	5 horas
6	5 dias
7	4 meses
8	9 anos
9	219 anos

Fonte: Guimarães (2009).

Ainda segundo Guimarães (2009), se for utilizada uma senha fraca, que consiste de uma palavra existente na língua do usuário e de apenas oito caracteres, a rede ficará vulnerável a ataques. No entanto, se for utilizada uma senha de no mínimo 10 caracteres, gerada aleatoriamente e que utilize letras minúsculas, maiúsculas, algarismos e caracteres especiais, o tempo necessário para percorrer a lista de chaves possíveis inviabiliza a quebra, tornando-a praticamente impossível.

Para aumentar a segurança do sistema algumas práticas de configuração de redes sem fio, além da utilização criptografia de dados, podem ser utilizadas para dificultar ainda mais o acesso indevido a rede. Essas configurações estão apresentadas no capítulo 5.1.

5 Metodologia

Neste capítulo serão apresentados todos os equipamentos e métodos utilizados e para a realização dos testes práticos, no qual serão explicadas as funções de cada dispositivo, suas configurações e todo o conceito explorado nessa pesquisa. Os resultados dos testes serão apresentados no capítulo 6 onde será feita uma análise dos resultados obtidos, para que se possa chegar a uma conclusão da viabilidade de utilização desse sistema de automação residencial.

5.1 Configuração do roteador sem fio

Para realizar a interconexão entre *smartphone* e o Arduino, é de suma importância a utilização de um roteador sem fio, pois a troca de dados ocorrerá por meio do protocolo Wi-Fi.

Com base nas afirmações do autor, conclui-se desnecessário a implementação de um protocolo de segurança adicional, e que o protocolo de segurança, o WPA/WPA2, implementado no roteador, será suficiente para garantir o sigilo das informações trafegadas na rede do sistema, bastando apenas a utilização de uma senha que não seja considerada fraca.

Como mencionado, a segurança da rede ficará a cargo do roteador, pois o mesmo já possui protocolos de segurança confiáveis e seguros.

O roteador que será utilizado nesse estudo é D-Link DIR-600 (Figura 10).

Figura 10. Roteador DIR-600.



Fonte: Disponível em: <<http://www.interhome.com.br/products/Roteador-D-Link-DIR-600.html>>
Acessado em: 10 nov. 2014.

No roteador foram adotadas algumas técnicas que tornarão a rede mais segura e tornará menos suscetível a ataques. As técnicas utilizadas são:

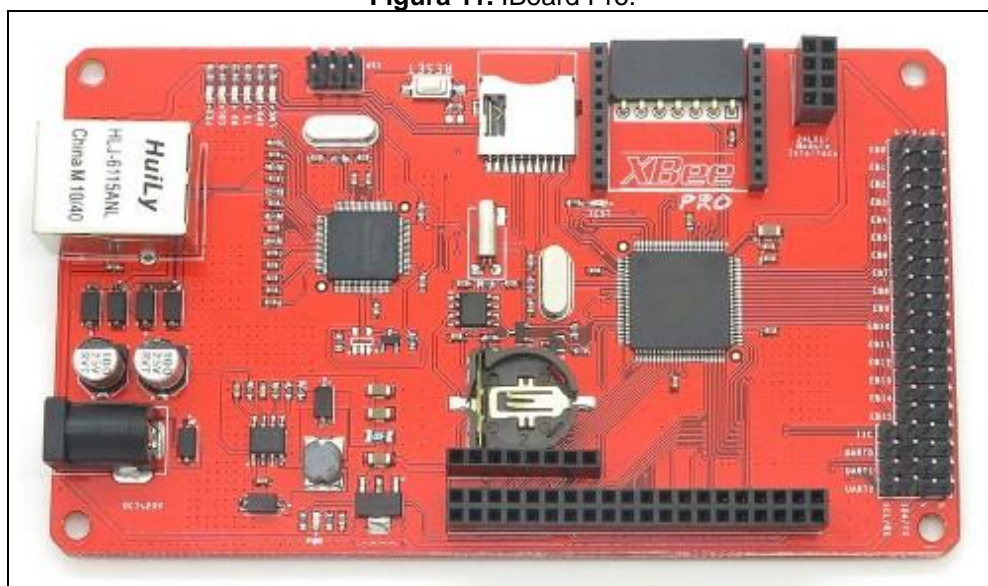
- Alterar nome SSID padrão;
- Alterar canal de funcionamento;
- SSID *Broadcast* desabilitado;
- Utilização de senha gerada randomicamente de 12 dígitos;
- Acessado remoto desabilitado;
- Reserva de endereços DHCP;
- Filtro por MAC Address;
- Protocolo de criptografia WPA2-Personal;

5.2 Configuração da central

A placa IBoard Pro (Figura 11) é uma placa completamente compatível com a plataforma Arduino e foi utilizada como a central do sistema, onde todos os dados do sistema serão processados e tratados.

