

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**  
**DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA**  
**CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**CLEBER DOS SANTOS PRESTES**  
**GUILHERME EMERICK ANDREOTTI**  
**LEANDRO SANCHEZ**

**IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE AUTOMAÇÃO SEM FIO EM**  
**UMA SALA DE AULA**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**CURITIBA**

**2016**

**CLEBER DOS SANTOS PRESTES  
GUILHERME EMERICK ANDREOTTI  
LEANDRO SANCHEZ**

**IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE AUTOMAÇÃO SEM FIO EM  
UMA SALA DE AULA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Luiz Moritz

**CURITIBA**

**2016**

Cleber dos Santos Prestes  
Guilherme Emerick Andreotti  
Leandro Sanchez

## Implementação de um sistema de automação sem fio em uma sala de aula

Este Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação foi julgado e aprovado como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Eletricista, do curso de Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Curitiba, 16 de junho de 2016.

---

Prof. Emerson Rigoni, Dr.  
Coordenador de Curso  
Engenharia Elétrica

---

Profa. Annemahlen Gehrke Castagna, Mestre  
Responsável pelos Trabalhos de Conclusão de Curso  
de Engenharia Elétrica do DAELT

### ORIENTAÇÃO

---

Guilherme Luiz Moritz, Dr.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Orientador

### BANCA EXAMINADORA

---

Guilherme Luiz Moritz, Dr.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Amauri Amorin Assef, Dr.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Rafael Fontes Souto, Dr.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

## RESUMO

PRESTES, Cléber dos S. ANDREOTTI, Guilherme E. SANCHEZ, Leandro. **Implementação de um Sistema de Automação sem Fio em uma Sala de Aula.** 2016. 51 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Elétrica), Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

Este trabalho apresenta a modelagem de um sistema de automação para aplicação em uma sala de aula. No texto é feita uma análise de várias tecnologias de automação existentes, sendo o uso da tecnologia sem fio a solução considerada mais viável. Devido aos fatores energéticos e econômicos, destaca-se a tecnologia ZigBee, sendo esta a rede de comunicação utilizada no trabalho. Para comando dos dispositivos automatizados, dentre eles, motores, lâmpadas, ventiladores e projetores de vídeo, foi desenvolvida uma interface web utilizando PHP e MySQL. Ao longo do texto também são apresentadas todas as características de implementação do sistema e por fim os resultados obtidos.

**Palavras-chave:** Comunicação sem fio. Automação. ZigBee.

## ABSTRACT

PRESTES, Cléber dos S. ANDREOTTI, Guilherme E. SANCHEZ, Leandro. **Implementation of a Wireless Automation System in a Classroom**. 2016. 51 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Elétrica), Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

This work presents the modeling of an automation system for use in a classroom. An analysis of several existing automation technologies is made in the text, being considered the use of wireless technology the most viable solution. Due to energy and economic factors, stands out the ZigBee technology, which is the communication network used in this project. For control of automated devices, including, motors, lamps, fans and video projectors, a web interface was developed using PHP and MySQL. Throughout the text all system implementation features are also presented and finally the obtained results.

**Keywords:** Wireless Communication. Automation. ZigBee.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama de Blocos do Sistema .....	13
Figura 2 – Ilustração das Funcionalidades do Sistema .....	22
Figura 3 – Visão Geral do Sistema.....	23
Figura 4 – Arquitetura Protocolar do ZigBee .....	26
Figura 5 – Modelos de Topologias de Rede.....	27
Figura 6 – Módulo de Comunicação com Chip CC2530 .....	28
Figura 7 – Tiva C Series TM4C123G LaunchPad Evaluation Board .....	29
Figura 8 – Tela do Painel de Comando.....	31
Figura 9 – Tela do Controle de Iluminação .....	32
Figura 10 – Tela de Configurações .....	32
Figura 11 – Módulo Coordenador ZigBee .....	33
Figura 12 – Circuito de Acionamento de Cargas AC.....	34
Figura 13 – Circuito Detector de Zero Crossing .....	34
Figura 14 – Placa de Circuito Impresso .....	35
Figura 15 – Circuito no Interior do Protótipo.....	35
Figura 16 – Motores de Passo .....	37
Figura 17 – Esquema de Ligação dos Motores .....	38
Figura 18 – Projeto Polia .....	38
Figura 19 – Acoplamento Motores – Persiana .....	39
Figura 20 – Persiana Instalada.....	40
Figura 21 – Circuito de Acionamento Projetor.....	41
Figura 22 – Protótipo Projetor .....	42
Figura 23 – Sensor HC-SR501.....	43

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparativo entre tecnologias de comunicação sem fio .....	21
Tabela 2 – Orçamento.....	44

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APL	<i>Application</i>
APS	<i>Application Support Sublayer</i>
AURESIDE	Associação Brasileira de Automação Residencial e Predial
BLE	<i>Bluetooth Low Energy</i>
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
ED	<i>Energy Detection</i>
EIB	<i>European Installation Bus</i>
GPIO	<i>General Purpose Input Output</i>
HTTP	<i>Hypertext Transfer Protocol</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
IHC	<i>Intelligent Home Control</i>
IR	Infravermelho
LED	<i>Light Emitter Diode</i>
LonWorks	<i>Local Operating Network</i>
LQI	<i>Link Quality Indication</i>
MAC	<i>Medium Access Control</i>
NWK	<i>Network</i>
OSI	<i>Open Systems Interconnection</i>
PHP	<i>Hypertext Preprocessor</i>
PHY	<i>Physical</i>
PLC	<i>Power Line Carrier</i>
RAM	<i>Random Access Memory</i>
RF	Radiofrequência
SQL	<i>Structured Query Language</i>
SSP	<i>Security Service Provider</i>
USART	<i>Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter</i>
Wi-Fi	<i>Wireless-Fidelity</i>



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
1.1 TEMA .....	10
1.1.1 Delimitação do Tema .....	10
1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS .....	11
1.3 OBJETIVOS.....	11
1.3.1 Objetivo Geral.....	11
1.3.2 Objetivos Específicos.....	12
1.4 JUSTIFICATIVA.....	13
1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....	14
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	14
<b>2 TECNOLOGIAS EXISTENTES .....</b>	<b>15</b>
2.1 SISTEMAS COM TRANSMISSÃO POR CONDUTORES .....	15
2.1.1 X10 - PLC ( <i>Power Line Carrier</i> ) .....	15
2.1.2 IHC - <i>Intelligent Home Control</i> .....	16
2.1.3 LonWorks - <i>Local Operating Network</i> .....	16
2.1.4 EIB - <i>European Installation Bus</i> .....	16
2.2 SISTEMAS COM TRANSMISSÃO SEM FIO .....	17
2.2.1 Wi-Fi – <i>Wireless-Fidelity</i> .....	17
2.2.2 Bluetooth.....	18
2.2.3 Z-Wave .....	18
2.2.4 ZigBee .....	19
2.3 CONCLUSÃO DA ANÁLISE DAS TECNOLOGIAS EXISTENTES.....	20
<b>3 MODELAGEM DO SISTEMA.....</b>	<b>22</b>
3.1 FUNCIONALIDADES PARA O USUÁRIO .....	22
3.2 VISÃO GERAL DO PROJETO.....	23
3.3 SISTEMA WEB.....	24
3.3.1 Servidor Web .....	24
3.3.2 Linguagem de Programação.....	24
3.3.3 Banco de Dados .....	25
3.4 COMUNICAÇÃO ZIGBEE.....	25
3.4.1 Topologia de rede .....	27
3.4.2 Módulo CC2530 .....	28
3.5 MICROCONTROLADOR .....	28
3.5.1 Tiva LaunchPad TM4C123G .....	29

<b>4 IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA.....</b>	<b>30</b>
4.1 IMPLEMENTAÇÃO DA REDE ZIGBEE E SISTEMA WEB.....	30
4.2 INTERFACE DO SISTEMA.....	31
4.3 MÓDULO COORDENADOR.....	33
4.4 ACIONAMENTO DA ILUMINAÇÃO .....	33
4.5 ACIONAMENTO DOS VENTILADORES .....	36
4.6 ACIONAMENTO DAS CORTINAS .....	36
4.7 ACIONAMENTO DO PROJETO .....	40
4.8 SENSOR DE PRESENÇA .....	42
4.9 ORÇAMENTO DOS EQUIPAMENTOS E COMPONENTES.....	43
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>45</b>
5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	46
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>47</b>
<b>APÊNDICE A - Códigos Fonte.....</b>	<b>52</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Para Silva (2009, p.1), os sistemas de automação e controle ganham cada vez mais importância em todo o mundo. A automação que se tratava de um processo já amplamente difundido nas indústrias, agora passa a ser utilizada em aplicações residenciais e comerciais. Neste contexto, surge um novo campo de aplicação da automação, a Domótica.

Segundo Domingues (2013, p.1), a Domótica é o estudo de automação predial que une diversas especialidades como elétrica, mecânica, telecomunicações e informática. Esses novos sistemas de automação permitem o conforto do usuário, a gestão correta dos gastos com energia elétrica, melhoria na qualidade de vida, lazer e também possibilita a economia de tempo.

### 1.1 TEMA

Neste trabalho, pretende-se desenvolver um sistema de automação para uma sala de aula utilizando redes sem fio. Este tipo de comunicação permite trabalhar com estruturas elétricas prontas sem a necessidade de desmonte de dutos, tubos e ligações elétricas.

Optou-se por utilizar o padrão de rede ZigBee. Esse tipo de rede é bastante conhecido pelo baixo consumo de energia e baixo custo na produção dos periféricos, adequando-se melhor às características desse projeto.

#### 1.1.1 Delimitação do Tema

Pretende-se criar um sistema de controle de iluminação remoto com funções de interrupção da iluminação através de comandos do usuário ou sensores. Outros sistemas como ventiladores, projetores multimídia e cortinas também deverão ser integrados para controle do usuário. Todo sistema será automatizado de modo que, quando a sala não estiver em uso, os dispositivos e a iluminação desligarão, visando a economia de energia.

## 1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS

Atualmente o Brasil vive uma crise na produção de energia elétrica. Diversas usinas térmicas estão em funcionamento, o que ocasiona um aumento no preço da geração de energia elétrica, conforme verificado no portal da CCEE (Câmara de Comercialização de Energia Elétrica). Isso se deve ao alto consumo e ao fato das usinas hidrelétricas não conseguirem atender toda a demanda nacional. No Brasil também existe um grande problema com as linhas de transmissão, impossibilitando que a energia gerada chegue a alguns locais de forma satisfatória para o consumidor final, como pode ser visto na reportagem “Crise no setor elétrico não foi causada por falta de água, diz especialista” (NITAHARA, 2015).

