

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO DE ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

CRISTIAN LOTTICI VALLE
VICTOR HUGO EVANGELISTA SCARSI

**IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE AUTOMAÇÃO PREDIAL CONTROLADO
VIA WEB COM COMUNICAÇÃO WIRELESS ENTRE DISPOSITIVOS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**CURITIBA
2015**

CRISTIAN LOTTICI VALLE
VICTOR HUGO EVANGELISTA SCARSI

**IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE AUTOMAÇÃO PREDIAL CONTROLADO
VIA WEB COM COMUNICAÇÃO WIRELESS ENTRE DISPOSITIVOS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado à disciplina de TCC do curso de Engenharia de Controle e Automação do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Controle e Automação
Orientador: Prof. Dr. Guilherme Moritz

**CURITIBA
2015**

Cristian Lottici Valle
Victor Hugo Evangelista Scarsi

Implementação de um Sistema de Automação Predial Controlado Via Web Com Comunicação Wireless Entre Dispositivos

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

Curitiba, 01 de julho de 2015.

Prof. Paulo Sérgio Walenia, Esp.
Coordenador de Curso
Engenharia de Controle e Automação

Prof. Marcelo de Oliveira Rosa, Dr
Responsável pelos Trabalhos de Conclusão de Curso
de Engenharia de Controle e Automação do DAELT

ORIENTAÇÃO

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

BANCA EXAMINADORA

Guilherme Luiz Moritz, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Eduardo de Freitas Rocha Loures, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Amauri Amorin Assef, Dr
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

A folha de aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia de Controle e Automação.

RESUMO

VALLE, Cristian L. SCARSI, Victor H. E. **Implementação de um Sistema de Automação Predial Controlado Via Web Com Comunicação Wireless Entre Dispositivos**. 2015. 50 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia de Controle e Automação), Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2015.

O presente trabalho apresenta o desenvolvimento de uma solução em automação residencial focada em controle de iluminação e de acesso através do acionamento de lâmpadas e motores e leitura de sensores. O sistema em questão possui como premissas a manipulação via *web* e o uso de uma rede de comunicação sem fio, visando flexibilidade e baixa demanda de infraestrutura. Ao longo do texto são analisadas tecnologias de rede sem fio que viabilizem a implementação do sistema de modo a atender os seus requisitos. Apresenta-se a arquitetura projetada com os recursos: servidor *web* em Windows, Apache, MySQL e PHP, integrado com rede sem fio em ZigBee CC2530 para comando de circuitos de dimerização de lâmpadas, acionamentos via relé e controle de motores DC por ponte H. Por fim, são apresentados os resultados obtidos na implementação do sistema.

Palavras chave: Automação Predial. Comunicação Sem Fio. ZigBee.

ABSTRACT

VALLE, Cristian L. SCARSI, Victor H. E. **Implementation of a Home Automation System With Web Control and Wireless Communication Among Devices.**2015. 50 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia de Controle e Automação), Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2015.

This paper presents the development of a home automation solution focused on lighting and access control through the actuation of lamps and DC motors. This system must allow *web* manipulation and must use a *wireless* network connecting all devices. These requirements are necessary to decrease infrastructure needs and to increase flexibility. Within this paper some *wireless* technologies are analyzed in a way to choose the best network in order to allow the system to fulfill its goals. Finally, the system's architecture is presented with the *wireless* network based on ZigBee CC2530 and the *web* server based on Windows, Apache, MySQL and PHP. Moreover, are also introduced the dimmer circuits for lamps, actuation through relay and through H bridge for DC motors. Finally, the obtained results from the implemented system are presented.

Keywords: Home automation. Wireless Communication. ZigBee.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Equipamentos Lutron	16
Figura 2 – Módulo IHC	18
Figura 3 – Cabos e Infraestrutura do IHC	18
Figura 4 – iSimplex <i>Home Server</i>	19
Figura 5 – Requisitos do Usuário	20
Figura 6 – Resumo Esquemático da Arquitetura do Sistema	22
Figura 7 – Rede ZigBee	25
Figura 8 – Estrutura resumida das tecnologias adotadas	30
Figura 9 – Circuito de Dimerização de Iluminação	32
Figura 10 – Circuito de Acionamento On/Off de Iluminação	32
Figura 11 – Circuito de Acionamento de Motores	33
Figura 12 – Diagrama de Blocos da Implementação da Rede Wireless	35
Figura 13 – Conexões de Hardware do ZNP	35
Figura 14 – Protocolo de Comunicação	36
Figura 15 – Módulos de Acionamento Construídos	37
Figura 16 – Diagrama de Blocos do Sistema Web.....	38
Figura 17 – Diagrama relacional do banco de dados	38
Figura 18 – Interface Principal do Sistema Web	40
Figura 19 – Tabela de Objetos do Sistema Web.....	40
Figura 20 – Tabela de Objetos da Rede Zigbee.....	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADC	<i>Analog to Digital Conversion</i>
APS	<i>Application Support Sub-Layer</i>
BD	Banco de Dados
CI	Circuito Integrado
DC	<i>Direct Current</i>
DSP	<i>Digital Signal Processing</i>
FTP	<i>File Transfer Protocol</i>
GPIO	<i>General Purpose Input/Output</i>
HTML	<i>Hypertext Markup Language</i>
HTTP	<i>Hypertext Transfer Protocol</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
IHC	<i>Intelligent Home Control</i>
I/O	<i>Input/Output</i>
LQI	<i>Link Quality Threshold</i>
MOSFET	<i>Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor</i>
NWK	<i>Network Layer</i>
PAN	<i>Personal Area Network</i>
PHP	<i>Hypertext Preprocessor</i>
PLC	<i>Programmable Logic Controller</i>
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
RAM	<i>Random-Access Memory</i>
RERR	<i>ZigBee Rout Request</i>
RREP	<i>ZigBee Rout Reply</i>
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
TCP/IP	<i>Transmission Control Protocol/Internet Protocol</i>
TI	Texas Instruments
UART	<i>Universal Asynchronous Receiver/Transmitter</i>
USART	<i>Universal Synchronous/Assynchronous Receiver/Transmitter</i>
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
ZNP	<i>ZigBee Network Processor</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1 TEMA DE PESQUISA	10
1.1.1 Delimitação do Tema	12
1.2 PROBLEMA E PREMISSAS	12
1.3 OBJETIVOS	13
1.3.1 Objetivo Geral	13
1.3.2 Objetivos Específicos	13
1.4 JUSTIFICATIVA	14
1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	15
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO	15
2 ESPECIFICAÇÕES DO PROJETO	17
2.1 - ESTUDO DE MERCADO	17
2.1.1 - Lutron®	17
2.1.2 - Intelligent Home Control (IHC) - Schneider Electric™	18
2.1.4 - iSimplex	19
2.1.4 - Conclusões Sobre o Estudo de Mercado	20
2.2 - REQUISITOS DO SISTEMA	20
2.2.1 - Funcionalidades Oferecidas ao Usuário	21
2.2.2 - Requisitos Técnicos do Sistema	22
2.2.3 - Resumo da Arquitetura do Sistema	22
2.3 - SERVIDOR WEB	23
3. REDE SEM FIO	24
3.1 - ZIGBEE	24
3.1.1 - ZigBee CC2530	27
3.1.2 - XBee	28
3.2 - Z-WAVE:	28
3.3 - BLUETOOTH	29
3.4 - ESCOLHA DO PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO	30
4. PROJETO DO SISTEMA	31
4.1 - TECNOLOGIAS ADOTADAS E FLUXO DE INFORMAÇÃO	31
4.2 - CIRCUITOS DE ACIONAMENTO DE ILUMINAÇÃO	32
4.3 - CIRCUITOS DE ACIONAMENTO DE MOTORES	34
5. IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA	35

5.1 - IMPLEMENTAÇÃO DA REDE SEM FIO E MÓDULOS DE ACIONAMENTO	35
5.2 - IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA NO SERVIDOR.....	38
5.3 - <i>SOFTWARES</i> UTILIZADOS NO PROJETO.....	42
5.4 - TESTES.....	42
6. CONCLUSÃO.....	44
6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	44
7. REFERÊNCIAS.....	46
8. APÊNDICE A – Script de Criação do Banco de Dados MySQL.....	48
9. APÊNDICE B – Códigos Fonte.....	50

1. INTRODUÇÃO

1.1 TEMA DE PESQUISA

Desde a década de 1960, quando se deu o desenvolvimento dos primeiros controladores lógicos programáveis, a automação industrial se tornou um elemento fundamental para o desenvolvimento preciso e eficaz de uma crescente gama de processos. Na medida em que muitas das necessidades do ambiente fabril foram percebidas também no ambiente doméstico, a automação predial surge como instrumento capaz de gerenciar o consumo de energia, otimizar o uso de recursos naturais, proporcionar conforto e aumentar a segurança dentro das residências.

Também conhecida como "domótica", a automação residencial agrega valor a casas e apartamentos por integrar sob um único sistema, funcionalidades como: abertura de portas, controle de iluminação, climatização e sonorização, acionamento de motores, abertura e fechamento de cortinas e monitoramento por câmeras, entre outros. Dessa forma, os sistemas domóticos são flexíveis por contemplar as diferentes necessidades de cada família e, conseqüentemente, aumentar a qualidade de vida dos moradores (DIAS, 2004).

Para viabilizar essa interação entre vários equipamentos, faz-se necessário conceber uma rede de dados através da qual todos os dispositivos possam enviar e receber informações do sistema de processamento central, responsável por captar os comandos do usuário final. Além disso, deve-se adquirir o estado de sensores de temperatura, presença e outros. Esses podem ser processados pelo gerenciador central ou localmente, por meio de microprocessadores instalados junto aos atuadores do sistema.