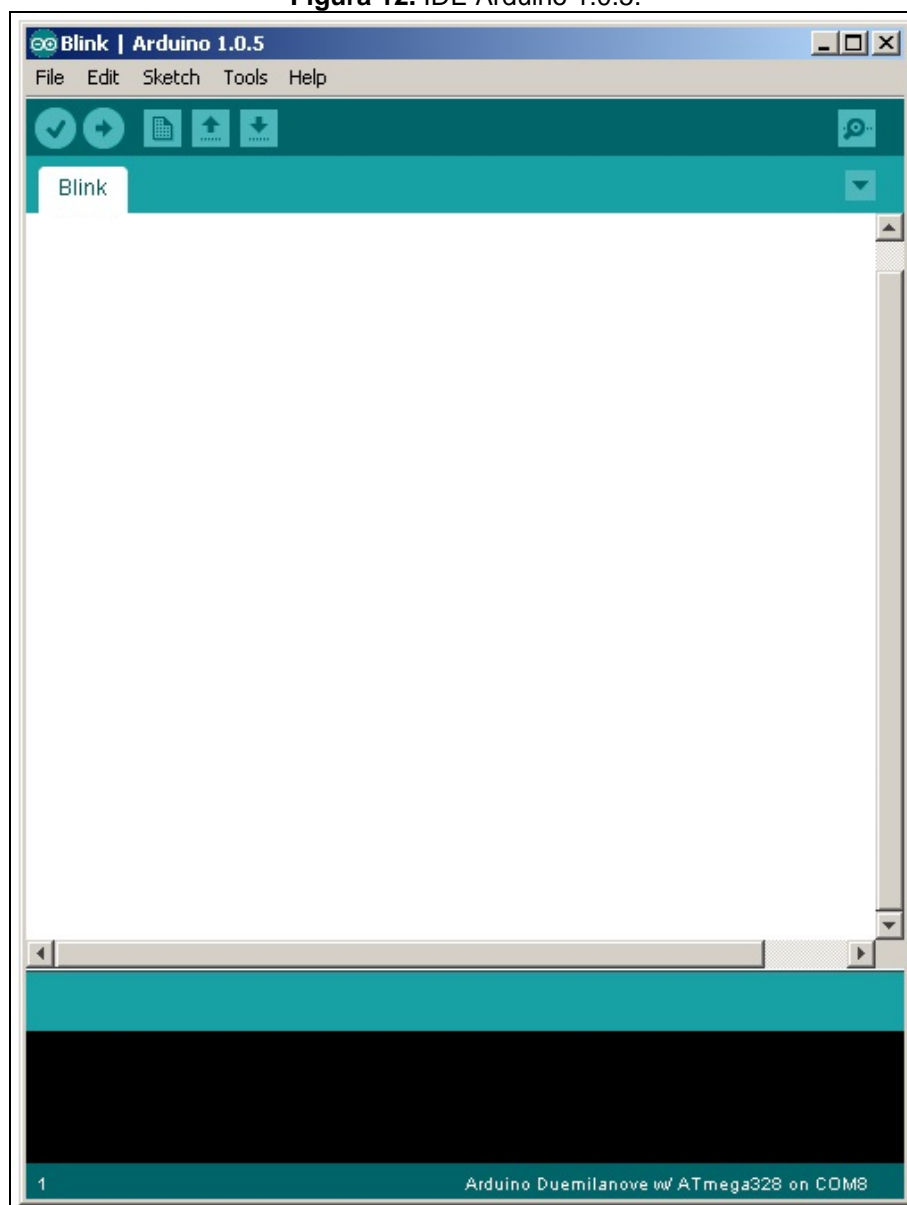
O *software* utilizado na central foi desenvolvido na IDE (*Integrated Development Environment*) do Arduino (Figura 12), especificamente para atender aos requisitos básicos de um sistema de automação residencial, como também, para servir de interface de comunicação para os módulos XBee®/XBee-PRO®, que será a camada onde os pacotes API com os comandos e informações dos módulos, serão enviados, recebidos tratados.