Por isso, cada vez mais, vê-se a necessidade de buscar eficiência energética. Com o emprego de técnicas de automação predial, é possível garantir uma utilização de energia de forma racional (BRAGA, 2007), além de contribuir com o aumento do conforto e praticidade no uso das instalações.

A criação de um sistema automatizado para o controle dos periféricos de uma sala de aula contribui com uma pequena redução no consumo de energia, porém, ao se pensar no número de salas existentes na instituição educacional, essa diminuição de consumo torna-se significativa. Este projeto pode ser considerado como um ponto de partida para que em conjunto com outras ações contribua para a eficiência energética.

## 1.3 OBJETIVOS

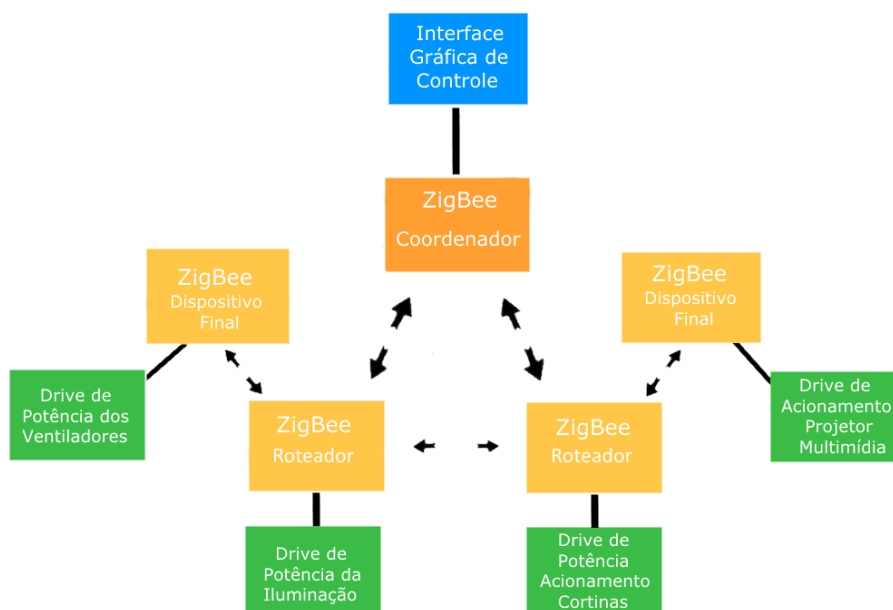
### 1.3.1 Objetivo Geral

Automatizar uma sala de aula visando uma melhoria na utilização dos recursos disponíveis no ambiente acadêmico.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Estudar o processo de instalação de redes ZigBee já existentes em outros locais;
- Avaliar as principais características dos equipamentos a serem automatizados e desenvolver o *hardware* necessário para o seu acionamento, bem como sua comunicação com a rede;
- Projetar uma interface gráfica para comando da iluminação;
- Integrar o acionamento (liga/desliga) do projetor à interface gráfica;
- Projetar o acionamento dos ventiladores com velocidade controlada através da interface gráfica;
- Automatizar o fechamento das cortinas.

Na Figura 1, representa-se um diagrama de blocos do sistema a ser implementado na sala. Foram desenvolvidos os sistemas de controle por interface gráfica, comunicação com os periféricos utilizando rede ZigBee e *drives* de potência para o acionamento dos dispositivos finais.



**Figura 1 – Diagrama de Blocos do Sistema**  
**Fonte: Autoria própria.**

#### 1.4 JUSTIFICATIVA

Segundo a Associação Brasileira de Automação Residencial e Predial (AURESIDE, 2011), a automação traz como benefícios, principalmente, a economia de energia, conveniência, conforto, acessibilidade e segurança.

O avanço tecnológico proporcionou a diminuição dos custos de implantação do sistema de automação, fazendo com que estes sejam suplantados ainda em médio prazo. A longo prazo, os benefícios que este sistema pode trazer ultrapassam facilmente o investimento inicial.

A implementação da automação através de uma rede sem fio tem entre suas vantagens maior flexibilidade em sua aplicação, tendo em vista que não é necessária uma grande alteração nas instalações do local. Outro aspecto importante é a facilidade de comunicação entre os diversos dispositivos, garantindo a integração de todo o sistema.

## 1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Previamente será feito um levantamento das características do local a ser automatizado, verificando os equipamentos a serem automatizados e considerando a sua forma de integração ao sistema e interação com o ambiente.

Após esta análise inicial, será necessário um aprofundamento teórico sobre o funcionamento do protocolo de comunicação sem fio, ZigBee, verificando os equipamentos necessários para seu funcionamento. Será elaborado também um estudo dos componentes de *hardware* para promover o comando e integração dos dispositivos ao sistema, identificando o que está disponível no mercado e o que precisará ser desenvolvido.

Na fase final, será projetado o sistema com interface gráfica amigável permitindo interação com usuário final de forma facilitada.

## 1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está disposto em 5 Capítulos. No primeiro capítulo são apresentados os objetivos a serem alcançados no seu desenvolvimento e a justificativa para sua realização. No Capítulo 2 consta uma breve análise das tecnologias existentes no mercado de automação predial e também dos protocolos de comunicação sem fio que poderão ser utilizados neste trabalho. O Capítulo 3 está focado na modelagem do sistema com suas funcionalidades e soluções de *software* e *hardware* a serem implementadas. Serão descritas no Capítulo 4 a aplicação e instalação dos equipamentos, considerando testes e ajustes realizados no projeto para que este funcione de forma robusta e possa ser implantado com segurança e praticidade para o usuário. O Capítulo 5 apresenta as conclusões acerca dos objetivos alcançados e propostas de melhorias para trabalhos futuros.

## 2 TECNOLOGIAS EXISTENTES

Para a escolha adequada das tecnologias que serão utilizadas, é necessário fazer uma análise e um comparativo entre as diversas opções disponíveis no mercado.

Devido à crescente demanda por automação predial, ocorreu um expressivo aumento do número de empresas que atuam nesse ramo. Visto a grande diversidade de tecnologias empregadas, selecionaram-se alguns modelos para análise e comparação.

### 2.1 SISTEMAS COM TRANSMISSÃO POR CONDUTORES

#### 2.1.1 X10 - PLC (*Power Line Carrier*)

A tecnologia X10 foi desenvolvida na década de 70 pela Pico Electronics, na Escócia. Em 1997, a sua patente original expirou e diversas empresas passaram a utilizá-la na fabricação de seus produtos. Obteve grande sucesso comercial pelo fato de utilizar a rede de distribuição de energia elétrica já existente nas construções. No mercado americano foram comercializados dezenas de milhões de dispositivos baseados nessa tecnologia (NUNES, 2002).

O sistema funciona utilizando a instalação elétrica já existente em um edifício. Os transmissores enviam um código específico através de sinais de frequência de 120 kHz. Estes sinais são interpretados pelo receptor através de codificação binária, acionando os dispositivos que estão ligados diretamente na tomada.

As principais vantagens desse sistema são a facilidade de uso e instalação, além do preço acessível. Como desvantagem, pode-se citar o fato de não ser muito confiável, pois apresenta falhas causadas por interferência da rede elétrica e, devido a isso tem aplicações limitadas.



### 2.1.2 IHC - *Intelligent Home Control*

IHC ou *Intelligent Home Control* é uma tecnologia modular, onde os diversos tipos de módulos (controle, alimentadores, entradas, saídas e modem) permitem a conexão com diversos dispositivos como temporizadores, reguladores, sensores detectores, válvulas, entre outros, fazendo com que o sistema seja totalmente adaptável às preferências do usuário (DIAS & PIZZOLATO, 2004).

Apesar de ser controlável via interface web, sua instalação demanda uma grande quantidade de cabos, uma vez que os módulos devem convergir para um módulo central de controle, dificultando o processo de instalação.

### 2.1.3 LonWorks - *Local Operating Network*

Segundo Dias & Pizzolato (2004), o Lonworks (*Local Operating Network*) é baseado em um sistema de controle inteligente que se utiliza de diversos dispositivos conectados em “nós”. Diferentemente do IHC, este sistema não possui uma central única. Cada “nó” possui individualmente sua própria inteligência, mas ainda assim requer a instalação de muitos cabos.

Uma das principais vantagens do sistema LonWorks é a capacidade de gerenciamento de um grande número de dispositivos, podendo a rede suportar de 2 até 32.000 dispositivos. Devido à grande flexibilidade, pode-se até mesmo transferir mensagens entre a rede telefônica e a instalação elétrica.

### 2.1.4 EIB - *European Installation Bus*

O EIB foi criado pela União Europeia como um sistema não proprietário. A comunicação entre os dispositivos é feita por um barramento em que são conectados os diversos componentes do projeto de automação.

Trata-se de um sistema descentralizado, onde cada dispositivo tem seu próprio controle. Cada “bus” opera até 64 dispositivos, permitindo ainda 15 áreas de acoplamento. Todo esse conjunto permite a interação de um grande número de dispositivos, tornando-o apto para a implantação em residências e grandes

edificações. Este sistema foi trazido ao Brasil através da Siemens que comercializa o Instabus.

Sua estrutura de instalação exige um planejamento ainda na fase inicial de construção do edifício para não aumentar ainda mais o custo final.

## 2.2 SISTEMAS COM TRANSMISSÃO SEM FIO

Os sistemas sem fio ou *Wireless* são tecnologias totalmente baseadas em radiofrequência (RF) e sinais infravermelhos (IR) (DOMINGUES, 2013). Uma das principais vantagens de se utilizar este tipo de tecnologia é justamente o fato de não necessitar cabeamento para interligação dos diversos dispositivos que podem compor a rede.

### 2.2.1 Wi-Fi – Wireless-Fidelity

O uso do Wi-Fi popularizou-se muito ao redor do mundo por possibilitar a troca de informações entre computadores sem a necessidade de cabos. Com a evolução dos *smartphones*, esse tipo de tecnologia tornou-se artigo de primeira necessidade para grande parte da população. Atualmente, o Wi-Fi é utilizado em diversos locais, desde residências, ambientes corporativos e instituições acadêmicas, até locais públicos como bares, aeroportos e shoppings.

O sistema Wi-Fi foi desenvolvido na década de 90 pelo *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE). A primeira versão ficou conhecida como 802.11 *legacy*. Este padrão utilizava uma faixa de frequências entre 2,4 GHz e 2,4835 GHz e tinha uma taxa de transmissão de dados de 1 Mbps ou 2 Mbps. O padrão evoluiu para a versão 802.11b, chegando a taxas de transmissão da ordem de 11 Mbps. Esta versão ganhou notoriedade e fez com que o Wi-Fi passasse a ser usado em larga escala (INFOWESTER, 2013).

Com o passar dos anos, novas versões foram lançadas e o padrão 802.11 foi evoluindo. Atualmente trabalha-se com uma versão conhecida como 5G – Wi-Fi ou 802.11ac, que em teoria poderia fazer a rede superar 6 Gbps (INFOWESTER, 2013).