Dessa forma, um dos aspectos mais importantes na concepção desse tipo de circuito é a infraestrutura de cabeamento necessária para que todos os nós se comuniquem dentro da rede. Essa necessidade foi por muitos anos uma barreira ao uso desses sistemas, tendo em vista o elevado custo da instalação de eletrodutos e fiação adicional nas residências. Contudo, houve o desenvolvimento de tecnologias de comunicação sem fio, tais como Bluetooth, ZigBee e Z-Wave, por exemplo, as

quais eliminaram grande parte da dificuldade que se tinha em instalar a rede de domótica (DIAS, 2004).

Além disso, microcontroladores e processadores digitais de sinais são elementos de *hardware* capazes de processar algoritmos complexos e interagir com sinais provenientes de um grande número de dispositivos. A crescente velocidade e diminuição de custo desses circuitos integrados são diretamente responsáveis por viabilizar a popularização do uso de sistemas domóticos ocorrido nos últimos anos.

Juntamente com o desenvolvimento das tecnologias de processamento de sinais e rede *wireless*, fatores demográficos contribuíram para o crescimento da demanda por soluções em automação predial. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 8,6% da população brasileira é composta por idosos e esse percentual deve atingir 13% dentro dos próximos 15 anos, tendo em vista o aumento da expectativa de vida (IBGE, 2010). Juntamente com o grupo dos portadores de necessidades especiais, os idosos precisam do suporte tecnológico para facilitar a manutenção da sua independência. Com base nesses aspectos, observa-se que o mercado de automação predial encontra-se em ascensão e que a demanda por esse tipo de produto tende a continuar crescendo nos próximos anos (DIAS, 2004).

Quando os primeiros sistemas domóticos foram desenvolvidos, eles se restringiam a um mero comando remoto de equipamentos eletrônicos isolados, como por exemplo o acionamento pelo usuário de um ventilador ou ar condicionado. Posteriormente, evoluíram para sistemas integrados, nos quais uma série de dispositivos se comunicam entre si, como por exemplo um ar condicionado que atua de acordo com a leitura de um sensor, de modo a manter a temperatura dentro dos limites programados pelo usuário (GILL, 2009).

Atualmente, o estado da arte desse tipo de tecnologia caminha para sistemas complexos que atuam como gerenciadores dotados de comunicação em mão dupla, informando ao usuário o estado de trabalho de cada equipamento. A domótica também foi fortemente influenciada pela expansão e popularização da Internet e dos *smartphones*. Dessa forma, o usuário desse tipo de tecnologia faz questão de poder controlar os dispositivos de sua residência em qualquer lugar do mundo a partir de um *tablet* ou telefone celular com acesso à Internet (FREITAS, 2014).

Em um futuro próximo, a evolução da domótica tende a aprender os padrões de comportamento dos usuários e agir no sistema antes que esses apresentem alguma demanda (FREITAS, 2014).

1.1.1 Delimitação do Tema

É proposto um sistema de automação predial com configuração e acionamento através da Internet. Esse sistema possui comunicação *wireless* entre o processamento central e os dispositivos que se pretendem acionar, a saber: lâmpadas e motores.

Desta forma, os dispositivos foram concebidos visando flexibilidade e facilidade de expansão, de modo a proporcionar ao usuário uma fácil instalação e minimização da necessidade de infraestrutura elétrica. Além disso, também foi prevista a associação do sistema domótico com uma instalação predial previamente existente.

O escopo do presente trabalho se limita ao controle de iluminação através do acionamento de lâmpadas por dimerização ou por relé, além de controle de acesso através do acionamento bidirecional do motor de um portão. Contudo, em um trabalho futuro, o sistema poderá ser facilmente expandido para inúmeros outros tipos de cargas, tais como acionamento de bombas de irrigação de jardins, controle de acesso por eletroímã, movimentação de cortinas, controle de climatização e muitos outros. Esse fato se justifica, porque a topologia do sistema *web* e da rede *wireless* é a mesma para qualquer tipo de carga, bastando adaptar o circuito de acionamento para a aplicação desejada.

1.2 PROBLEMA E PREMISSAS

A demanda por soluções de automação predial constitui um nicho de mercado em franca expansão dentro da engenharia de controle e automação. Contudo, há uma lacuna entre as necessidades da sociedade e o estado da arte do desenvolvimento

nacional de produtos de automação para um público cada vez mais exigente (FREITAS, 2014).

Os sistemas de automação predial ainda são pouco populares no Brasil. Isso ocorre porque a maior parte das tecnologias domóticas comerciais utilizam cabos para comunicação entre dispositivos, o que implica em elevados investimentos em infraestrutura e muitas vezes torna a aplicação economicamente inviável (FREITAS, 2014).

Nesse sentido, o presente trabalho se faz necessário para um melhor entendimento dos aspectos práticos relacionados à implementação de um sistema de automação sem fio. Além disso, através da *Internet* o usuário deverá ser capaz de controlar e verificar o estado de cada um dos seus dispositivos.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Implementar um sistema de automação predial manipulado via Internet para controlar lâmpadas por relé ou por dimerização e para acionamento bidirecional de motores através de uma rede sem fio. O sistema em questão deve ser flexível e dinâmico, de modo a reconhecer facilmente novos dispositivos. Além disso, o sistema deve ser desenvolvido levando em consideração a integração com a instalação elétrica residencial previamente existente. Finalmente, a rede de comunicação deve informar o usuário com dados sobre o funcionamento de cada equipamento.

1.3.2 Objetivos Específicos

- 1) Identificar, por meio de uma revisão bibliográfica, as tecnologias de rede sem fio mais viáveis do ponto de vista técnico e financeiro para a implementação do sistema;

- 2) Desenvolver uma página na Internet que constitua a interface entre o usuário e o sistema domótico;
- 3) Desenvolver *hardware* e *software* para transferir dados entre o processamento central do sistema e a página na Internet;
- 4) Implementar uma rede de comunicação sem fio entre o processamento central e os atuadores a serem controlados;
- 5) Implementar módulos de acionamento para as cargas a partir da rede sem fio.
- 6) Testar e avaliar as funcionalidades do sistema.

1.4 JUSTIFICATIVA

O conceito de “casa inteligente” está cada vez mais difundido. Já existem no mercado eletrodomésticos com conexão à Internet e conexão sem fio, a fim de que seus usuários controlem os aparelhos de onde estiverem com um simples toque em seus dispositivos móveis, como *smartphones*, *tablets* e outros (FREITAS, 2014).

Este mercado, que se encontra em expansão inclusive no Brasil, está evoluindo cada vez mais em suas tecnologias. Com isso, o presente trabalho visa construir um sistema de automação residencial que tenha a finalidade de aumentar a comodidade e segurança das pessoas. Além disso, este sistema deverá se comunicar com os dispositivos através de uma rede sem fio, facilitando sua instalação e evitando custos com cabos e grandes alterações no sistema elétrico da residência, mesmo as já construídas (FREITAS, 2014).

O produto a ser desenvolvido provê ao usuário as funcionalidades de acionamento e leitura de estado de dispositivos via *Internet*, mas sem as demandas de cabeamento que muitos produtos atualmente oferecidos pelo mercado apresentam.

Deficientes físicos, pessoas doentes ou com dificuldade motora não precisariam se deslocar para acender ou apagar as luzes, abrir ou fechar cortinas, o que poderá ser feito com um simples toque em seus *smartphones* e *tablets*. Além disso, pode-se ter a comodidade de acender uma lâmpada antes de chegar em casa. Tudo isso gera uma grande comodidade e facilidade, como também a segurança de ter a casa iluminada a hora que quiser.

1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O desenvolvimento do trabalho foi dividido em duas frentes principais de pesquisa e desenvolvimento, a saber: o servidor *web* e a comunicação sem fio.

A frente do servidor *web* foi responsável por avaliar, selecionar e implementar a melhor linguagem de programação, as melhores ferramentas e as melhores formas para a construção da página *web*. Além disso, decidiu qual o melhor servidor, melhor configuração, além do melhor *hardware* para tal propósito.

Ainda, a frente de comunicação sem fio pesquisou e avaliou diversos dispositivos, protocolos e equipamentos para este fim. Além disso, essa frente também foi responsável pelo projeto e implementação dos módulos de acionamento das cargas.

Os recursos financeiros necessários ao projeto vieram dos próprios autores. Além disso, houve a colaboração da Universidade Tecnológica Federal do Paraná no que diz respeito ao empréstimo de equipamentos e laboratórios.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

No primeiro Capítulo do trabalho foi estabelecido o tema, a delimitação do escopo, os objetivos traçados, bem como a justificativa do projeto e o cronograma.

Posteriormente, no Capítulo dois, foi apresentado um estudo sobre as tecnologias de mercado disponíveis e, a partir disso, foram definidas as funcionalidades oferecidas ao usuário e as especificações técnicas do sistema. Além disso, é feita a especificação das tecnologias do servidor *web*.

No terceiro Capítulo, foram analisadas as principais tecnologias de rede sem fio passíveis de serem utilizadas para cumprir os requisitos estabelecidos, a saber: ZigBee, Z-Wave e Bluetooth. Dentro do estudo sobre ZigBee foram analisados os produtos X-Bee e CC2530.

No quarto Capítulo, o sistema é projetado através da especificação das tecnologias mais apropriadas em termos de rede sem fio e sistema *web*. Além disso, os circuitos de acionamento das cargas foram apresentados, a saber: circuito de dimerização de lâmpadas, circuito de acionamento por relé e circuito de comando bidirecional de motores.