Figura 11. IBoard Pro.



Fonte: Disponível em: <<http://www.ledsandchips.com/Arduino-Compatible?limit=100>>. Acessado em: 11 nov. 2014.

Figura 12. IDE Arduino 1.0.5.



Fonte: Própria.

5.3 Luminária

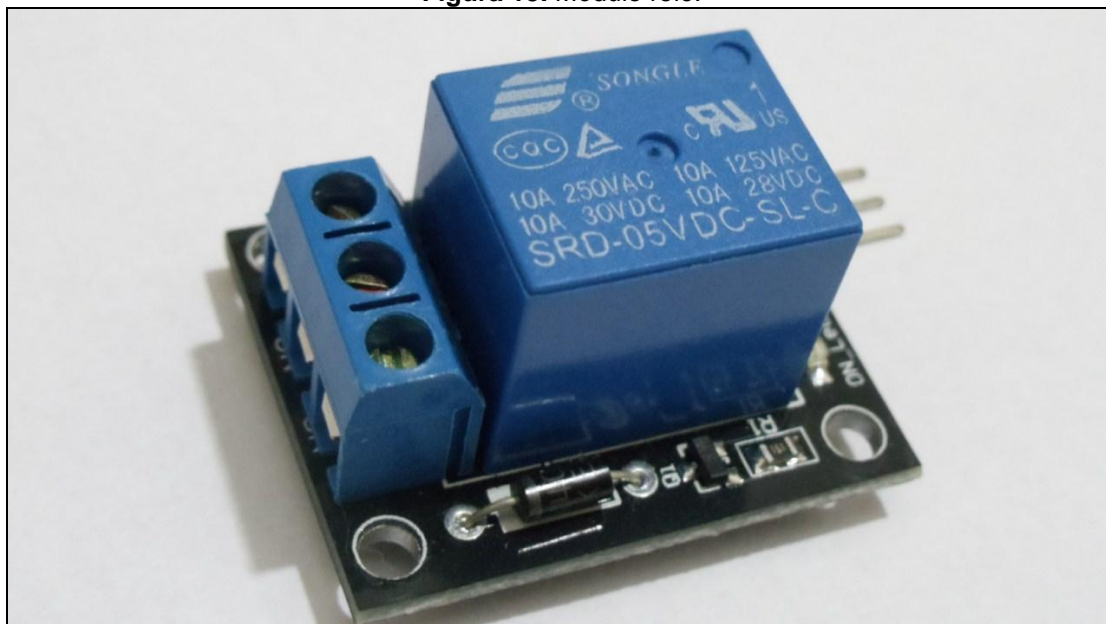
Uma luminária de mesa foi o dispositivo final controlado, ou seja, o sistema irá acendê-la ou apaga-la, após o comando para tal, ter sido enviado através do aplicativo.

5.4 Módulo relé

O módulo relé (Figura 13) foi utilizado para acionar a luminária, mas este pequeno componente eletrônico pode ser usado para acionar equipamentos eletrônicos, motores ou qualquer equipamento eletroeletrônico.

Esse módulo foi selecionado, pois o XBee®, que é o controlador remoto da luminária, não pode acionar cargas de corrente alternada diretamente, e o relé executará este trabalho, isolando o XBee®, que funciona com 3.3Volts da rede alternada de 127Volts.

Figura 13. Módulo relé.



Fonte: Disponível em: <<http://www.arduinoocia.com.br/2013/02/modulo-rele-arduino.html>>. Acessado em: 5 nov. 2014.