O Wi-Fi possui alguns problemas de segurança que são obstáculos para a utilização no uso da automação predial, além de consumir muita energia se comparado com outras tecnologias. Porém, existem algumas variações do Wi-Fi com menor consumo de energia que indicam a possibilidade de uso em residências num futuro não tão distante (JACOBSON, 2014).

### 2.2.2 Bluetooth

A tecnologia Bluetooth foi desenvolvida em meados da década de 90 inicialmente para a aplicação em celulares e acessórios. Ela utiliza sinais de RF na mesma frequência do Wi-Fi, porém com um custo financeiro e energético mais baixo.

De acordo com Nakayama (2012), uma desvantagem do Bluetooth em relação a outras tecnologias é o alcance limitado de no máximo 100 metros. Outro aspecto importante é que sua taxa de transmissão é bem inferior a do Wi-Fi, podendo chegar até 24 Mbps. No que diz respeito ao consumo de energia, o seu rendimento é melhor que o Wi-Fi, porém ainda consome mais energia que o ZigBee.

Atualmente o BLE (Bluetooth *Low Energy*), também chamado "Bluetooth *Smart*", oferece uma plataforma interessante de aplicações para controle de residências. Ele envia pequenos pacotes de dados em vez de fluxos contínuos e isso faz com que consuma apenas uma fração da energia exigida numa conexão Bluetooth. Muitos dispositivos "Bluetooth *Smart*" estão ganhando espaço no mercado devido a esta característica e por serem mais baratos que as soluções equivalentes em Z-Wave ou ZigBee (JACOBSON, 2014).

### 2.2.3 Z-Wave

Conforme Dias & Pizzolato (2004), a tecnologia Z-Wave baseia-se no sistema de rede em malha, de modo que dois nós possam utilizar outros nós intermediários para efetivar sua comunicação. Caso algum nó esteja impossibilitado de receber as informações, automaticamente os dados passam a ser usados por outros pontos da rede para completar o caminho.

O alcance entre um módulo e outro pode chegar a 30 metros, se não houver obstáculos no caminho. Cada módulo atua amplificando e retransmitindo o sinal recebido até o próximo ponto da rede. Com o uso frequente e a inserção de novos nós, o sistema torna-se mais eficiente, detectando os melhores caminhos e otimizando o fluxo de informações.

Uma malha Z-Wave pode ter até 232 dispositivos conectados. Uma grande quantidade de dispositivos pode confundir uma aplicação Bluetooth ou Wi-Fi, enquanto que numa rede Z-Wave, quanto maior for esse número, mais forte e consistente a rede fica (JACOBSON, 2014).

Embora menos difundida que a tecnologia ZigBee, o Z-Wave já está presente comercialmente no Brasil, sendo utilizada em diversos sistemas de acesso, detecção de incêndios, iluminação, entre outros.

#### 2.2.4 ZigBee

A tecnologia ZigBee foi desenvolvida através de estudos realizados por diversas empresas como Motorola, Samsung e Mitsubishi que formaram a ZigBee Alliance. O objetivo desta aliança é desenvolver novas soluções sem fio para a aplicação em inúmeros produtos e permitir a comunicação entre aparelhos de diversos fabricantes (BOLZANI, 2010b). Atualmente, esta organização conta com aproximadamente 450 membros (ZIGBEE, 2015).

Assim como na tecnologia Z-Wave, o ZigBee também funciona através de uma rede tipo malha, o que torna o sistema bastante confiável. Outra vantagem importante é o baixo consumo de potência dos dispositivos.

A operação da rede funciona com três tipos de aparelhos: o coordenador, o roteador e o dispositivo final. De acordo com Bolzani (2010, p. 122), o coordenador é o ponto inicial, que define um número identificador de rede e o canal a ser utilizado para transmissão. Ele envia e também recebe informações dos roteadores que estão conectados a ele. Os roteadores, por sua vez, servem como caminho para o tráfego das informações, repetindo o sinal até que chegue aos aparelhos finais (*end device*). Estes dispositivos finais estão conectados a somente um roteador e, portanto, não podem retransmitir o sinal. Sua função é apenas receber a informação e acionar a carga desejada.

Os aparelhos da rede ZigBee baseiam-se na especificação de camada física IEEE 802.15.4. Este padrão é muito eficiente energeticamente, porém possui baixas taxas de transmissão de dados (250 kbps). Ele opera na frequência de 2,4 GHz na maioria dos países.

## 2.3 CONCLUSÃO DA ANÁLISE DAS TECNOLOGIAS EXISTENTES

Dentre as principais tecnologias analisadas, optou-se por utilizar um padrão de comunicação sem fio. O uso de tecnologias cabeadas torna-se de difícil implementação por serem necessárias grandes intervenções físicas no ambiente. Para a utilização deste tipo de tecnologia, o ideal é prever uma estrutura adequada no projeto de construção.

Considerando suas arquiteturas de rede, baixo consumo de energia, simplicidade e interoperabilidade com uma boa variedade de produtos, Z-Wave e ZigBee são as melhores opções para automação predial. As baixas taxas de transmissão quando comparadas com Bluetooth e Wi-Fi não são empecilho para este projeto, pois não é necessário transmitir um grande volume de dados, como vídeos ou imagens. A rede em malha também é um grande diferencial em termos de confiabilidade, além de aumentar o alcance da rede.

A escolha do ZigBee em detrimento do Z-Wave se deve ao fato de que o ZigBee suporta um número maior de nós, permitindo a ampliação do sistema para diversas salas de modo integrado. Além disso, o ZigBee é um protocolo aberto e por isso possui um grande número de fabricantes, o que torna a aquisição dos equipamentos mais viável financeiramente.

Além dos aspectos técnicos, verificou-se que existem outros trabalhos desenvolvidos com a tecnologia ZigBee dentro da universidade, sendo o artigo “Redes de Sensores Sem Fio com Múltiplas Antenas” (RIBEIRO, 2015) uma referência para o desenvolvimento do sistema de comunicação.

Na Tabela 1, pode-se observar um comparativo entre as principais características das tecnologias sem fio analisadas.

	<b>Wi-Fi</b>	<b>Bluetooth</b>	<b>Z-Wave</b>	<b>ZigBee</b>
<b>Alcance</b>	1000 m	100 m	30 m	100 m
<b>Consumo de Energia</b>	Médio	Baixo	Muito Baixo	Muito Baixo
<b>Complexidade de instalação</b>	Alta	Média	Baixa	Baixa
<b>Taxa de transmissão</b>	1,3 Gbps	Até 24 Mbps	100 Kbps	250 Kbps
<b>Número de nós da rede</b>	50	7	232	65535
<b>Custo</b>	Médio	Baixo	Baixo	Baixo

Tabela 1 – Comparativo entre tecnologias de comunicação sem fio

Fonte: Autoria própria.

### 3 MODELAGEM DO SISTEMA

A modelagem do sistema caracteriza as funcionalidades que o mesmo deve apresentar indicando os componentes necessários para a sua estruturação.

#### 3.1 FUNCIONALIDADES PARA O USUÁRIO

O presente trabalho tem o objetivo de otimizar o uso de uma sala de aula através da automação. O usuário poderá controlar as cargas mediante a interface de uma página web que terá as seguintes funcionalidades:

- a) Controle da iluminação, permitindo ao usuário ligar, desligar ou variar a potência das lâmpadas;
- b) Acionamento dos ventiladores com controle de velocidade;
- c) Abertura e fechamento das cortinas;
- d) Acionamento do projetor.

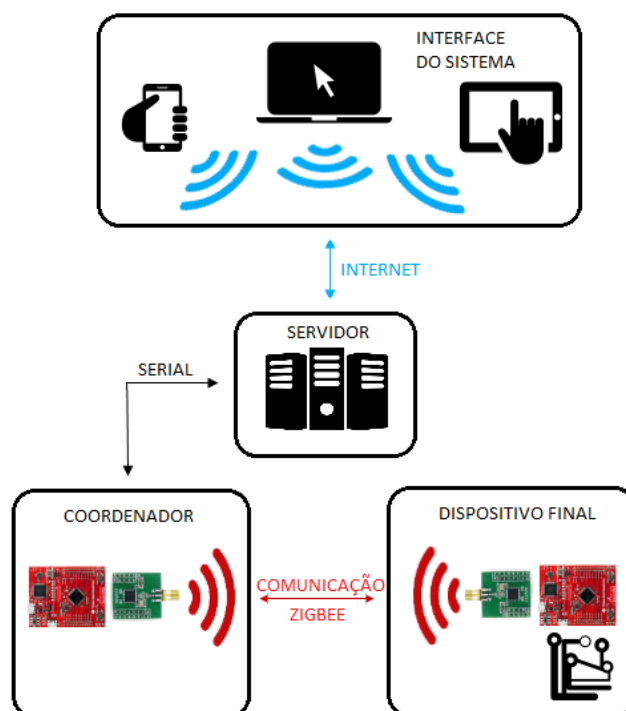
Na página web encontram-se os status dos dispositivos, tais como: potência das lâmpadas, velocidade dos ventiladores, posição das cortinas e operabilidade do projetor. A interface é simples e de fácil compreensão, o que permite o uso correto e a agilidade do sistema. Na Figura 2, pode-se observar um escopo das funcionalidades.



**Figura 2 – Ilustração das Funcionalidades do Sistema**  
**Fonte: Autoria própria.**

### 3.2 VISÃO GERAL DO PROJETO

A Figura 3 ilustra a visão geral de funcionamento do sistema.



**Figura 3 – Visão Geral do Sistema**  
**Fonte: Autoria própria**

O processo de comando de todo o sistema começa no servidor que será criado na rede interna do cliente e estará disponível na web, podendo ser acessado pelo usuário através de qualquer dispositivo com acesso a internet.

Através da página web, o usuário poderá verificar o status dos dispositivos conectados à rede ZigBee e também executar os comandos desejados, como acionamento de luzes e cortinas. Os comandos serão repassados do servidor para o microcontrolador Tiva através de comunicação serial e este, por sua vez, fará com que os comandos cheguem até o módulo coordenador ZigBee.

O módulo coordenador será o responsável por enviar as informações através da rede ZigBee para o dispositivo final. Atuando conectado ao dispositivo final, o microcontrolador Tiva será responsável por processar o comando recebido através do módulo comunicador, aplicando sobre o circuito o sinal necessário para a



realização deste comando. Deverá ainda repassar ao módulo comunicador os sinais de resposta do circuito.

Na sequência são apresentadas as características do sistema web, comunicação ZigBee e microcontrolador. O desenvolvimento da interface do sistema e dos circuitos de acionamento dos dispositivos finais será detalhado no capítulo de implementação, Capítulo 4.