O quinto e último Capítulo descreve como foi feita a implementação de todo o sistema, desde o servidor até a rede sem fio. Finalmente, apresenta os resultados alcançados.

2 ESPECIFICAÇÕES DO PROJETO

2.1 - ESTUDO DE MERCADO

Com o intuito de embasar a escolha dos requisitos e funcionalidades a serem oferecidas pelo sistema de automação predial desenvolvido no presente trabalho, foi feito um estudo a respeito dos produtos oferecidos pelas principais empresas desse segmento, a saber: Lutron®, Schneider Electric™ e iSimplex.

2.1.1 - Lutron®

A empresa LUTRON® é uma das líderes mundiais e locais no mercado de automação residencial com foco em controle de iluminação. Em função do estado lógico de sensores de presença ou de luxímetros, um controlador liga, desliga ou ainda regula a potência de lâmpadas para controlar o nível de intensidade luminosa de um dado ambiente. Analogamente, é possível combinar esse sistema com o controle da quantidade de luz natural através da abertura ou do fechamento de cortinas, conforme ilustra a Figura 1 (LUTRON, 2014).



Figura 1 - Equipamentos Lutron
Fonte: LUTRON, 2014

Da mesma forma, a empresa oferece sistemas de gestão de energia elétrica que, por exemplo, desligam uma televisão caso o sensor de presença indique que não há ninguém no ambiente. Finalmente, há ainda um sistema de climatização que, através de uma malha de controle de temperatura, provê conforto térmico ao usuário (LUTRON, 2014).

A comunicação entre os sensores, controladores e atuadores é baseada em tecnologia de radiofrequência, o que reduz significativamente custos com cabeamento e infraestrutura. Contudo, essa tecnologia possui alcance limitado a 9 metros para cada antena (LUTRON, 2014).

2.1.2 - Intelligent Home Control (IHC) - Schneider Electric™

A Schneider Electric™ oferece ao mercado um sistema bastante flexível de automação predial baseado em controlador lógico programável (PLC), o qual recebe o nome de *intelligent home control* (IHC), conforme exemplificado na Figura 2. O IHC consiste em uma central com módulos de entradas digitais e saídas digitais ou dimerizáveis. As entradas podem ser dispositivos de controle de acesso por meio de cartão, impressão digital ou movimento, além de sensores de fumaça e detectores de vazamentos de água ou de gás. As saídas do sistema consistem em uma infinidade de equipamentos que podem ser controlados a partir da lógica implementada, tais como dimerização de lâmpadas, sistemas de alarme e segurança patrimonial, motores de cortinas e acionamento de eletrodomésticos (SCHNEIDER..., 2015).

O IHC pode ser conectado à Internet, permitindo o acesso remoto pela *web*. Contudo, apesar de bastante flexível e modular, o IHC demanda uma grande quantidade de cabos e exige uma infraestrutura de eletrodutos dedicados para esse fim, o que dificulta sua implantação em imóveis já construídos sem essa estrutura. A Figura 3 é um exemplo real de estrutura cabeada para controle de iluminação em um sobrado de aproximadamente 150 m² com a tecnologia IHC da Schneider Electric™.



Figura 2 - Módulo IHC
Fonte: SCHNEIDER..., 2015



Figura 3 - Fotografia de Cabos e Infraestrutura em uma instalação com IHC
Fonte: Autoria própria.

2.1.4 - iSimplex

O sistema iSimplex é baseado em um servidor cuja função é controlar os equipamentos domésticos com base nas entradas apresentadas pelo usuário através de uma interface amigável pela *web*, conforme Figura 4. Além do controle de dispositivos de iluminação, acesso e segurança, o sistema pode armazenar e reproduzir músicas e vídeos a partir de uma biblioteca digital. Dessa forma, através de um *smartphone* ou *tablet*, o usuário é capaz de reproduzir um filme no *home theater* ou um conjunto de músicas em algum ambiente da residência (ISIMPLEX, 2015).



Figura 4 - iSimplex Home Server
Fonte: ISIMPLEX, 2015

Além disso, o iSimplex também permite integração com 9 outras tecnologias de automação residencial, a saber: KNX[®], Zwave, Only[©], Lutron[®], Schneider Electric[™], Global Cache[©], Philips Dynalite, iDom e Allconverge[©] (ISIMPLEX, 2015).

2.1.4 - Conclusões Sobre o Estudo de Mercado

De um modo geral, os sistemas existentes no mercado são flexíveis e adaptáveis a uma vasta gama de aplicações domóticas, sensores e atuadores. Contudo, uma boa parte dos produtos utiliza cabo ou redes sem fio de baixo alcance, o que consiste em uma desvantagem significativa por exigir elevados investimentos em infraestrutura. Percebe-se também que os sistemas mais bem aceitos pelo mercado são aqueles que permitem controle via Internet dos dispositivos, dando ao usuário mobilidade e acesso remoto a residência.

Baseado nas tecnologias apresentadas, o sistema proposto no presente trabalho integra a comunicação *wireless* utilizada pela Lutron[®] com a acessibilidade e portabilidade oferecida pelo iSimplex, no que diz respeito a página *web*. Dessa forma, busca-se evitar os custos com infraestrutura demandados pelo IHC.

2.2 - REQUISITOS DO SISTEMA

2.2.1 - Funcionalidades Oferecidas ao Usuário

Através de uma página *web*, o usuário poderá:

- a) Ligar, desligar ou variar a potência de lâmpadas;
- b) Abrir ou fechar um portão;
- c) Ler o estado lógico de sensores.

Dessa forma, o presente trabalho produziu um protótipo de casa automatizada. Nesse existem lâmpadas dimerizáveis e lâmpadas ligadas ou desligadas via relé. Há ainda um sensor de presença e um motor *Direct Current* (DC) representando o controle de acesso através do portão. Tais dispositivos são acionados através de uma página *web* na qual é possível verificar o estado de cada equipamento. Esse sistema pode ser acessado por um navegador *web* a partir de qualquer computador, *smartphone* ou *tablet* com acesso à Internet. A Figura 5 ilustra o escopo do presente trabalho.

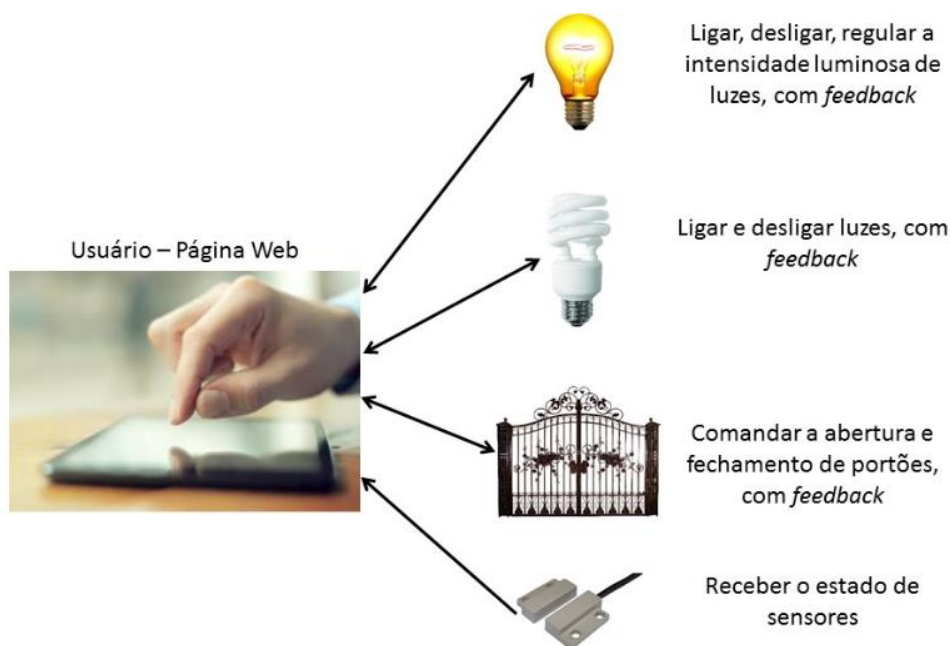


Figura 5 - Requisitos do Usuário
Fonte: Autoria própria.

2.2.2 - Requisitos Técnicos do Sistema

Através de um dispositivo qualquer com conexão a Internet ou rede local, o usuário acessa uma página *web* na qual visualiza controles e indicadores correspondentes a cada um dos seus dispositivos, a saber: lâmpadas, motores e sensores.

Através dos controles, pode ligar, desligar ou variar a potência de um conjunto de lâmpadas. Além disso, pode comandar um motor que fará a abertura ou o fechamento de um portão. Os indicadores realimentam automaticamente o usuário com o estado de cada dispositivo. A página *web* é programada de forma a permitir fácil utilização a partir de dispositivos móveis como *tablets* e *smartphones*.

No caso do controle de iluminação, a página *web* envia para a rede sem fio um percentual correspondente a fração da potência da lâmpada desejada pelo usuário. Essa informação trafega pela rede e é utilizada por um *driver* para gerar uma onda modulada em largura de pulso cuja razão cíclica pode desligar a lâmpada (se receber 0%), ligar a lâmpada no máximo (se receber 100%) ou entregar para a lâmpada uma determinada fração da potência máxima de acordo com o percentual informado pelo usuário.

No caso do comando bidirecional do portão, o usuário informa se deseja abrir ou fechar o portão e a página *web* envia para a rede sem fio esse dado. Ao chegar no nó correspondente ao motor, esse será ligado no sentido de abertura ou fechamento até que seja desligado pelo usuário ou outro sistema externo de parada.