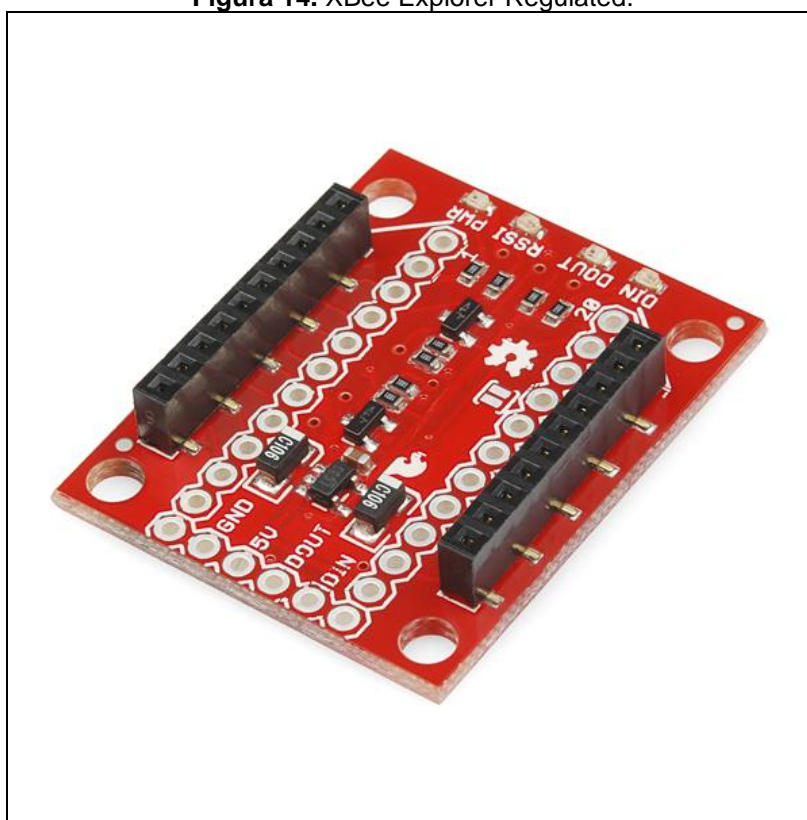
5.5 Fonte de alimentação 5 Volts

Para fornecer a energia necessária para que os módulos e componentes funcionem corretamente, foi utilizada uma fonte de alimentação, que serve transformar a energia elétrica de corrente alternada em corrente contínua, que é a forma de energia utilizada para alimentar a maioria dos dispositivos eletroeletrônicos.

5.6 Placa XBee Explorer Regulated

A placa XBee Explorer Regulated (Figura 14), é uma pequena placa desenvolvida para ser utilizada com os módulos XBee®/XBee-PRO®, tem o intuito de fazer a regulação da tensão alimentação de 5 Volts para 3.3 Volts, que é a tensão em que o módulos funcionam. Ela será utilizada para facilitar a ligação entre o XBee, e a placa de ensaio, essa que será apresentada a seguir.

Figura 14. XBee Explorer Regulated.



Fonte: Disponível em: <<https://www.sparkfun.com/products/11373>>. Acessado em: 5 nov. 2014.

5.7 Placa de ensaio

Uma placa de ensaio (Figura 15) consiste de uma pequena placa de plástico com orifícios e conexões condutoras para montagem de protótipos de circuitos eletrônicos. Ela foi utilizada para conectar o módulo relé, a fonte de alimentação, a placa XBee Explorer Regulated e a luminária.

Figura 15. Placa de ensaio.