### 3.3 SISTEMA WEB

#### 3.3.1 Servidor Web

O servidor web é a ferramenta principal na atual estrutura da web. Ele é responsável por receber requisições de navegadores, processar e enviar os resultados de volta ao navegador que fez a requisição (CAETANO, 2010).

Por ser gratuito, ter ampla predominância de mercado e conseqüentemente grande disponibilidade de material, o Apache torna-se a melhor opção para ser adotada neste trabalho.

O Apache HTTP Server Project é um esforço de desenvolvimento de *software* colaborativo que visa criar um sistema robusto, altamente configurável e disponibilizado livremente para implementação (APACHE, 2015).

#### 3.3.2 Linguagem de Programação

Para desenvolvimento deste projeto, necessita-se de uma linguagem de programação que permita a criação de uma página da web dinâmica e com processamento do lado do servidor, visando garantir a segurança do sistema.

Sendo usado por 81,4% de todos os sites com linguagem de programação do lado do servidor (W3TECHS, 2015), o PHP é uma linguagem de sintaxe simples e de fácil implementação que traz dinamismo para aplicações web, além de ser gratuita e de código aberto (MORATELLI, 2002).

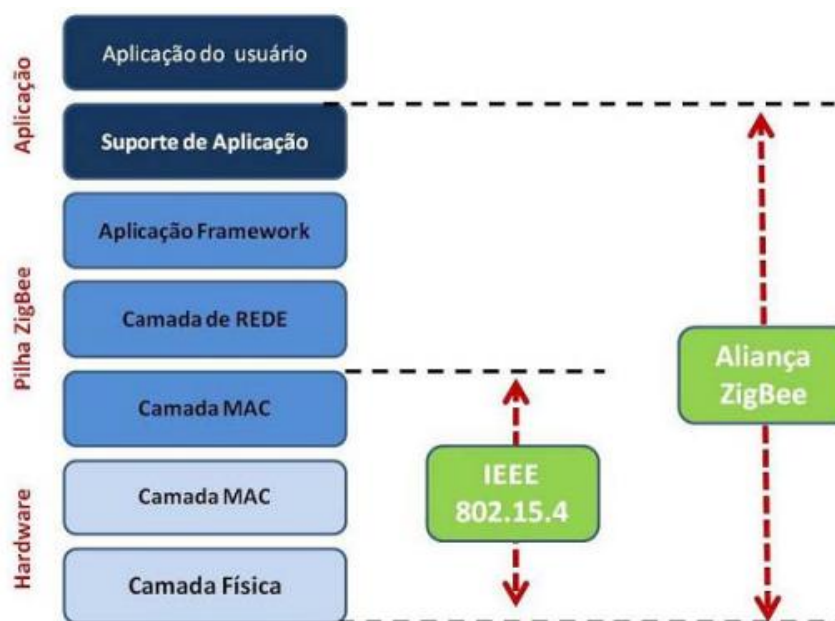
### 3.3.3 Banco de Dados

"Um sistema de banco de dados é basicamente um sistema computadorizado de manutenção de registros. O banco de dados, por si só, pode ser considerado como o equivalente eletrônico de um armário de arquivamento." (DATE, 2004)

Dentre os principais gerenciadores de bancos de dados estão o MySQL e o PostgreSQL, sendo que ambos são disponibilizados gratuitamente e possuem vários recursos em comum, apresentando pequenas diferenças de desempenho. A questão predominante para a decisão de se usar o MySQL está relacionada a menor complexidade para implementação. Sendo utilizado em conjunto com o phpMyAdmin, uma ferramenta com interface para gerenciamento, proporciona um uso ainda mais simplificado.

## 3.4 COMUNICAÇÃO ZIGBEE

Apesar de estruturado sobre o modelo OSI (*Open Systems Interconnection*) de sete camadas, a arquitetura protocolar ZigBee implementa apenas as camadas de interesse para atingir as funcionalidades da rede (WATANABE, 2008). Conforme apresentado na Figura 4, as camadas mais baixas: camada física (PHY) e camada de enlace ou de controle de acesso ao meio (MAC) são definidas pela norma IEEE 802.15.4, enquanto as camadas superiores: camada de rede (NWK) e camada de aplicação (APL), são constituídas pelo protocolo ZigBee de responsabilidade da ZigBee Alliance.



**Figura 4 – Arquitetura Protocolar do ZigBee**  
**Fonte: Moraes & Machado, (2009).**

Eschner (2011) coloca a camada física como responsável pela transmissão e recepção dos dados através de um canal de comunicação. Agrega-se a ela também as funções de ativação e desativação do transmissor de radiofrequência, detecção da energia (ED – *Receiver Energy Detection*) e indicação da qualidade da ligação (LQI – *Link Quality Indication*).

A camada MAC possui o papel de controlar o acesso aos canais RF. Para isto, mantém as estruturas de controle gerando e reconhecendo os endereços de rede, atua na associação e desassociação de dispositivos e sincronização (ESCHNER, 2011).

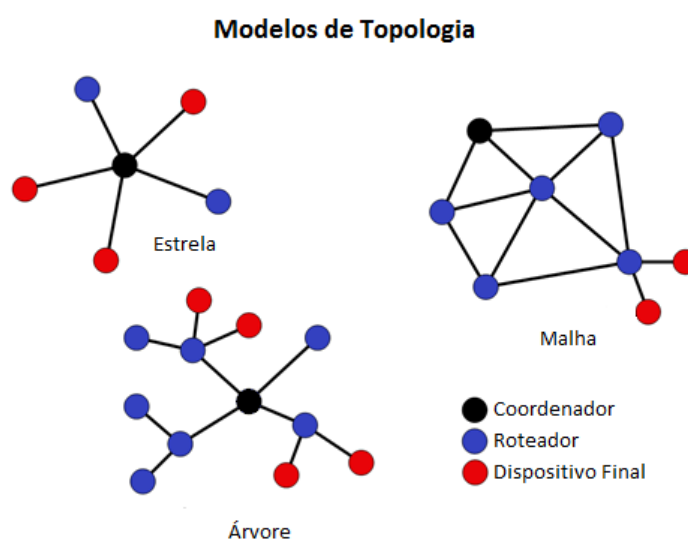
Farahani (2008) descreve como funcionalidade da camada de rede (NWK) a gestão na formação e roteamento da rede. Ela é responsável pela descoberta de novos dispositivos encontrando rotas de comunicação entre os nós. Para os coordenadores, esta camada também realiza o endereçamento dos dispositivos e estabelece a topologia da rede.

A camada de aplicação (APL) faz uma interface entre os serviços da camada de rede e a aplicação. É responsável por gerenciar a tabela de ligação, mantendo uma base de dados com os dispositivos conectados na rede. Possui importante atuação na transmissão de dados entre dispositivos, realizando a fragmentação e remontagem desses dados (ESCHNER, 2011). Também possui a incumbência de

determinar a função ao dispositivo ZigBee, definindo-o como coordenador, roteador ou dispositivo final, utilizando para isto os serviços da subcamada APS e da camada de rede (SILVA, 2011).

### 3.4.1 Topologia de rede

A tecnologia ZigBee permite grande flexibilidade no modo de implantação da rede, podendo ser adotadas as topologias em estrela, malha ou árvore, conforme apresentado na Figura 5.



**Figura 5 – Modelos de Topologias de Rede**  
**Fonte: Adaptado de Fernandes (2006).**

Na topologia estrela há apenas um coordenador interligado diretamente aos dispositivos finais. Este é um modelo simplificado e de fácil implementação, porém não oferece grande confiabilidade. Já a topologia em árvore é composta de várias sub-redes que se comunicam entre si através de elementos roteadores. Aqui é comum a utilização de mais de um elemento coordenador, cada um gerenciando uma sub-rede diferente, o que torna este modelo mais complexo.

Optou-se por utilizar a rede em estrutura de malha por ser a topologia mais confiável e que permite aos dispositivos a comunicação por diferentes caminhos. Caso haja falha em um roteador, a rede adapta-se e encontra um novo caminho, mantendo a comunicação do sistema.

### 3.4.2 Módulo CC2530

O módulo ZigBee adotado foi o CC2530 da Texas Instruments. Este módulo é um rádio baseado nos padrões da norma 802.15.4 e possui um microcontrolador 8051 acoplado. Operando na faixa de frequência de 2,4 GHz, possui 16 canais de dados e uma taxa de transferência de 250 kbps (TEXAS INSTRUMENTS, 2014).

O CC2530 tem vários modos de operação, o que o torna altamente eficiente no consumo de energia. Tempos curtos de transição entre os modos de funcionamento garantem ainda mais economia. O CC2530 é disponibilizado em quatro versões diferentes: CC2530F32/64/128/256, com 32/64/128/256 KB de memória Flash, respectivamente, e 8 KB de memória RAM. Possui ainda 21 entradas de GPIOs (*General Purpose Input Output*), sendo duas USARTs (*Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter*) e um conversor analógico digital (TEXAS INSTRUMENTS, 2014).

Este módulo apresenta baixo custo financeiro quando comparado a outras soluções equivalentes. Na Figura 6, pode-se observar o módulo a ser utilizado.



**Figura 6 – Módulo de Comunicação com Chip CC2530**  
Fonte: Waveshare (2015).

### 3.5 MICROCONTROLADOR

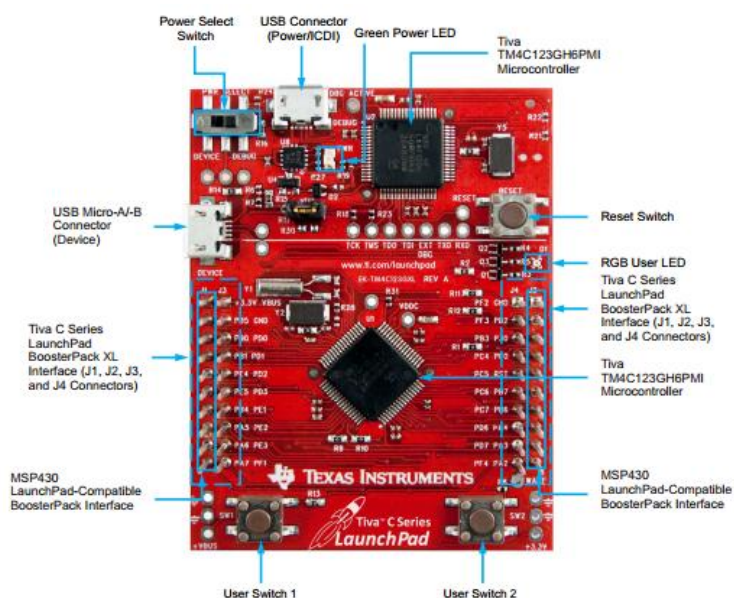
O uso de um microcontrolador se faz necessário para intermediar a comunicação entre o servidor e o módulo ZigBee coordenador e também entre os módulos ZigBee dos dispositivos finais e os circuitos de controle. A opção pelo uso

de um microcontrolador independente do módulo CC2530 busca simplificar a implantação da rede, uma vez que dessa forma pode-se desenvolver uma programação padrão para os módulos de comunicação. A personalização da programação devido às características diferentes das cargas será feita no microcontrolador que possui sintaxe mais simples.