2.2.3 - Resumo da Arquitetura do Sistema

De acordo com o exposto, o sistema proposto foi concebido conforme o esquema apresentado na Figura 6. A interface com o usuário é feita por uma página hospedada em um servidor *web* (A). Esse se comunica através de um protocolo cabeado (B) com um módulo da rede sem fio (C), através do qual as informações serão enviadas até um outro nó da rede (D) acoplado fisicamente ao dispositivo que

se pretende controlar. Esse nó extremo se comunica por pinos de entrada/saída E) com o circuito de acionamento e controle de iluminação ou motor (F).

Na Seção 2.3 são apresentadas as tecnologias a serem aplicadas no desenvolvimento do servidor *web* (A). No Capítulo 3 são analisadas as redes ZigBee, Z-Wave e Bluetooth para embasar a adoção de um desses protocolos para a construção da rede *wireless* (C) e (D) do presente projeto.

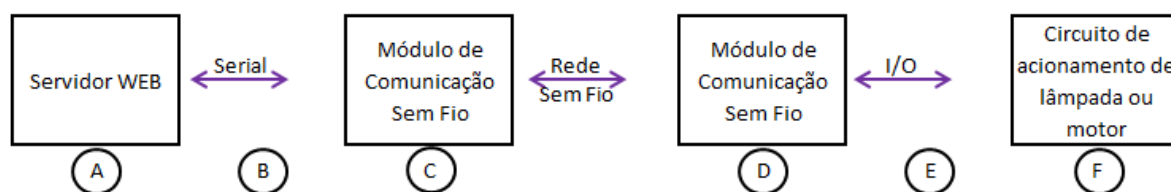


Figura 6 - Resumo Esquemático da Arquitetura do Sistema
Fonte: Autoria própria.

2.3 - SERVIDOR WEB

O servidor *web* escolhido para a aplicação proposta foi o Apache HTTP Server, por ser o *software* mais utilizado no mundo para este fim (NETCRAFT, 2015). Integrado ao Apache, optou-se por utilizar a linguagem de programação *Hypertext Preprocessor* (PHP) por estar presente em 82% dos servidores (W3TECHS, 2015a), possuir fácil integração com *Hypertext Markup Language* (HTML) e apresentar uma ampla documentação e suporte ao desenvolvimento. Atualmente, o PHP é utilizado em mais de 200 milhões de páginas como Wordpress, Facebook, Baidu, Wikipedia, Twitter e outros (W3TECHS, 2015b).

O servidor utilizado possui o sistema operacional Windows. No desenvolvimento do *software*, para armazenar os dados necessários, foi utilizado o banco de dados MySQL, por ser facilmente integrado com o PHP. Com isso, o projeto utiliza no servidor o pacote conhecido como WAMP (Windows, Apache, MySQL e PHP) que possui uma adequada integração, funcionalidade e estabilidade. Este pacote é popular por utilizar ferramentas livres e de código aberto.

3. REDE SEM FIO

A partir da estrutura apresentada na Figura 6 e da definição das tecnologias adotadas para o servidor *web* na Seção 2.3, serão analisadas neste Capítulo as redes ZigBee, Z-Wave e Bluetooth com o objetivo de fundamentar a escolha de uma delas para a construção da rede sem fio do presente projeto.

3.1 - ZIGBEE

ZigBee é um protocolo de comunicação sem fio baseado na especificação de camada física IEEE 802.15.4 voltado para *personal area networks* (PAN). Seu diferencial em relação a outros protocolos, como o Wi-Fi e o Bluetooth, é o baixo custo e a baixa potência elétrica demandada pelos dispositivos. Isso faz com que as baterias dos dispositivos *wireless* equipados com os rádios ZigBee tenham uma vida útil prolongada em relação a outros protocolos semelhantes. Por conta da eficiência energética característica do ZigBee, o protocolo é intimamente ligado a sustentabilidade e aplicações verdes (ZIGBEE..., 2014).

O baixo consumo de potência elétrica dos rádios ZigBee implica em baixos alcances. Contudo, isso é contornado pela formação de uma rede *mesh* entre os dispositivos, na qual a informação é recebida e retransmitida por cada nó até atingir os pontos mais distantes da aplicação. A distância de alcance da rede depende da potência de saída dos rádios e das condições ambientais de topografia e presença de obstáculos físicos como paredes, vidros e prédios (ZIGBEE..., 2014).

Em muitos países, o ZigBee opera na frequência de 2,4 GHz, na qual atinge 250 *kbit/s* em 16 canais. Contudo, em localidades como China, Europa e Estados Unidos o protocolo opera em diferentes frequências com menores taxas de transmissão de dados. Originalmente, foi concebido em 1998, padronizado em 2003 e revisado em 2006, ano do lançamento dos primeiros produtos ZigBee (ZIGBEE..., 2014).

De acordo com a ZigBee Alliance, hoje existem mais de 600 produtos certificados, sendo produzidos por mais de 400 empresas no mundo todo. Esse

número corresponde a 50% do mercado de produtos da especificação IEEE 802.15.4, perfazendo um total de 4,3 milhões de equipamentos produzidos. Por conta de suas características de baixo custo e baixa potência elétrica, as aplicações ZigBee são muito difundidas para automação residencial, monitoramento de sensores, controles remotos, gerenciamento de energia e iluminação, telecomunicações e dispositivos de engenharia biomédica (ZIGBEE..., 2014).

Além disso, o ZigBee apresenta uma importante característica: trata-se de um protocolo de comunicação bidirecional. Dessa forma, com um mesmo rádio, é possível ler um sensor e escrever em um atuador. Isso confere uma grande flexibilidade as aplicações e permite a conexão de uma grande variedade de dispositivos de diferentes fabricantes em uma única rede.

Em automação residencial, o ZigBee permite que os equipamentos domésticos troquem dados entre si e com a Internet, viabilizando acesso e controle remotos a um baixo custo. Dessa forma, a automação residencial deixa de ser um produto intangível e torna-se algo acessível para uma maior parcela da população (FREITAS, 2014).

Do ponto de vista de redes, dois dispositivos ZigBee dependem de nós intermediários para trocar dados entre si. Dessa forma, cada dispositivo deve ser capaz de, além de configurar seus parâmetros específicos (*stack profile*), transmitir dados de acordo com sua configuração na rede, podendo atuar como:

a) Coordenador ZigBee: dispositivo que inicia e configura a rede na sua inicialização. Uma vez configurada, o coordenador ZigBee comporta-se como um roteador qualquer e não é mais necessário para a operação.

b) Roteador ZigBee: permite que outros dispositivos sejam acrescentados à rede, retransmitam adiante o sinal que recebem e auxiliam na comunicação dos dispositivos finais. Em geral, estão ativos e alimentados continuamente.

c) Dispositivos finais: não são responsáveis por manter a infraestrutura de rede, portando são inicializados e consomem energia apenas quando é necessário transmitir ou receber dados (TEXAS..., 2014c).

A Figura 7 apresenta esquematicamente o mecanismo de comunicação bidirecional entre o coordenador ZigBee (C), os roteadores (R) e os dispositivos finais (E) (TEXAS..., 2014c).

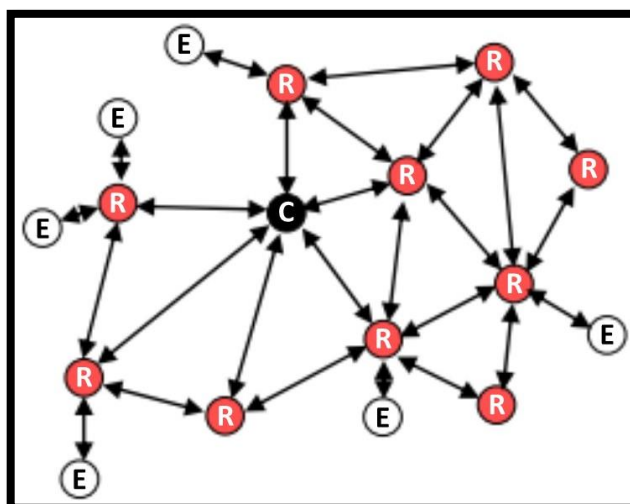


Figura 7 - Rede ZigBee
Fonte: TEXAS..., 2014c.

Dispositivos ZigBee são identificados por 2 endereços: um *extended address* de 64 *bits* e um *short address* de 16 *bits*. O primeiro endereço é único, pré gravado de fábrica, e pertence ao dispositivo durante todo seu ciclo de vida, sendo mantido e alocado pelo criador do protocolo (IEEE). O segundo é dado ao dispositivo no momento em que ele passa a fazer parte de uma rede, sendo único apenas naquela rede específica. Os endereços são usados para identificar os dispositivos e enviar dados dentro da rede. O protocolo ZigBee faz o endereçamento dos dispositivos por árvore, baseado em parâmetros definidos pelo desenvolvedor ou randomicamente (TEXAS..., 2014c).

O fluxo de informações entre as aplicações dentro da rede é controlado por um mecanismo que recebe o nome de *binding*. Isso permite que os nós enviem mensagens sem conhecer o endereço de destino, que é determinado pela camada *Application Support Sub-Layer* (APS) da rede. Dessa forma, a APS é responsável por direcionar as mensagens para a aplicação correta através de uma tabela de *binding* construída a partir de objetos de comunicação dos ZigBee *Device Object* (ZDOs) (TEXAS..., 2014c).

Além do *binding*, um outro aspecto importante do protocolo é o seu mecanismo de roteamento *Network Layer* (NWK) que encontra a melhor rota entre os dispositivos para que os dados cheguem no destino. Além disso, caso haja falha em algum ponto desse caminho, a rede automaticamente se configura para restabelecer a conexão por uma outra rota de equipamentos (TEXAS..., 2014e).