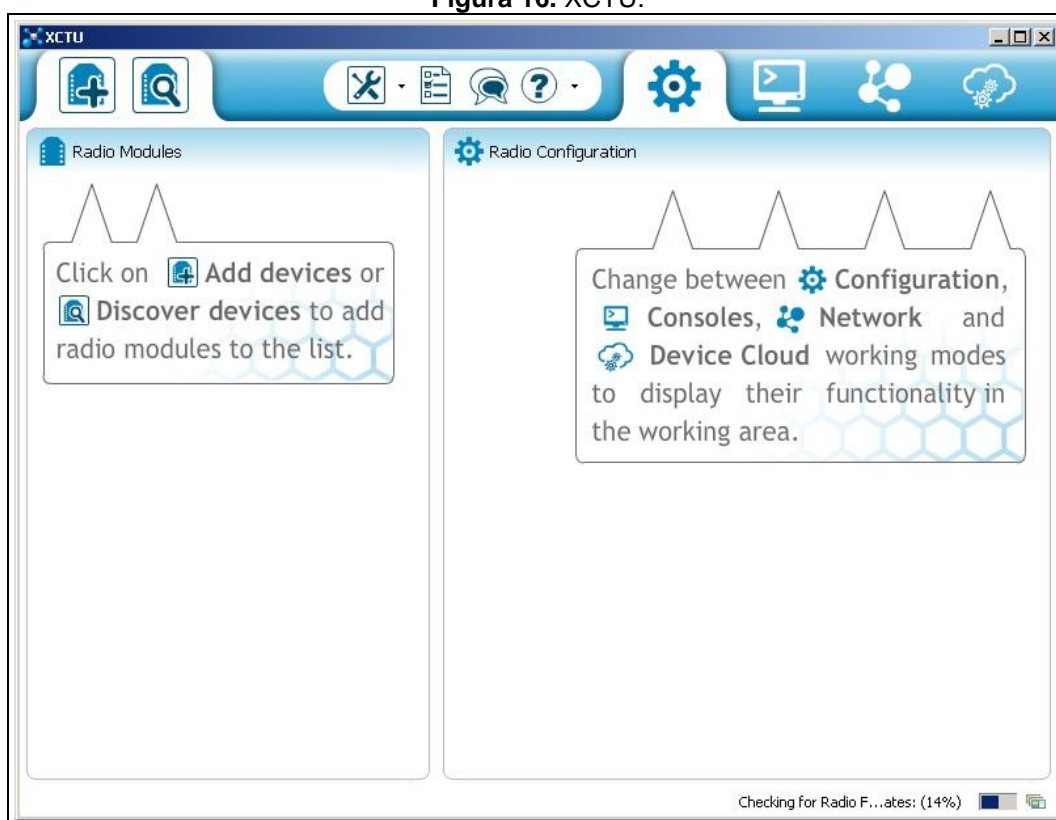
Fonte: Disponível em: <<http://multilogica-shop.com/protoboard>>.
Acessado em: 5 nov. 2014.

5.8 Módulos XBee

Nessa pesquisa foram utilizados apenas dois módulos XBee (Figura 3), um foi configurado como coordenador da rede e ficará acoplado à placa Iboard Pro, e foi utilizado como meio de transmissão dos comandos da central (Iboard Pro) para o outro XBee, que foi configurado como dispositivo final, esse, que foi o módulo responsável por controlar a luminária e informar à central o estado da luminária sempre que receber os comandos para tal.

Os módulos foram configurados utilizando a aplicação XCTU (Figura 16) disponibilizada pelo fabricante.

Figura 16. XCTU.



Fonte: Própria.

5.9 Aplicativo Android

Um aplicativo Android (Figura 17) foi criado para ser utilizado nos testes do sistema de automação. O aplicativo consiste de apenas um botão, com a imagem de uma lâmpada, que ao ser pressionado envia um comando de acionamento ou desligamento da luminária para a central e essa se encarregará de repassar o comando ao XBee responsável pela luminária em questão.

Se o módulo XBee® receber o comando corretamente, este acionará ou desligará a luminária e enviará ACK de confirmação de recebimento do comando. Assim que a central receber o ACK do módulo, ela deverá enviar uma confirmação de que o comando foi executado corretamente.

Após o aplicativo receber a confirmação de que o comando foi executado, o aplicativo deverá trocar a imagem da lâmpada de acesa para apagada ou vice-versa, isso dependerá da resposta recebida da central. Caso o comando não seja executado, a central deverá retornar um código de erro para o aplicativo.