### 3.5.1 Tiva LaunchPad TM4C123G

O microcontrolador Tiva Launchpad TM4C123G teve sua escolha motivada principalmente pelas facilidades agregadas ao projeto, sendo este do mesmo fabricante que o módulo ZigBee CC2530 e com códigos disponíveis para esta aplicação de comunicação. Além disso, os integrantes da equipe possuem um conhecimento básico sobre o seu funcionamento, uma vez que já interagiram com este dispositivo em algumas disciplinas durante o curso.

Na Figura 7, pode-se visualizar a placa de desenvolvimento do microcontrolador.



**Figura 7 – Tiva C Series TM4C123G LaunchPad Evaluation Board**  
**Fonte: Texas Instruments (2015).**

## 4 IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA

Para a implementação do sistema foi necessária a programação dos dispositivos e desenvolvimento das placas de acionamento. O primeiro passo foi estabelecer a rede ZigBee e então desenvolver o sistema web para integração dos comandos. Garantido esse funcionamento, foram efetuadas as montagens dos circuitos seguido dos testes para aperfeiçoamento das placas e do sistema, como relatado a seguir.

### 4.1 IMPLEMENTAÇÃO DA REDE ZIGBEE E SISTEMA WEB

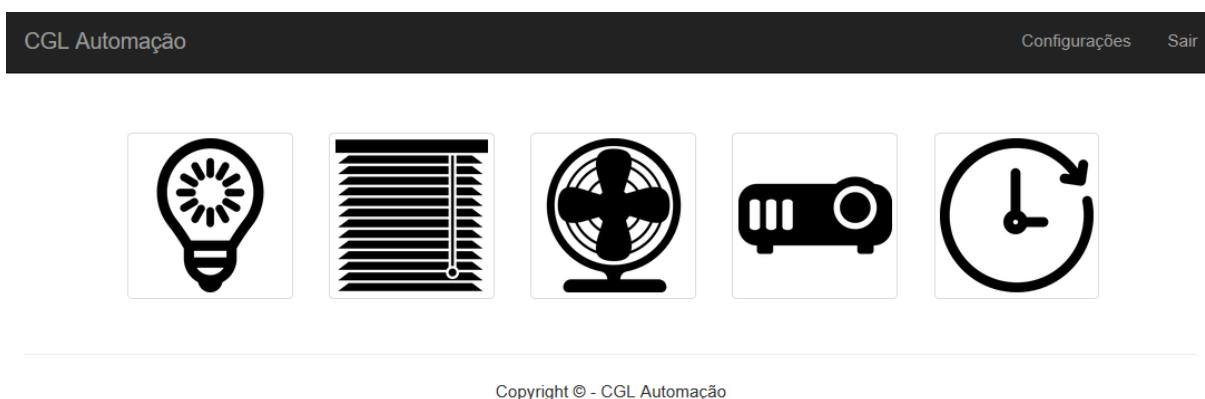
A rede ZigBee foi estabelecida através da configuração de um Tiva como módulo coordenador. Este coordenador comunica-se com o servidor através da UART0 e com o módulo de comunicação CC2530 através da UART1. Por sua vez, o módulo coordenador CC2530 utiliza a rede sem fio para comunicar-se com os demais nós da rede, onde o módulo comunicador recebe as informações e as transfere para o Tiva do dispositivo final através da UART1.

Para cada novo dispositivo conectado a rede, o servidor recebe uma sequência de caracteres que o identificam seguindo o seguinte protocolo: 4 *bytes* referentes a um endereço fixo atrelado ao Tiva do dispositivo final, 4 *bytes* de endereço dinâmico da rede ZigBee e mais 2 *bytes* que indicam o estado do dispositivo. Recebendo este endereço é possível cadastrar o novo elemento no sistema atribuindo a ele o tipo de controle dentre os disponíveis.

Após o cadastro, o dispositivo estará habilitado para ser acionado através do painel de comando. Cada acionamento efetuado é direcionado diretamente ao coordenador pelo *script* PHP. A mensagem enviada pelo coordenador aos dispositivos finais segue o seguinte protocolo: 4 *bytes* do endereço ZigBee, 2 *bytes* identificadores do tipo de comando e mais 2 *bytes* para indicar o estado do dispositivo. Posteriormente ao envio do comando para a rede, o estado do dispositivo é registrado no banco de dados mantendo assim um histórico para que em um acionamento futuro seja possível saber a situação atual de cada dispositivo.

## 4.2 INTERFACE DO SISTEMA

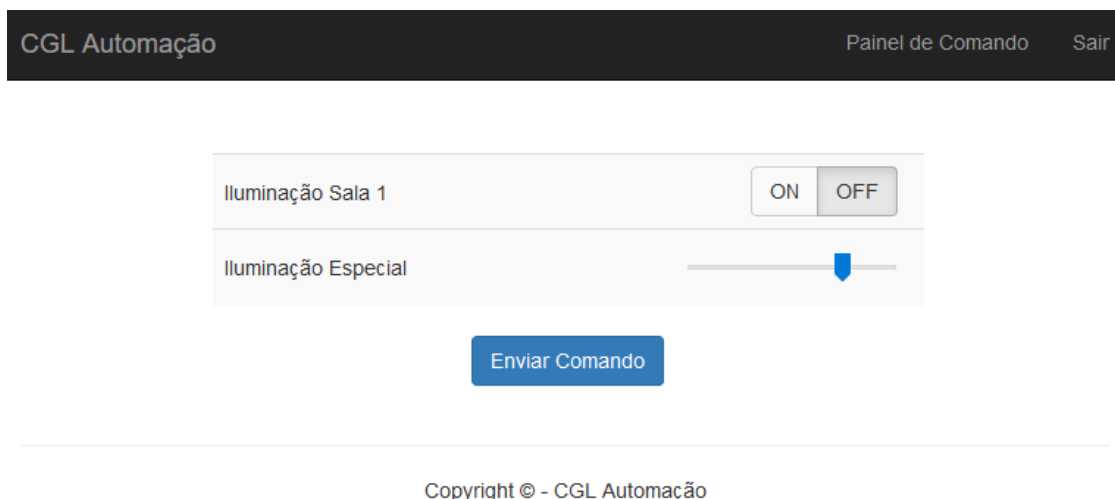
Conforme descrito no Capítulo 3, foi desenvolvida uma interface web para interação do usuário com o sistema. Após efetuar o *login*, o usuário é direcionado para a tela demonstrada na Figura 8. Nela, há a possibilidade de escolher o tipo de carga que se deseja acionar entre iluminação, cortinas, ventiladores e projetor, ou ainda verificar se a sala está em uso acessando o status do sensor de presença.



**Figura 8 – Tela do Painel de Comando**  
**Fonte: Autoria própria.**

Após selecionar o ícone referente à iluminação, o usuário é direcionado para a tela demonstrada na Figura 9, onde é possível efetuar dois tipos de comando: liga/desliga e dimerização. Na opção de dimerização é possível escolher a intensidade com que a mesma será acionada.

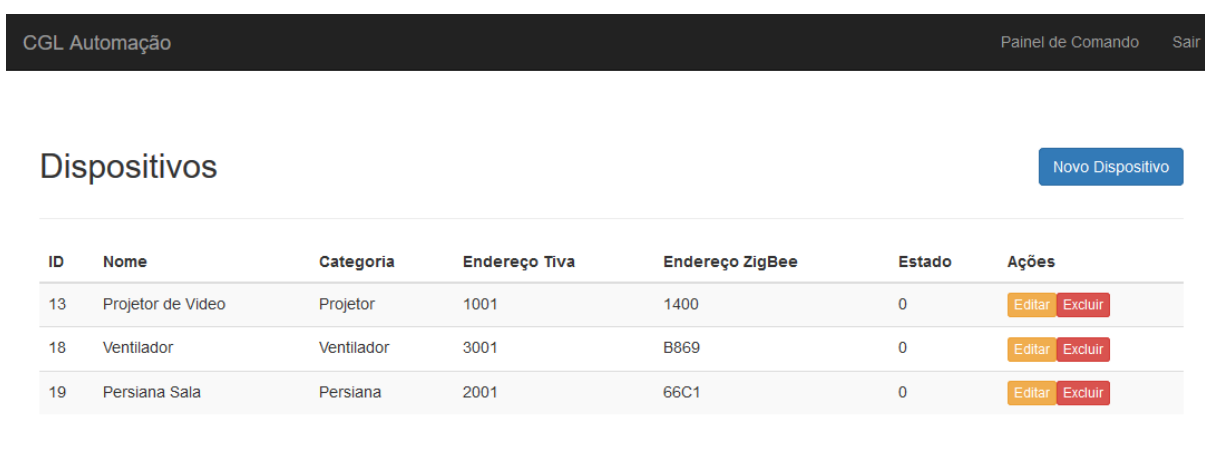




**Figura 9 – Tela do Controle de Iluminação**  
**Fonte: Autoria própria.**

Para as demais cargas, a tela de controle é semelhante à da iluminação, sendo que na tela da persiana há um botão para controlar o giro das aletas e outro para abertura e fechamento. Na tela de comando do projetor, há apenas a opção liga/desliga.

No painel de comando também existe a opção de acesso às configurações. Ao acessar esta opção, o usuário visualiza a tela demonstrada na Figura 10.



**Figura 10 – Tela de Configurações**  
**Fonte: Autoria própria.**

Aqui é possível visualizar todos os dispositivos cadastrados no sistema, bem como os endereços e o estado de cada um deles. Também é possível excluir ou cadastrar um novo dispositivo na rede.

### 4.3 MÓDULO COORDENADOR

Foi desenvolvido um protótipo para o módulo coordenador conforme Figura 11, sendo este constituído apenas por um microcontrolador Tiva e um módulo de comunicação CC2530.



**Figura 11 – Módulo Coordenador ZigBee**  
**Fonte: Autoria própria.**

### 4.4 ACIONAMENTO DA ILUMINAÇÃO

A iluminação é acionada através do circuito apresentado na Figura 12. O circuito tem como componente principal o TRIAC, que atua como interruptor e permite regular a potência aplicada na carga através da variação do seu ângulo de disparo.