Cada dispositivo possui uma "tabela de vizinhos", de modo a conhecer os outros rádios próximos a ele. Caso receba um pacote destinado a um desses vizinhos, o roteador o encaminhará diretamente. Caso o pacote seja endereçado a um nó que não esteja nessa tabela, o roteador consultará uma tabela de roteamento e enviará a informação para o próximo nó. Se houver falha na transmissão, o mecanismo tentará novamente enviar os dados até que se exceda um limite programado pelo desenvolvedor. Todos os dispositivos roteadores desempenham as seguintes funções:

a) Seleção e descobrimento de rotas: os dispositivos trocam entre si pacotes de requisição de rota ZigBee *Rout Reply* (RREP). Com base na distância em que se encontram, o sinal recebido será mais ou menos intenso, caracterizando um custo energético de transmissão entre os nós. Com base nisso, os algoritmos selecionam os trajetos com menores custos.

b) Manutenção das rotas: se há falha de comunicação em algum ponto da rede, a origem dos dados receberá um pacote de erro ZigBee *Rout Request* (RERR), indicando que aquela rota não é mais possível. Dessa forma, o algoritmo buscará um outro caminho para estabelecer a comunicação.

c) Cancelamento de rotas: se houver um longo período sem o uso de uma determinada rota, ela é cancelada e excluída se houver pouca memória disponível (TEXAS..., 2014c).

3.1.1 - ZigBee CC2530

A Texas instruments (TI) é uma das principais fabricantes globais de tecnologia ZigBee. Comercialmente, a TI apresenta os rádios CC2530 ou CC2538 e sugere sua integração com os processadores MSP430, TivaARM ou ainda com o *hardware* embarcado *beaglebone*. O CC2530 apresenta em um único encapsulamento o rádio ZigBee acoplado a um micro controlador 8051 e 8 KB de memória RAM. Apresenta também duas *Universal Synchronous/Assynchronous Receiver/Transmitter* (USART) para comunicação serial e 21 pinos de *General Purpose Input/Output* (GPIO). Sua

programação é feita através do "CC2530 ZigBee Development Kit" e do "IAR Embedded Workbench" (TEXAS..., 2014a).

3.1.2 - XBee

Alternativamente aos produtos da Texas Instruments, a Digi disponibiliza os rádios XBee. Igualmente equipados com o protocolo ZigBee, o XBee foi projetado para comunicação ponto a ponto entre um nó receptor e um nó transmissor. Suas conexões resumem-se a alimentação e *Universal Asynchronous Receiver/Transmitter* (UART) e, por conta de sua simplicidade, é bastante utilizado em aplicações envolvendo microcontroladores de simples desenvolvimento como Arduino. Possui também um mecanismo de formação de redes *mesh* simplificado em relação ao ZigBee (DIGI, 2014).

3.2 - Z-WAVE:

O Z-Wave é um protocolo de comunicação sem fio bidirecional utilizado para tráfego de dados em automação residencial, a qual não permite transmissão de sinais mais complexos como áudio e vídeo. Caracteriza-se por ser uma rede *mesh* em que a informação é retransmitida até alcançar o último nó, assim como ocorre no ZigBee. Para ambientes livres de obstáculos físicos, a distância máxima de alcance dos rádios é de 30 metros, diminuindo consideravelmente em ambientes domésticos com paredes usuais. A rede Z-Wave pode ser constituída por no máximo 232 dispositivos e possui velocidade entre 9600 *bits/s* e 40 *kbits/s* (Z-WAVE..., 2014)

Foi desenvolvido pela empresa Zensys em 2008 como um padrão *wireless* privado. Atualmente o padrão de comunicação é administrado pela Z-Wave Alliance, formado por 250 empresas que desenvolvem e comercializam produtos de monitoramento e controle de equipamentos domésticos através do protocolo. Já foram lançados mais de 1000 produtos com Z-Wave, perfazendo um total de 12 milhões de equipamentos produzidos no mundo todo (Z-WAVE..., 2014).

Se comparado ao ZigBee, o Z-Wave é mais simples e exige menos tempo de desenvolvimento. Além disso, o Z-Wave não usa a mesma frequência que o Wi-Fi e, portanto, não sofre interferência. Contudo, os circuitos integrados Z-Wave são fabricados por uma única empresa e o acesso à tecnologia é restrito aos membros da Z-Wave Alliance (ELECTRONIC..., 2012).

3.3 - BLUETOOTH

Bluetooth é um protocolo de comunicação voltado para *wireless personal networks* e caracterizado por baixo consumo de energia e baixo alcance. Os dispositivos Bluetooth são divididos em três classes de potência, a saber: 1 mW, 2,5 mW e 100 mW. Tais classes correspondem, respectivamente, aos alcances máximos de 1 metro, 10 metros e 100 metros. Com o objetivo de garantir a interoperabilidade de equipamentos diversos e produzidos por diferentes fabricantes, o Bluetooth utiliza a frequência de rádio globalmente aceita de 2,45 GHz. (INFOWESTER, 2013).

A taxa de transmissão da rede Bluetooth varia entre 1 *Mbit/s* e 24 *Mbit/s*, sendo largamente utilizado na comunicação entre computadores e dispositivos de entrada e saída de dados, tais como celulares, teclados, leitores de código de barras, equipamentos médicos, controles remotos e equipamentos de áudio (INFOWESTER, 2013).

Uma rede Bluetooth elementar recebe o nome de *piconet* e é formada por um mestre e por até 7 escravos. A comunicação é bidirecional entre o mestre e os escravos, não sendo possível a troca de dados entre escravos. O número de dispositivos pode ser elevado pela sobreposição de diversas *piconets* dentro do raio de alcance dos mestres, o que recebe o nome de *scatternet* (INSTRUCTABLES, 2014).

A tecnologia Bluetooth apresenta um crescente potencial de aplicação no mercado de automação residencial por estar embarcada em uma série de *smartphones* e *tablets* que os usuários desses sistemas já possuem. Características como interoperabilidade entre diferentes equipamentos, flexibilidade para o desenvolvimento de uma vasta gama de produtos e custo em média 50% abaixo dos

rádios ZigBee convencionais tornam o Bluetooth competitivo e promissor no campo da domótica. Contudo, essas aplicações ainda são comercialmente incipientes e ainda não muito populares (BLUETOOTH..., 2014).

3.4 - ESCOLHA DO PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO

A aplicação desejada exige a transmissão de sinais pouco complexos do tipo liga/desliga para acionamento de lâmpadas e percentual de razão cíclica para comando de motores. Dessa forma, baixas taxas de transmissão bidirecional de dados aliadas a longos alcances e baixa potência elétrica são os principais requisitos a serem atendidos pelo protocolo. Além disso, a rede de comunicação sem fio deve ser adaptável para outras aplicações residenciais simples tais quais as previstas no escopo inicial.

Todos esses fatores são oferecidos pelo ZigBee acrescidos de uma relativa facilidade de aquisição e programação dos rádios, haja vista a vasta gama de equipamentos domóticos já desenvolvidos a partir dessa tecnologia. Dessa forma, optou-se por utilizar o ZigBee por ser a tecnologia mais adequada ao escopo da aplicação. Além disso, escolheu-se o CC2530 em detrimento do X-Bee devido ao custo.

O Bluetooth apresentou-se inviável para essa aplicação por não formar rede *mesh* e por não otimizar o uso das baterias, além de ter um alcance limitado. Da mesma forma, o Z-Wave foi descartado por suportar um número de nós inferior ao do ZigBee e por ser uma tecnologia de fabricação restrita a uma única empresa e desenvolvimento limitado aos membros da Z-Wave Alliance.

4. PROJETO DO SISTEMA

4.1 - TECNOLOGIAS ADOTADAS E FLUXO DE INFORMAÇÃO

Com base na análise teórica das tecnologias existentes no mercado optou-se por desenvolver o servidor e a página *web* com Windows, Apache, MySQL e PHP. A construção de uma interface *web* em detrimento de um aplicativo de *smartphone* se justifica por permitir a manipulação do sistema a partir de qualquer aparelho com qualquer navegador de Internet e qualquer sistema operacional. Analogamente, optou-se por construir a rede sem fio com base na tecnologia ZigBee CC2530 e com comunicação serial entre o servidor *web* e a *wireless*.

Finalmente, os circuitos de acionamento das cargas são baseados em ponte H de transistores para acionamento bidirecional de motor DC, relé e chaveamento de *Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor* (MOSFET) para comando de iluminação e leitura direta de *Analog to Digital Conversion* (ADC) para *feedback* do sensor de presença. A Figura 8 ilustra o sistema como um todo.