Figura 17. Aplicativo Android



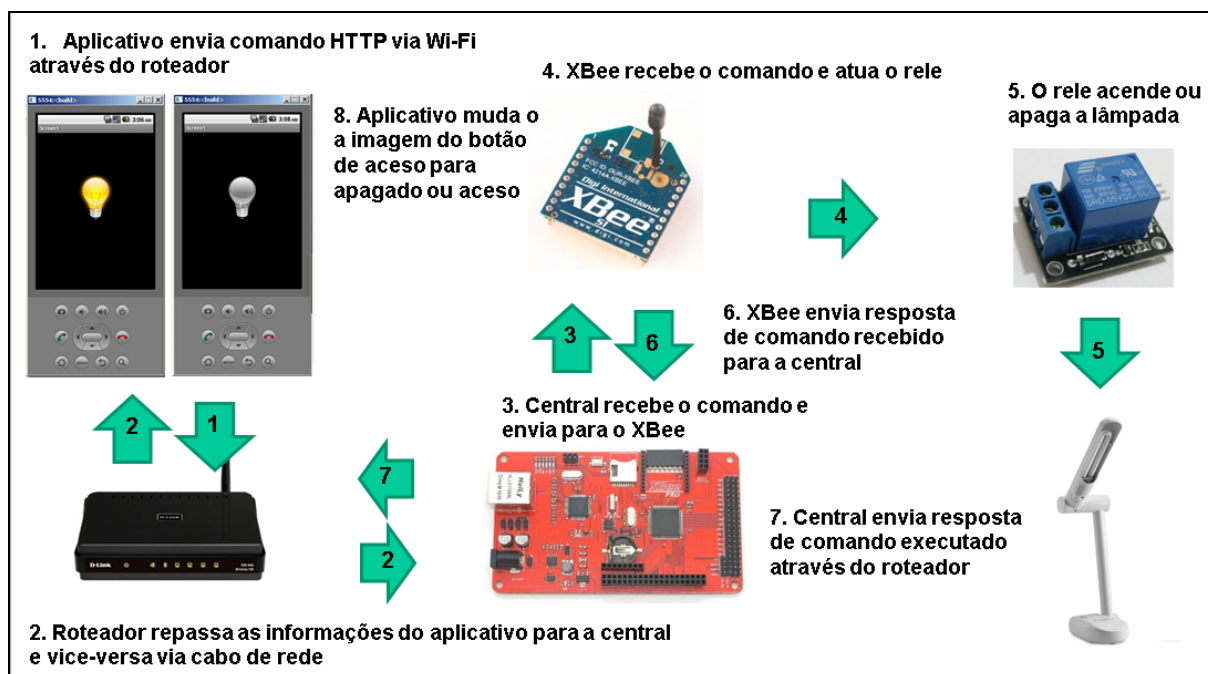
Fonte: Própria.

6 Resultados

Após o roteador a central e o aplicativos terem sido configurados conforme as necessidades do sistema e os módulos, placas e componentes conectados na placa de ensaio, os testes puderam ser realizados e os resultados dos testes estão apresentados a seguir.

A (Figura 18) explica passo a passo o funcionamento do sistema completo.

Figura 18. Diagrama de funcionamento.



Fonte: Própria.

A comunicação entre o aplicativo e a central funcionou conforme o esperado e com nenhum problema perceptível. A troca de informações entre todos os dispositivos do sistema foi bastante rápida, estável e não foi constatada nenhuma perda de pacotes. Isso pode ser constatado, pois ao utilizar o aplicativo para acender e apagar a luminária, não se percebeu nenhum atraso, ou seja, a luminária acendeu e apagou praticamente no mesmo instante em que o botão do aplicativo foi apertado e em todas as vezes que foi preciso comutar o estado da luminária o sistema funcionou como esperado.

Figura 19 . Central conectada ao roteador.



Fonte: Própria.

Também foi explorada a possibilidade de múltiplas conexões, para verificar o funcionamento com vários usuários utilizando o aplicativo simultaneamente. Esse teste foi realizado com quatro *smartphones* diferentes, os resultados superaram as expectativas, pois se esperava um pequeno atraso na comutação da luminária, devido a fato de que a velocidade de processamento da central é relativamente baixa (16MHz), se comparada com modelos de centrais comerciais, que operam na faixa de 1GHz.

Adicionalmente, para verificar a confiabilidade do sistema como um todo, foi realizado um teste de stress, que consistiu em enviar um comando para a central a cada um segundo durante 5 horas ininterruptas. No final desta avaliação, foram enviados mais de 18000 comandos e somente dois deles não foram recebidos pelo servidor, o que da uma margem de erro de apenas 0.01%, o que mostrou que o sistema é perfeitamente confiável.

7 Conclusão

Essa pesquisa teve como objetivo verificar a viabilidade de um sistema sem fio voltado para área de automação residencial utilizando para tal, o protocolo de comunicação sem fio IEEE® 802.15.4 juntamente com a plataforma de desenvolvimento de hardware e software livres Arduino para comprovar a possibilidade de implementação real do sistema em residências, com a intenção de melhorar o conforto, mobilidade e a segurança das pessoas.

A tecnologia sem fio foi utilizada, pois facilita a instalação dos dispositivos por não necessitar da realização de obras para passagem de cabos, o que tornaria a instalação do sistema menos atraente em residências já construídas.

Nessa pesquisa foi desenvolvido um pequeno sistema para controlar apenas uma luminária de mesa, o qual pode enviar e receber informações através de uma interface gráfica, que possibilita que o usuário envie comandos, tal como visualize as informações recebidas.