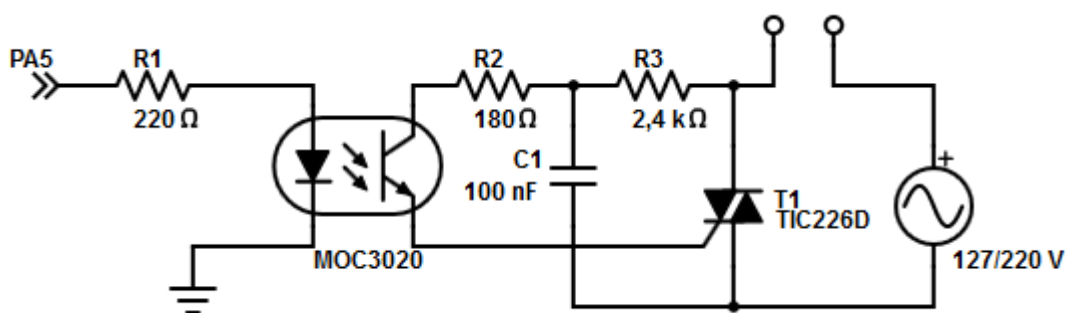


Figura 12 – Circuito de Acionamento de Cargas AC  
Fonte: Autoria própria.

Para o controle do ângulo de disparo do TRIAC, faz-se necessária a utilização da técnica conhecida como *Zero Crossing* que consiste em identificar o momento em que a onda senoidal da rede de alimentação passa pelo valor de tensão igual a zero. Essa identificação permite que o disparo ocorra de forma sincronizada, diminuindo interferências e a geração de harmônicos. O circuito detector de *Zero Crossing* é demonstrado na Figura 13.

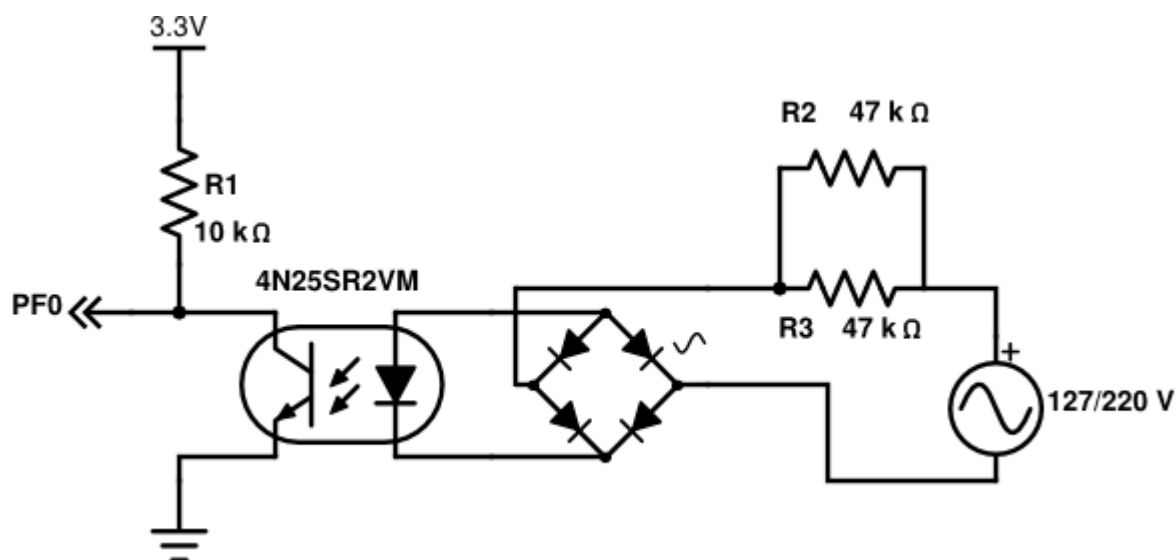


Figura 13 – Circuito Detector de Zero Crossing  
Fonte: Autoria própria.

Na Figura 14 pode-se observar a confecção em uma placa de circuito impresso.



**Figura 14 – Placa de Circuito Impresso**  
**Fonte: Autoria própria.**

Na Figura 15, pode-se visualizar como os circuitos foram alocados dentro do protótipo.



**Figura 15 – Circuito no Interior do Protótipo**  
**Fonte: Autoria própria.**

A diferenciação entre os acionamentos de liga/desliga e a dimerização da iluminação dar-se-á da seguinte forma: para ligar, o disparo do TRIAC deverá ocorrer no instante zero, aplicando máxima potência à carga, e enquanto desligado,

o disparo não ocorre; na dimerização, o disparo é programado para ocorrer durante o ciclo da onda, proporcionalmente ao percentual de potência que se deseja aplicar à carga.

Para a utilização da dimerização, é necessário que se utilize lâmpadas de LED (*Light Emitter Diode*) dimerizáveis ou lâmpadas halógenas.

#### 4.5 ACIONAMENTO DOS VENTILADORES

O acionamento dos ventiladores utiliza um circuito similar ao apresentado para o controle da iluminação. Assim como na dimerização da iluminação, a velocidade é ajustada de acordo com a potência aplicada.

#### 4.6 ACIONAMENTO DAS CORTINAS

Para o acionamento automático das cortinas, foi desenvolvido um protótipo com uma persiana vertical. Este tipo de cortina é bastante utilizado em ambientes comerciais e sua automação torna-se simples, pois dispõe de cordões para movimentação que podem ser acoplados facilmente aos motores através de polias.

O objetivo é controlar a abertura e o fechamento da persiana e também o giro das aletas. Este controle é executado através de dois motores de passo, pois esse tipo de motor permite maior precisão nos movimentos.

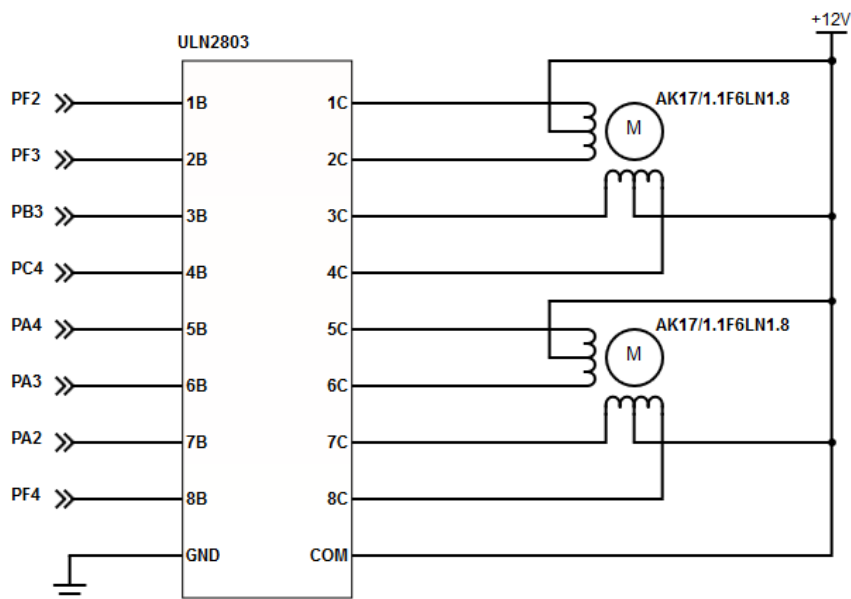
Os motores escolhidos foram do modelo AK17/1.10F6LN1.8 com 1.1 kgf.cm de torque, dimensionados de acordo com a necessidade de força aplicada e alimentados em 12 Vcc. A Figura 16 mostra os motores utilizados.



**Figura 16 – Motores de Passo**  
**Fonte: Autoria própria.**

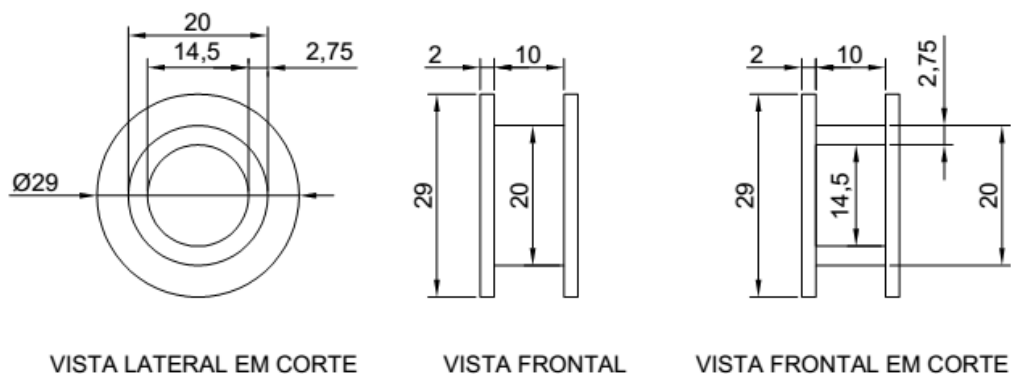
O acionamento desses motores é feito com o uso de um circuito integrado (CI) ULN2803. Este CI incorpora oito transistores Darlington que, em conjunto com um diodo, permitem um ganho de corrente para o acionamento da carga e garantem a proteção contra o retorno de corrente. Ele opera com uma tensão de até 50 Vcc e 500 mA de corrente.

A Figura 17 demonstra o esquema de ligação entre o ULN2803 e os motores. Nela também estão representadas as portas do microcontrolador utilizadas para o acionamento.



**Figura 17 – Esquema de Ligação dos Motores**  
**Fonte: Autoria própria.**

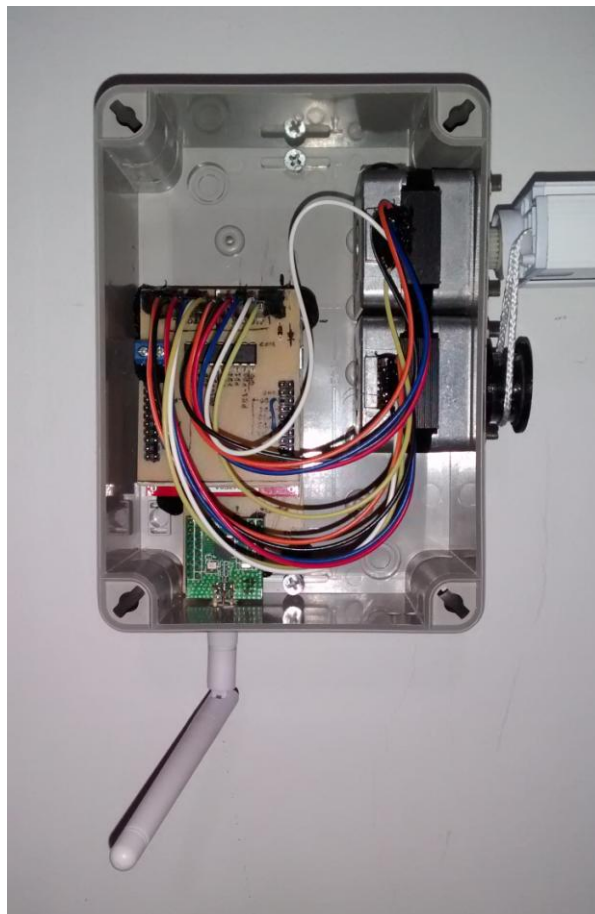
Para o acoplamento dos motores à persiana, foi necessária a utilização de uma polia, projetada conforme Figura 18 e posteriormente fabricada através de uma impressora 3D.