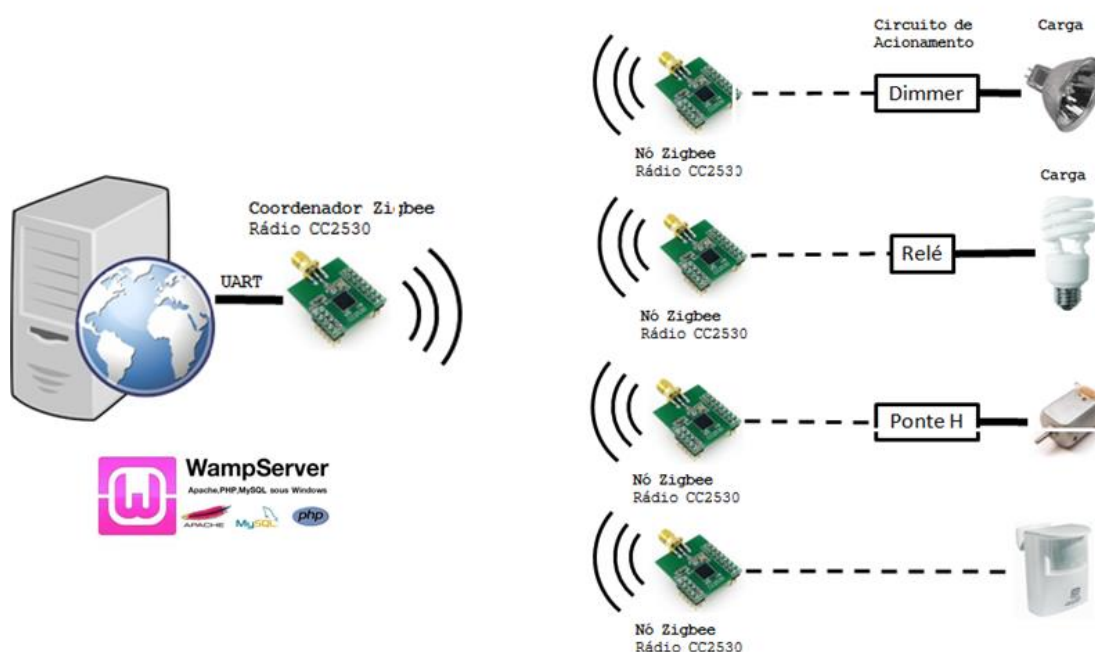


Figura 8 - Estrutura resumida das tecnologias adotadas
Fonte: Autoria própria.

O usuário acessará uma página *web* desenvolvida em PHP, na qual existem controles e indicadores correspondentes a cada uma das cargas do sistema. Sempre que o usuário manipular um controle na página *web*, o PHP alimentará uma tabela de comandos no banco de dados MySQL. Simultaneamente, um *script* responsável por enviar esses comandos para a rede ZigBee via UART estará em execução no servidor *web*. O *script* em questão será desenvolvido em Python.

Através do mecanismo de roteamento da rede ZigBee, a informação chegará até o nó a que se destina e comandará o acionamento da carga. Uma vez acionado ou sempre que o estado for alterado, o nó correspondente irá informar a mudança ocorrida para o coordenador ZigBee.

O coordenador ZigBee enviará essa informação ao servidor via UART. O *script* responsável pela comunicação serial no servidor receberá o comando e atualizará uma segunda tabela de *status* de dispositivos no banco de dados. A partir disso a página *web* irá atualizar as informações para o usuário. As cargas a serem comandadas podem ser do tipo liga/desliga, dimerizável ou motores DC. Os circuitos de acionamento dessas são descritos nas Seções 4.2 e 4.3.

4.2 - CIRCUITOS DE ACIONAMENTO DE ILUMINAÇÃO

O circuito de dimerização de iluminação ilustrado na Figura 9 controla o fluxo de potência de uma lâmpada pelo chaveamento de um MOSFET, com base na onda PWM gerada a partir da razão cíclica comandada pela rede *wireless*. Nos instantes em que o PWM estiver em 100%, o MOSFET abre o circuito e não permite que circule corrente pela lâmpada. Analogamente, quando o PWM estiver em nível lógico baixo, a carga será ligada. Dessa forma, a razão cíclica do PWM define o percentual de tempo no qual a carga permanece ligada e assim se dá a dimerização.

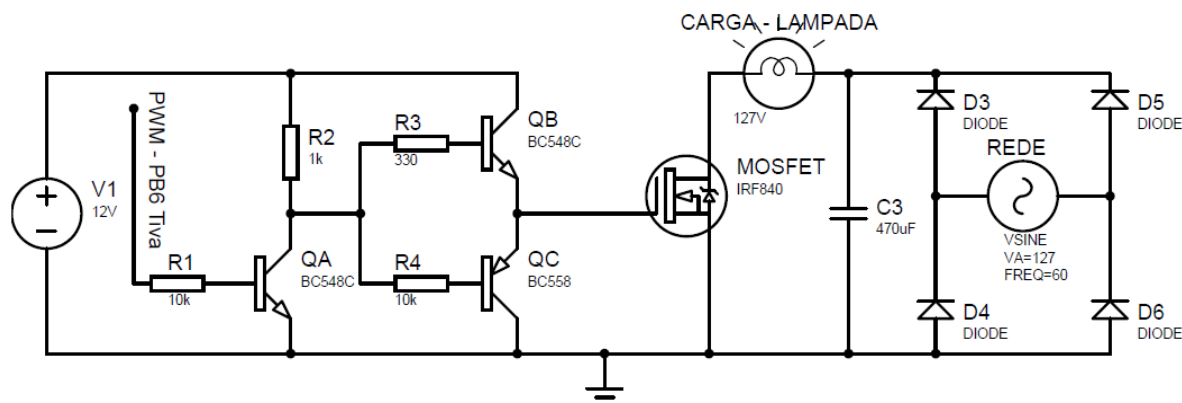


Figura 9 - Circuito de Dimerização de Iluminação
 Fonte: Autoria própria.

Além disso, as lâmpadas também podem ser acionadas via relé simples para comportamento liga/desliga. Nesse caso, foi prevista a integração do sistema com uma instalação elétrica previamente existente através da inserção de uma chave que atua como um interruptor intermediário nos terminais do relé. Tal chave permite ao usuário escolher se deseja utilizar o sistema de automação ou acionar a lâmpada diretamente através do interruptor tradicional. Essa solução é ilustrada na Figura 10.

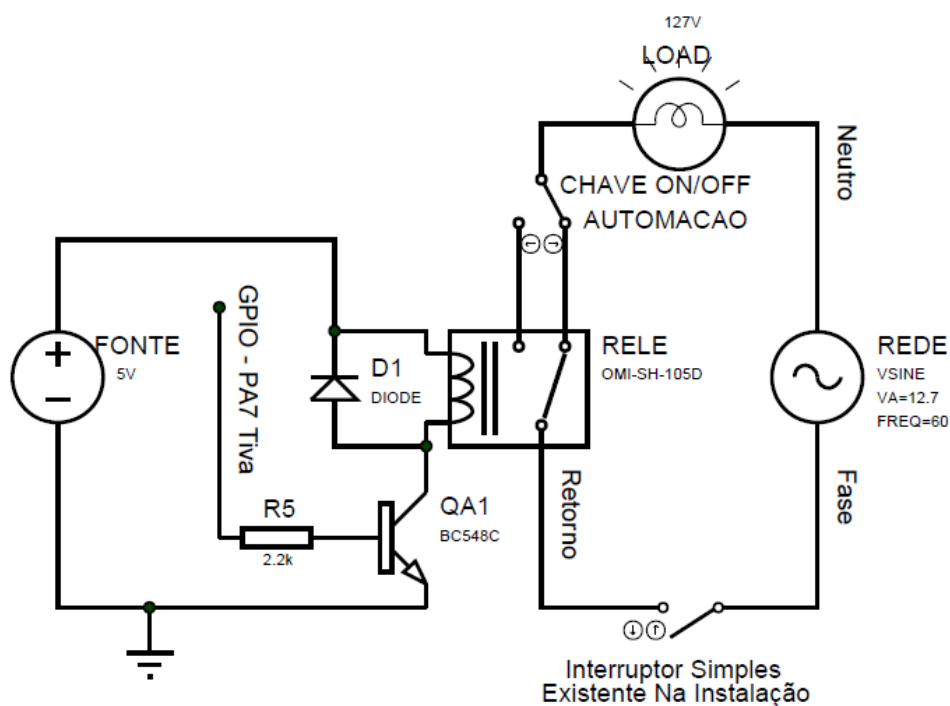


Figura 10- Circuito de Acionamento Liga/Desliga de Iluminação
 Fonte: Autoria própria.

4.3 - CIRCUITOS DE ACIONAMENTO DE MOTORES

O circuito de acionamento de motores DC ilustrado na Figura 11 visa ligar um motor nos dois sentidos de rotação, de modo a abrir ou fechar um dispositivo de controle de acesso como um portão ou uma fechadura. Isso é possível através de um arranjo de transistores em ponte H, implementado no circuito integrado (CI) L293D. Tal componente recebe as entradas GPIO PA2 e PA5 do microcontrolador Tiva. Caso o sinal do pino PA2 estiver em nível lógico alto e o sinal do pino PA5 estiver em nível lógico baixo o motor girará em um determinado sentido a partir da alimentação de 12 V. Se o sinal do pino PA2 estiver em nível lógico baixo e o sinal do pino PA5 estiver em nível lógico alto, o motor será ligado no sentido oposto. Se os sinais de ambos os pinos PA2 e PA5 estiverem em baixo ou em alto, o motor será desligado.

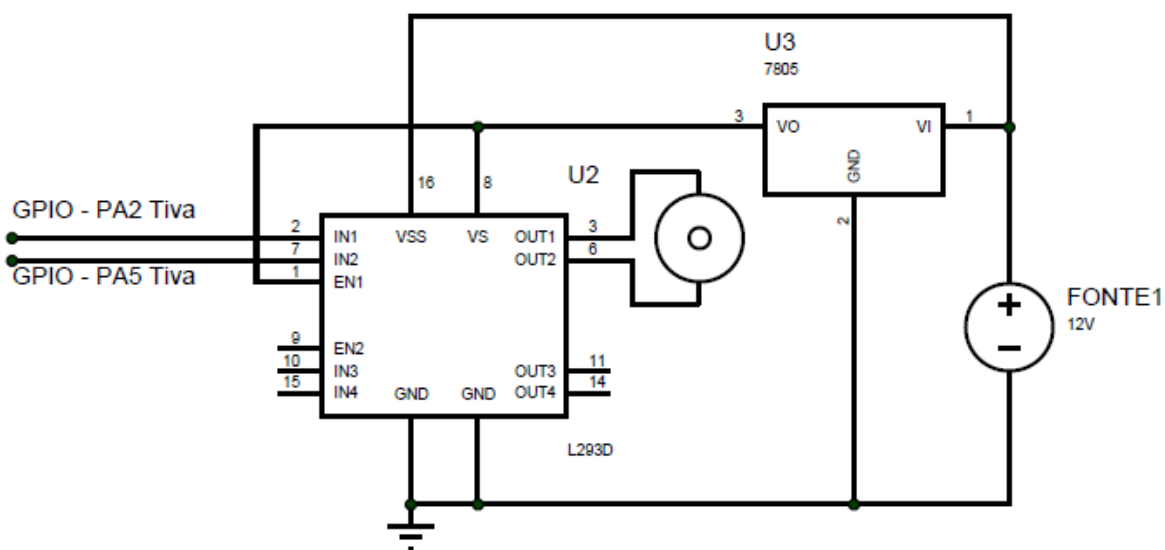


Figura 11- Circuito de Acionamento de Motores
Fonte: Autoria própria.

5. IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA

5.1 - IMPLEMENTAÇÃO DA REDE SEM FIO E MÓDULOS DE ACIONAMENTO

Conforme descrito na Seção 3.4, a rede ZigBee foi implementada através dos rádios CC2530 da Texas Instruments. Havia duas alternativas para fazer esse desenvolvimento, a saber:

- a) fazer todo o programa no microcontrolador 8051 presente dentro do encapsulamento do CC2530 através da plataforma IAR Embedded Workbench e do hardware TI SmartRF05 EvaluationBoard;
- b) deixar a pilha ZigBee sendo executada no 8051 e utilizar um processador externo ao CC2530 para desenvolver a aplicação.

Apesar dessa última opção ser mais onerosa por demandar a aquisição de um outro microcontrolador qualquer, esta permite gravar um *firmware* padrão no rádio CC2530, que faz com que ele se comporte como um modem comandado pela porta serial. Neste modo, denominado pela Texas Instruments de *ZigBee Network Processor* (ZNP), basta ao microcontrolador principal implementar a interface padrão do ZNP, provendo mais poder de processamento para a aplicação.

Dessa forma, optou-se por acoplar ao CC2530 um microcontrolador TivaLaunchpad TM4C123GXL e fazer a programação da rede Zigbee através do ZNP. Tal microcontrolador foi escolhido por haver experiência da equipe na sua programação, além de o fabricante disponibilizar um código exemplo para essa aplicação. Sendo assim, essa escolha reduziu o tempo de desenvolvimento e permitiu a finalização do projeto em tempo hábil.

O Tiva Launchpad é uma placa de desenvolvimento em microcontroladores da Texas Instruments. Possui interface *Universal Serial Bus* (USB) 2.0 para programação através da plataforma Code Composer Studio 6.1 e periféricos como PWM, GPIOs, ADC e UART, dentre outros (TEXAS..., 2015b).

A Figura 12 apresenta o diagrama de blocos da rede *wireless* implementada. O servidor *web* (I) comunica-se através da UART0 com o Tiva (II), que por sua vez está acoplado através da UART1 ao coordenador CC2530 da rede ZigBee (III). O coordenador comunica-se com os demais nós CC2530 da rede sem fio (IV). Cada um

deles está igualmente acoplado através da UART1 a um Tiva (V) no qual são processados os sinais PWM, GPIO e ADC que, através dos módulos de acionamento (VI), controlam as cargas ou recebem a leitura de sensores. As conexões físicas utilizadas para implementar o ZNP entre o Tiva e o CC2530 encontram-se descritas na Figura 13.

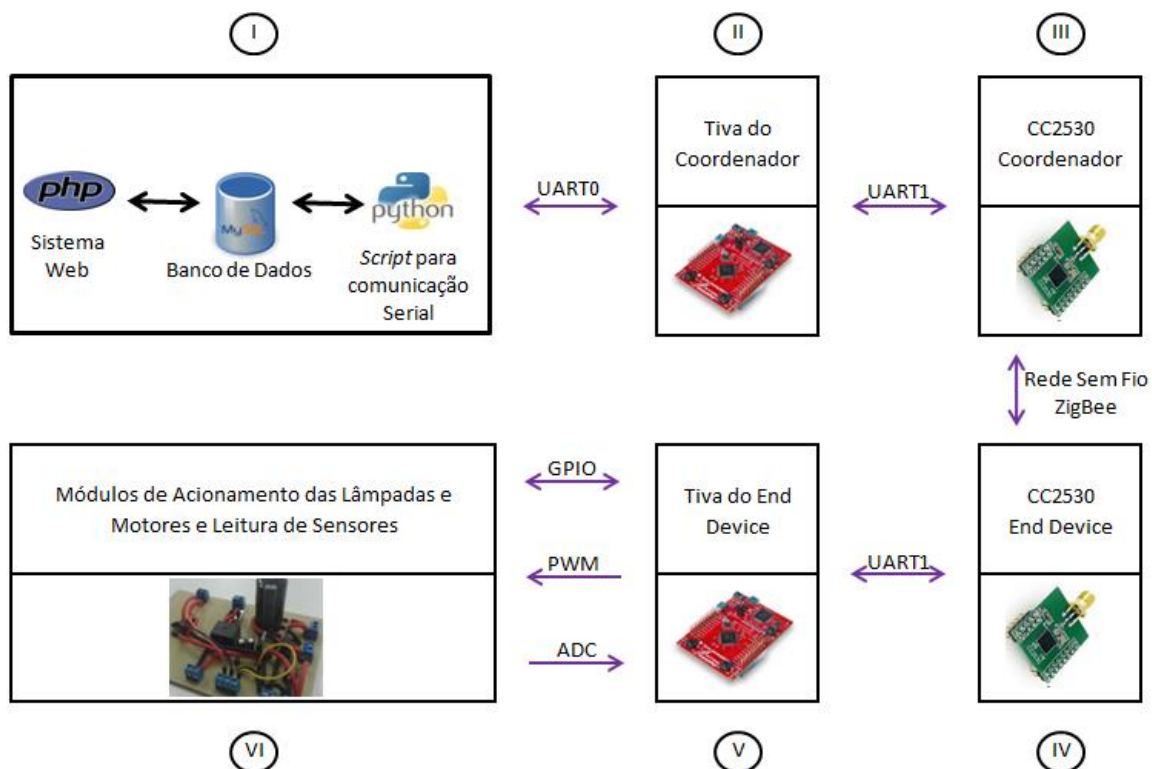


Figura 12 - Diagrama de Blocos da Implementação da Rede Wireless
Fonte: Autoria própria.

Pino no Tiva	Pino no CC2530	Função
PB0 - U1RX	P03 - TX	Comunicação Serial
PB1 - U1TX	P02 - RX	Comunicação Serial
PC4 - U1RTS	P04 - CT	Comunicação Serial
PC5 - U1CTS	P05 - RT	Comunicação Serial
3V3	Vdd	Alimentação do CC2530
GND	GND	Alimentação do CC2530
GND	P15 - CFG0	Configura o Não Uso de Oscilador Externo
GND	P20 - CFG1	Configura o Uso de Comunicação Serial

Figura 13 - Conexões de Hardware do ZNP
Fonte: Autoria própria.

Tendo como base o exemplo fornecido pela Texas Instruments, foi desenvolvido um código para o Tiva associado ao coordenador da rede e outro código para os Tivas associados aos nós finais. Ambos diferem pelo fato de que o código dos nós finais é adaptado para a geração de sinais de acionamento a partir de dados da rede *wireless*, enquanto que o código do coordenador é adaptado para comunicação com o servidor *web*, ou seja, fazer a ponte entre a rede *wireless* e o sistema *web*. Para obter os códigos fonte, consulte o APÊNDICE B – Códigos Fonte.

Para garantir o funcionamento esperado do sistema, as informações relevantes foram concatenadas em um protocolo, conforme ilustrado na Figura 14. Tal protocolo se inicia com os 4 *bytes* correspondentes ao nó final ZigBee a que a mensagem se refere. Juntamente com esse endereço dinâmico ZigBee, transmite-se um endereço fixo atribuído a cada Tiva de modo a garantir a comunicação com um nó de forma independente das mudanças que o primeiro endereço sofre a cada vez que entra na rede.

Na sequência, foram colocadas no protocolo as informações necessárias para o acionamento e leitura das cargas, a saber: razão cíclica para modulação em largura de pulso com 2 *bytes*, estado lógico binário de GPIO com 1 *byte* e leitura do conversor analógico digital com 2 *bytes*. Finalmente, o protocolo se encerra com o parâmetro de qualidade da comunicação ZigBee, o qual possui 3 *bytes*. O caractere “\n” indica o final de uma mensagem e permite iniciar a próxima.

Endereço ZigBee	Endereço Tiva	PWM	GPIO	ADC	Qualidade de Sinal
4 <i>bytes</i>	2 <i>bytes</i>	2 <i>bytes</i>	1 <i>byte</i>	2 <i>bytes</i>	3 <i>bytes</i>

Figura 14 - Protocolo de Comunicação

Fonte: A autoria própria.

A qualidade do sinal é dada pelo parâmetro *Link Quality Threshold* (LQI), fornecido e calculado internamente pelo ZNP. Esse dado está relacionado com a força e com a acurácia da comunicação estabelecida (TEXAS..., 2015d).

Como resultado, foi possível transmitir os dados do protocolo a partir de um terminal serial conectado ao coordenador da rede, o qual estava distante aproximadamente 15 metros, sem barreira física, do dispositivo acoplado as cargas

que se pretendia acionar. Em distâncias maiores do que essa a qualidade do sinal ficava próxima de zero e a conexão era interrompida.