O sistema foi desenvolvido com sucesso, pois obteve resultados muito promissores, que conforme apresentados nos capítulos anteriores, mostraram que o sistema em questão é bastante confiável. As configurações aplicadas no roteador foram suficientes para manter segurança da rede e a integridade dos dados.

Os resultados obtidos também poderão ser utilizados como base para o desenvolvimento de um sistema mais complexo, em que contemple um sistema completo, com módulos de monitoramento e controle de temperatura, controle de equipamentos de som e vídeo, portões eletrônicos e qualquer dispositivo em seja necessário o controlar remotamente para tornar a residência mais confortável e segura.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARDUINO.CC. **Arduino**. Disponível em: <<http://arduino.cc/en/Main/FAQ>>. Acessado em: 30 ago. 2014.

ARDUINO E CIA. **Módulo relé Arduino**. Disponível em: <<http://www.arduinoecia.com.br/2013/02/modulo-rele-arduino.html>>. Acessado em: 5 nov. 2014.

AURESIDE. **Associação Brasileira de Automação Residencial**. Disponível em: <<http://www.aureside.org.br/temastec/default.asp?file=concbasicos.asp&menu=temas>>. Acessado em: 02 fev. 2014.

DIGI INTERNATIONAL, **Product Manual v1.xEx - 802.15.4 Protocol**. Disponível em: <http://ftp1.digi.com/support/documentation/90000982_R.pdf>. Acessado em: 19 out. 2014.

FALUDI, R. . **Building Wireless Sensor Networks**. 1 ed. Sebastopol, O'Reilly Media, Inc. December 2010.

GASCÓN, D. . **Wireless Sensor Networks**. Disponível em: <<http://sensor-networks.org/index.php?page=0823123150>>. Acessado em: 16 set. 2014

GUIMARÃES, M. D.. **Análise de vulnerabilidades dos principais protocolos de segurança de redes sem fio padrão ieee 802.11**. Niterói: Universidade Federal Fluminense, 2009.

IEEE. **IEEE Standards for information technology Part: 802.15.4**. 1 ed. New York: Institute of Electrical and Eletronics Engineers, Inc. Out 2003.

LEDS AND CHIPS. **IBoard Pro**. Disponível em: <<http://ledsandchips.com/Arduino-Compatible/238?limit=100>>. Acessado em: 11 nov. 2014.

MACHADO, MARTINS, **Princípios de Automação Industrial**, Santa Maria, 05 mar. 2012. p. 5.

MORAES, C. C. de; CASTRUCCI, P. L. **Engenharia de Automação Industrial**. 2.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

MESSIAS, A.. **Controle remoto e aquisição de dados via XBee/ZigBee**. Disponível em <<http://www.rogercom.com/ZigBee/ZigBeePag03.htm>>. Acessado em: 15 de jun. 2014.

MULTILÓGICA SHOP. **Protoboard**. Disponível em: <<http://multilogica-shop.com/protoboard>>. Acessado em: 5 nov. 2014.

SOUSA, R. G. **Revolução Neolítica**. Disponível em: <<http://www.mundoeducacao.com/historiageral/revolucao-neolitica.htm>>. Acessado em: 18 set. 2014.

SPARKFUN ELECTRONICS. **XBee Pro 60mW Wire Antenna - Series 1 (802.15.4)**. Disponível em: <<https://www.sparkfun.com/products/8742>>. Acessado em: 25 set 2014.

SPARKFUN ELECTRONICS. **XBee Explorer Regulated**. Disponível em: <<https://www.sparkfun.com/products/11373>>. Acessado em: 5 nov. 2014.

TANENBAUM, ANDREW S. **Computer Networks**, 4 ed. Amsterdam: Prentice Hall, 2003.

TECNOLIFE'S. **Fonte de alimentação oDI-0510 5v 1ª**. Disponível em: <<http://tecnolifes.com.br/fontes-de-alimentac-o.html>>. Acessado em: 5 nov. 2014.

VALENTE, DIEGO. **Análise experimental da aplicação da tecnologia de rádio sobre fibra em redes IEEE® 802.15.4**. Campinas: PUC Campinas, 2008.

WORLD WIDE WEB CONSORTIUM. ***Hypertext Transfer Protocol -- HTTP/1.1.***

Disponível em: <<http://www.w3.org/Protocols/rfc2616/rfc2616.html>>. Acessado em: 06 jul. 2014