**Figura 18 – Projeto Polia**  
**Fonte: Autoria própria.**

A montagem do protótipo para acionamento da persiana necessitou de um gabinete capaz de comportar o circuito de acionamento e também os dois motores de passo. Para o correto acoplamento dos eixos dos motores, foi necessária uma

medição cuidadosa para furação do gabinete e ajuste da distância deste para a persiana. O resultado final pode ser visualizado na Figura 19.



**Figura 19 – Acoplamento Motores – Persiana**  
Fonte: Autoria própria.

Através de testes, verificou-se a quantidade de passos necessária para mover a persiana até a posição desejada. Estes testes foram realizados com a estrutura da persiana completamente montada, conforme demonstrado na Figura 20.





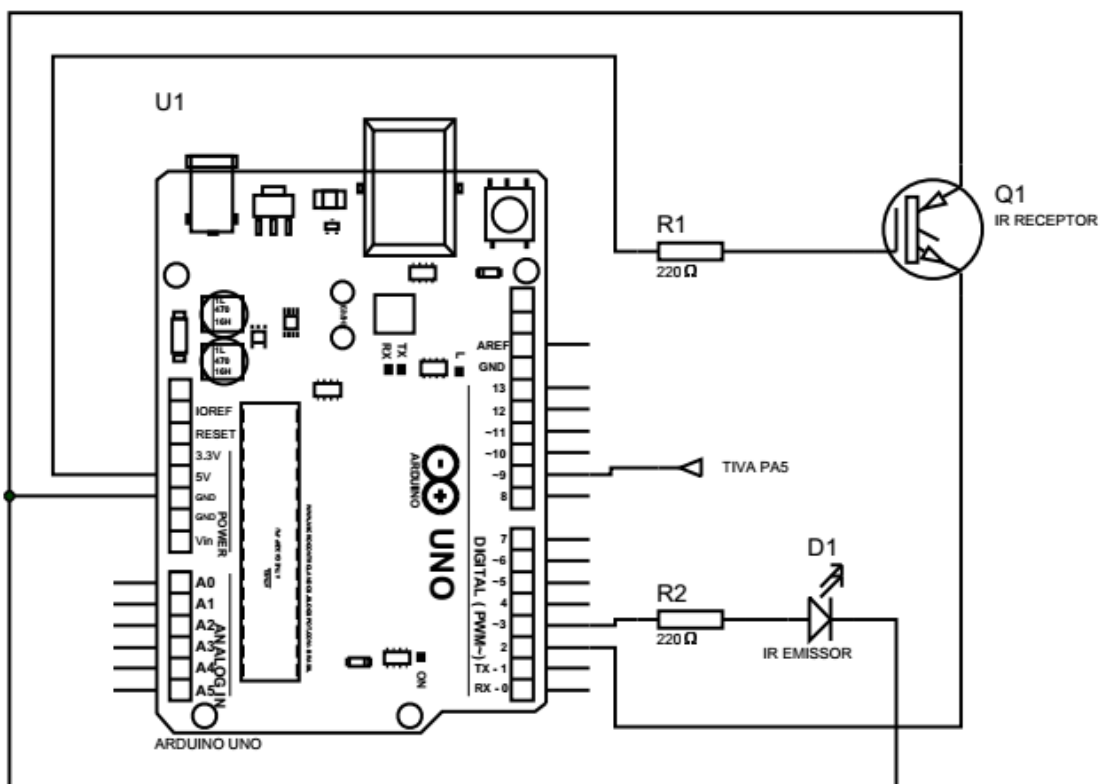
**Figura 20 – Persiana Instalada**  
**Fonte: Autoria própria**

#### 4.7 ACIONAMENTO DO PROJETOR

O projetor multimídia utilizado é o BENQ MX660. O acionamento liga/desliga deste dispositivo foi feito através de uma interface de Infravermelho. O circuito de acionamento é simples, constituído apenas de um receptor IR, utilizado para receber o código de comando do controle remoto que o projetor já possui, e um emissor IR para transmitir esse código.

A principal dificuldade para implantação deste controle está relacionada ao código do programa que deverá estar preparado para decodificar o sinal emitido pelo controle remoto do projetor, segundo os protocolos utilizados para esta aplicação (NEC, RC5, RC6 e outros). Para evitar problemas de compatibilidade entre os diferentes protocolos, houve a tentativa de utilização do método de replicação do sinal. Através da leitura dos pulsos emitidos pelo controle remoto, seria possível identificar os sinais altos e baixos e também o período de duração dos pulsos e, dessa forma, retransmitir o sinal através do emissor. Apesar de inúmeras tentativas com esse método, não se obteve resultados satisfatórios. Desta forma, optou-se por utilizar um microcontrolador auxiliar, o Arduino, pois o mesmo já possui uma

biblioteca específica – IRremote – para esse tipo de acionamento. Neste caso, o sinal de acionamento é copiado do controle remoto do projetor através de um receptor infravermelho plugado diretamente no Arduino. Então, o microcontrolador Tiva, ao receber o sinal emitido pela rede ZigBee, ativa uma de suas portas para acionar o circuito controlado pelo Arduino, conforme indicado na Figura 21.



**Figura 21 – Circuito de Acionamento Projetor**  
Fonte: Autoria própria.

Na Figura 22 é possível visualizar o protótipo montado para acionamento do projetor.



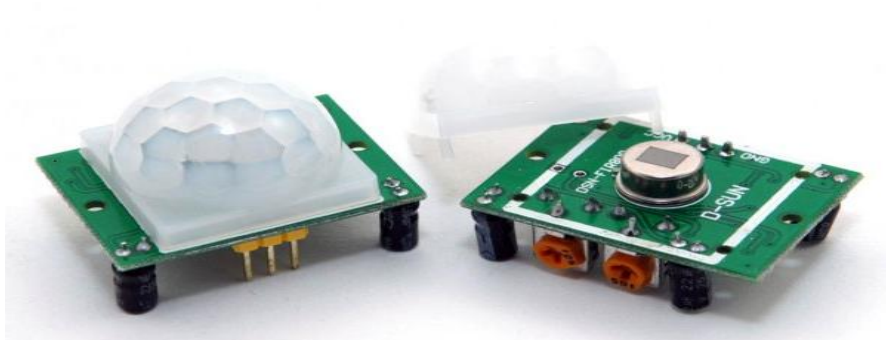
**Figura 22 – Protótipo Projetor**  
**Fonte: Autoria própria.**

#### 4.8 SENSOR DE PRESENÇA

Para otimização do sistema em relação ao consumo de energia, teve-se a ideia de utilizar um sensor de presença que seria responsável por identificar se a sala está sendo utilizada. Caso fosse verificado que não há presença de usuários no ambiente, o sistema deveria desligar todos os dispositivos, mantendo-se desligados até que houvesse novo comando de acionamento.

Da maneira que o sistema foi estruturado, utilizando páginas PHP, não é possível uma monitoração contínua do sensor de presença sem interferência do usuário, sendo isto percebido depois que o sistema estava em fase final de desenvolvimento. Em contrapartida, foi desenvolvida uma tela com acesso no painel de comando em que é possível monitorar se a sala está sendo utilizada ou não.

Foi utilizado um módulo sensor de presença HC-SR501, apresentado na Figura 23, que é constituído de um sensor PIR (piroelétrico) com raio de detecção de três a sete metros, suficiente para aplicação em uma sala de aula. A escolha deste dispositivo deve-se ao fato de sua tensão de alimentação ser de 4,5 – 20 V e a potência de consumo muito baixa, permitindo que seja alimentado através de bateria.



**Figura 23 – Sensor HC-SR501**  
**Fonte: Squirrel-Labs (2015).**

Para resolver o problema de monitoração contínua do sensor, uma opção é utilizar uma linguagem de programação, como o Python, que permite que scripts sejam executados em segundo plano sem que haja necessidade de uma página do sistema para fazer a monitoração.

#### 4.9 ORÇAMENTO DOS EQUIPAMENTOS E COMPONENTES

Os equipamentos e componentes utilizados na montagem deste trabalho foram comprados em lojas físicas, lojas virtuais e também importados. Na Tabela 2 estão demonstrados os preços de cada produto bem como o dispêndio com frete e taxas alfandegárias.

Itens	Quantidade	Preço Unitário (R\$)	Taxa de Importação (R\$)	Frete (R\$)	Total (R\$)
Tiva Launchpad TM4C123G	6	45,96	27,58	-	441,24
Módulo ZigBee CC2530	6	45,27	36,12	-	488,34
Motor de Passo AK17/1.10F6LN1.8	2	20,00	-	19,89	59,89
Persiana	1	125,00	-	-	125,00
Lâmpada Halógena	1	6,99	-	-	6,99
Componentes Eletrônicos	global	132,60	-	-	132,60
Placa cobreada de fenolite	10	3,50	-	-	35,00
Caixa pequena para montagem	4	9,35	-	-	37,40
Caixa grande para montagem	1	13,88	-	-	13,88
Sensor de Presença HC-SR501	1	8,40	-	-	8,40
Ferragens e Parafusos	global	13,70	-	-	13,70
<b>TOTAL</b>	-	424,65	63,70	19,89	1362,44

**Tabela 2 – Orçamento**  
**Fonte: Autoria própria.**

## 5 CONCLUSÃO

A automação predial é um ramo da tecnologia que vem crescendo muito nos últimos anos. Um prédio automatizado gera conforto e praticidade para os usuários, além de resultar em uma considerável economia de energia. O intento deste projeto é trazer esta realidade para o ambiente acadêmico.

Com a análise das características de uma sala de aula, verificou-se a possibilidade de automação dos equipamentos nela existentes. Na modelagem do projeto, desenvolveram-se *drivers* de acionamento para cada um dos dispositivos: cortinas, projetor, ventilador e iluminação.

Para garantir um sistema robusto e com poucas alterações na estrutura física do ambiente, optou-se por utilizar uma rede sem fio com tecnologia ZigBee. A escolha de uma interface web para acionamento busca facilitar ainda mais a utilização dos equipamentos ligados à rede.

Durante o desenvolvimento do projeto enfrentou-se dificuldades para a implementação de alguns circuitos. A solução implementada para o acionamento do projetor não se mostra a melhor alternativa, pois há o acúmulo de vários microcontroladores para a execução de apenas uma tarefa. Porém, devido ao tempo escasso não foi possível aperfeiçoar este acionamento. Muito do tempo de desenvolvimento do projeto foi utilizado no ajuste do circuito de zero crossing, pois essa detecção demandou a configuração de interrupções e *timers* no código de acionamento que não eram triviais para a equipe. A utilização do sensor de presença também pode ser melhorada, porém demandava o aprendizado de uma nova linguagem de programação, o que seria inviável devido aos prazos de conclusão do projeto.

Apesar das dificuldades o projeto foi concluído com sucesso, pois a rede ZigBee foi estabelecida e a interface com o usuário foi realizada de maneira a proporcionar um fácil uso do sistema, permitindo o acionamento das cargas quase simultaneamente ao envio do comando.

## 5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com base nos resultados obtidos, sugere-se a realização dos seguintes trabalhos:

a) desenvolvimento da rede ZigBee através do processador 8051 embarcado no CC2530, dispensando a utilização do microcontrolador auxiliar, neste caso o Tiva;

b) aperfeiçoamento do sistema para que possa monitorar continuamente o ambiente, possibilitando o desligamento de cargas como proposto inicialmente;

c) melhorar o acionamento via infravermelho do projetor dispensando o uso de um terceiro microcontrolador;

d) ampliação do sistema para outros ambientes, tais como: escritórios e residências.

## REFERÊNCIAS

APACHE. **Apache HTTP Server Project**. Disponível em:  
<[https://httpd.apache.org/ABOUT\\_APACHE.html](https://httpd.apache.org/ABOUT_APACHE.html)>. Acesso em: 25 de setembro de 2015.

AURESIDE. **Objetivos**. Disponível em:  
<<http://www.aureside.org.br/quemsomos/default.asp?file=beneficios.asp&menu=quemsomos>>. Acesso em 02 de maio de 2015.

BOLZANI, Caio A. M. **Desmistificando a Domótica**: Aureside, 2007. Disponível em:  
<<http://www.aureside.org.br/artigos/default.asp?file=01.asp&id=74>>. Acesso em 02 de maio de 2015. (a)

\_\_\_\_\_. **Análise de Arquiteturas e Desenvolvimento de uma Plataforma para Residências Inteligentes**. 2010. 155f. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos, 2010. Disponível em:<<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3142/tde-12082010-112005/pt-br.php>>. Acesso em 01 de novembro de 2015. (b)

BRAGA, Laura Caixeta. **Estudos Preliminares para Projeto de Automação Predial com Eficiência Energética**.2007. Disponível em:  
<[http://www.ppgee.ufmg.br/documentos/PublicacoesDefesas/713/LauraBraga\\_CBEE\\_2007.pdf](http://www.ppgee.ufmg.br/documentos/PublicacoesDefesas/713/LauraBraga_CBEE_2007.pdf)>. Acesso em 05 de abril de 2015.

CAETANO, Gustavo A. de. **Sistema Controlador de Iluminação de Ambientes Através de Interface Computadorizada**, 2010. Disponível em:  
<<http://www.repositorio.uniceub.br/bitstream/123456789/3233/2/20516217.pdf>>. Acesso em: 26 de setembro de 2015.

CCEE. **Preços**. Disponível em:  
<[http://www.ccee.org.br/portal/faces/oquefazemos\\_menu\\_lateral/precos?\\_afLoop=860346211563746#%40%3F\\_afLoop%3D860346211563746%26\\_adf.ctrl-state%3D1207nev9b\\_50](http://www.ccee.org.br/portal/faces/oquefazemos_menu_lateral/precos?_afLoop=860346211563746#%40%3F_afLoop%3D860346211563746%26_adf.ctrl-state%3D1207nev9b_50)>. Acesso em 18 de maio de 2015.



DATE, Christopher J. **Introdução a sistemas de bancos de dados**. Elsevier Brasil, 2004.

DIAS, César L. de A.; PIZZOLATO, Nélio D. **Domótica: Aplicabilidade e Sistemas de Automação Residencial**, VÉRTICES, v. 6, n. 3, set./dez. 2004. Disponível em <<http://essentiaeditora.iff.edu.br/index.php/vertices/article/viewFile/1809-2667.20040015/86>>. Acesso em 25 de outubro de 2015.

DOMINGUES, Ricardo G. **A Domótica como Tendência na Habitação: Aplicação em Habitações de Interesse Social com Suporte aos Idosos e Incapacitados de metodologia**, 2013. Disponível em: <[www.dissertacoes.poli.ufrj.br/dissertacoes/dissertpoli988.pdf](http://www.dissertacoes.poli.ufrj.br/dissertacoes/dissertpoli988.pdf)>. Acesso em 13 de abril de 2015.

ESCHNER, Rodrigo H. **Sistema de Automação Residencial Baseado em Sensores ZigBee**, 2011. 38f. Trabalho de Diplomação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011. Disponível em <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/37175/000819983.pdf?sequence=1>> Acesso em 02 de novembro de 2015.

FARAHANI, Shahin. **ZigBee Wireless Networks and Transceivers**. Burlington: Newnes, 2008.

INFOWESTER, **O que é Wi-Fi (IEEE 802.11)?**. Disponível em <<http://www.infowester.com/wifi.php>>. Acesso em 27 de outubro de 2015.

FERNANDES, Ivo. **ZigBee**. Disponível em <<http://paginas.fe.up.pt/~ee99207/Tecnologias/WPAN/Zigbee.html>>. Acesso em 17 de novembro de 2015.

JACOBSON, Julie. **Can Wi-Fi or Bluetooth Supplant ZigBee or Z-Wave for Home Automation?**, 2014. Disponível em <[http://www.cepro.com/article/can\\_wi-fi\\_or\\_bluetooth\\_supplant\\_zigbee\\_or\\_z-wave\\_for\\_home\\_automation/](http://www.cepro.com/article/can_wi-fi_or_bluetooth_supplant_zigbee_or_z-wave_for_home_automation/)>. Acesso em 30 de outubro de 2015.

MORAES, Ivan R. T. de; MACHADO, Paulo H. E. **Integração dos Protocolos ZigBee e Modbus na Automação Industrial**, 2009. Disponível em

<<http://www.tmors.com.br/Zigbus/Arquivos/TCC.pdf>>. Acesso em 09 de junho de 2016.

MORATELLI, Alexandre dos S. **Sistema de Gerenciamento de Conteúdo para Ambiente WEB**, 2002. Disponível em: <<http://www.repositorio.uniceub.br/bitstream/123456789/3233/2/20516217.pdf>>. Acesso em: 26 de setembro de 2015.

NAKAYAMA, Cláudio M. **Sistema de comunicação bluetooth voltada para automação residencial**. 2012. 61 f. Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Engenharia Elétrica) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2012. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/120142>>. Acesso em 31 de outubro de 2015.

NETCRAFT. **September 2015 Web Server Survey**. Disponível em: <<http://news.netcraft.com/archives/2015/09/16/september-2015-web-server-survey.html#more-21619>>. Acesso em: 25 de setembro de 2015.

NITAHARA, Akemi. **Crise no setor elétrico não foi causada por falta de água, diz especialista**. Disponível em: <<http://www.ebc.com.br/noticias/economia/2015/08/crise-no-setor-eletrico-nao-foi-causado-por-falta-de-agua-diz-especialista>>. Acesso em: 13 de abril de 2016.

NUNES, Renato J. C. **Análise Comparativa de Tecnologias para Domótica**, 2002. Disponível em <<http://www.domobus.net/docs/02-JEACI02.pdf>>. Acesso em 25 de outubro de 2015.

RIBEIRO, Lucas E.; BRANTE, Glauber; MORITZ, Guilherme L.; MONEGO, Hermes I. Del. **Redes de Sensores Sem Fio com Múltiplas Antenas**, 2015.

SILVA, Danise Suzy da. **Desenvolvimento e Implementação de um Sistema de Supervisão e Controle Residencial**, 2009. Disponível em: <[http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select\\_action=&o\\_obra=153771](http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select_action=&o_obra=153771)>. Acesso em 18 de março de 2015.

SILVA, Leandro H. de S. **Desenvolvimento de uma Rede de Sensores Sem Fio Utilizando ZigBee para Aplicações Diversas**. 2011. 80f. Trabalho de Conclusão

de Curso. (Engenharia da Computação). Universidade de Pernambuco, 2011. Disponível em <[http://tcc.ecomp.poli.br/20111/monografia-Leandro\\_Honorato\\_VersaoFinal.pdf](http://tcc.ecomp.poli.br/20111/monografia-Leandro_Honorato_VersaoFinal.pdf)>. Acesso em 02 de novembro de 2015.

SOUZA, Stéfano A. De. **Introdução aos microcontroladores ARM Cortex-M4 Tiva C Series da Texas Instruments**. 2015. 61f. Universidade Federal de Juiz de Fora, 2015. Disponível em <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAgv0gAJ/introducao-aos-microcontroladores-arm-cortex-m4-tiva-c-series-texas-instruments>>. Acesso em 02 de novembro de 2015.

SQUIRREL-LABS. **HC-SR501 PIR Sensor Module**. Disponível em <<https://www.squirrel-labs.net/modules/spatial/movement/hc-sr501-pir-sensor-module-x-2-infrared-body-motion-sensing.html#page=1>>. Acesso em 18 de novembro de 2015.

TEXAS INSTRUMENTS. **CC253x System-on-Chip Solution for 2.4-GHz IEEE 802.15.4 and ZigBee® Applications**. Disponível em <<http://www.ti.com/lit/ug/swru191f/swru191f.pdf>>. Acesso em 02 de novembro de 2015.

TEXAS INSTRUMENTS. **Tiva™ C Series TM4C123G LaunchPad Evaluation Board**. Disponível em <<http://www.ti.com/lit/ug/spmu296/spmu296.pdf>>. Acesso em 02 de novembro de 2015.

W3TECHS. **Usage of Server-Side Programming Languages for Websites**. Disponível em: <[http://w3techs.com/technologies/overview/programming\\_language/all](http://w3techs.com/technologies/overview/programming_language/all)>. Acesso em: 27 de setembro de 2015.

WATANABE, Ana T. Y. **Monitoramento, Controle e Parametrização de Eletrodomésticos numa Rede sem Fio via Interface Virtual Remota**. 2008. 180f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade do Estado de Santa Catarina, 2008. Disponível em <[http://www.tede.udesc.br/tde\\_busca/arquivo.php?codArquivo=3024](http://www.tede.udesc.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=3024)>. Acesso em 01 de novembro de 2015.

WAVESHARE. **CC2530 Eval Kit**. Disponível em <<http://www.waveshare.com/cc2530-eval-kit.htm>>. Acesso em 15 de novembro de 2015.

ZIGBEE ALLIANCE. **Zigbee**. Disponível em <<http://www.zigbee.org/>>. Acesso em 31 de outubro de 2015.

## APÊNDICE A - Códigos Fonte

Link de acesso para os códigos fonte: <https://goo.gl/Zvti5O>