Na sequência, testou-se a inserção de um roteador entre o coordenador e o nó final de comando das cargas com o intuito de verificar o funcionamento da rede *mesh*. Observou-se que, nessa configuração, o nó final possui índice de qualidade de sinal igual ao roteador, fazendo com que a distância de alcance máximo original pudesse ser dobrada. Assim, a configuração de dispositivos como roteadores torna possível cobrir todo o espaço de uma residência com o sinal ZigBee, de modo a viabilizar uma aplicação real.

Uma vez que a rede *wireless* estava operante, foram montados os circuitos de acionamento apresentados no Capítulo 4, conforme ilustrado na Figura 15. Através do envio, a partir da página *web*, de um número hexadecimal montado conforme o protocolo, foi possível ligar e inverter o sentido de rotação de um motor, ligar e desligar uma lâmpada por relé e ainda, variar a potência entregue a uma lâmpada entre 0 e 100% do valor nominal.

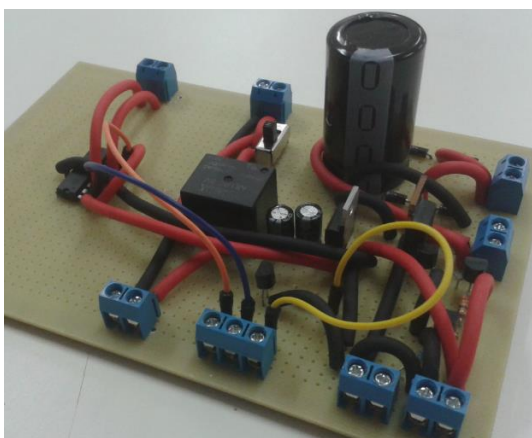


Figura 15 - Módulos de Acionamento Construídos
Fonte: Autoria própria.

5.2 - IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA NO SERVIDOR

O sistema no servidor é dividido em três partes, que são: a comunicação com o coordenador ZigBee, banco de dados e interface do utilizador. A seguir serão

apresentadas as formas como o sistema foi concebido e este é mostrado na Figura 16.

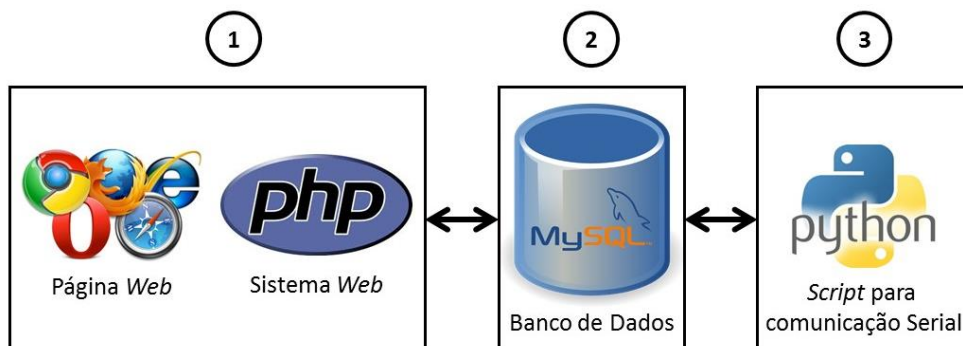


Figura 16 - Diagrama de Blocos do Sistema Web
Fonte: Autoria própria.

O elemento central do sistema é o banco de dados (BD) MySQL (2), que contém uma tabela especificamente para armazenar as mensagens recebidas pela rede ZigBee e as mensagens a serem enviadas, chamada "Message". A estrutura completa do banco de dados é mostrada na Figura 17 em seu diagrama relacional. O *script* de criação das tabelas do BD encontra-se no APÊNDICE A - Script de Criação do Banco de Dados MySQL.

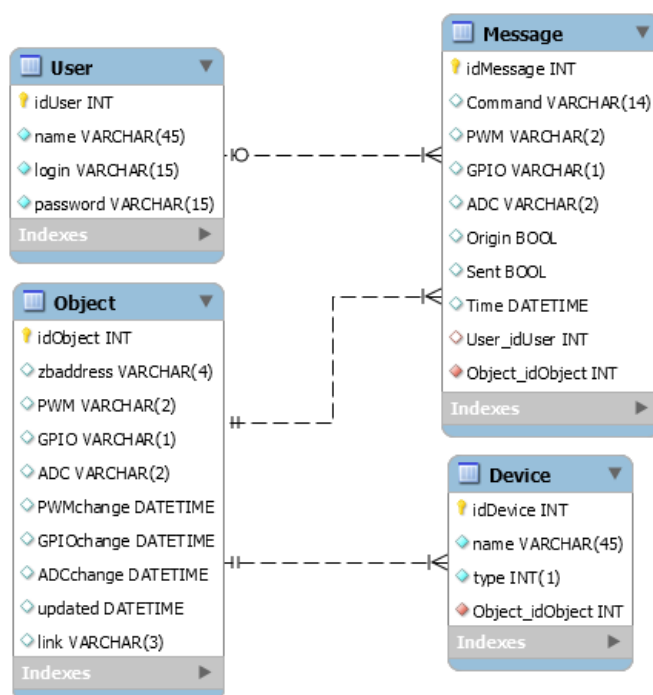


Figura 17 - Diagrama relacional do banco de dados
Fonte: Autoria própria.

Tendo como base essa estrutura, foi desenvolvido um *script* em linguagem Python (3) para fazer o envio e o recebimento de dados entre o sistema e o coordenador ZigBee através de uma porta serial. Primeiramente, o *script* lê a serial e, caso haja dados a receber, as informações são formatadas de acordo com o protocolo e é registrado no banco de dados que houve o recebimento de uma mensagem. Na sequência, é realizada uma comparação entre os valores obtidos pela serial e os previamente existentes no banco. Caso haja divergência, os valores são atualizados na tabela *Object*, que é responsável por armazenar as informações pertinentes aos objetos ZigBee do sistema. Se não houver dados a serem recebidos pela serial, um *timeout* iniciará o processo de envio de dados, no qual a tabela de mensagens do banco é lida. Caso haja algum dado pendente de envio, então a mensagem é montada e enviada via serial para o coordenador da rede. Este ciclo se repete infinitamente. Para obter o *script*, consulte o APÊNDICE B – Códigos Fonte.

Do lado oposto ao Python do banco de dados existe a interface do utilizador, que neste caso é *web*, pelo sistema criado em PHP (1). Este sistema possui uma página de *login* para que somente utilizadores cadastrados possam acessar as informações. A página inicial mostra todos os objetos cadastrados no sistema. É importante ressaltar que os objetos do sistema *web* não são os mesmos da rede *wireless*, pois um elemento da rede *wireless* contém 1 PWM, 1 GPIO e 1 ADC implementados no microcontrolador Tiva. Sendo assim, no sistema *web* é feito um cadastro do objeto que faz referência a uma dessas funções do Tiva. Ou seja: cada elemento da rede ZigBee pode estar associado a até três objetos no sistema *web*, e estes elementos são cadastrados na tabela "Device" do BD. Esse registro é feito porque nem sempre são utilizados todos os recursos disponíveis no Tiva, além de que o usuário pode customizar a interface.

A Figura 18 apresenta um exemplo de página inicial que, além de mostrar o *status* atual do dispositivo, ainda contém botões para que seja possível fazer a mudança de estado lógico através da página. Com isso, o utilizador verifica o estado do dispositivo e pode mudar de acordo com a necessidade.

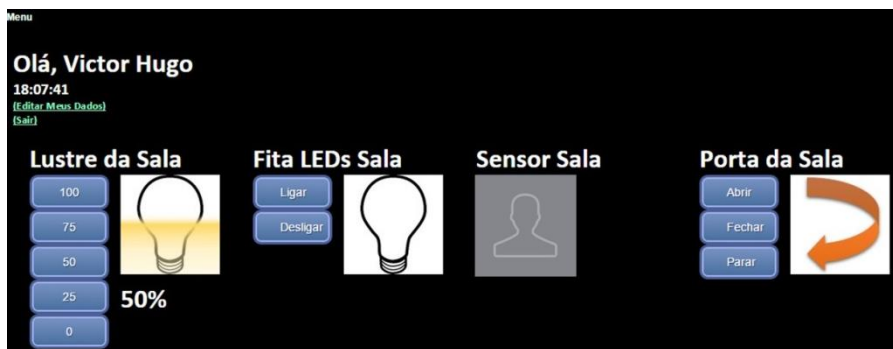


Figura 18 - Interface Principal do Sistema Web
Fonte: Autoria própria.

Quando o utilizador aperta um botão para mudança de estado, o sistema adiciona uma linha na tabela de mensagens do BD para que o *script* Python faça a leitura e envie para o coordenador da rede. Finalmente, o sistema *web* faz buscas constantes no banco para mostrar ao utilizador o estado atual do dispositivo, e ainda é possível atuar sobre este através de mensagens específicas.

A página *web* contém uma sessão que mostra todos os objetos cadastrados no sistema *web* e há a possibilidade de gerenciamento destes objetos, como criação, modificação e exclusão. Ainda, há outra página que mostra os dispositivos presentes na rede ZigBee, com informações pertinentes, como estado e qualidade do *link*, com a possibilidade de adição e exclusão desses dispositivos. Estas duas páginas de administração do sistema são ilustradas nas Figuras 19 e 20. Para obter o sistema *web*, consulte o APÊNDICE B – Códigos Fonte.

ID	Nome	Tipo	Valor	Endereço Tiva	Endereço ZigBee	Última Mudança de Estado
1	Lustre da Sala	Dimmer	50	1	A3B6	2015-06-15 18:32:32
2	Fita LEDs Sala	ON/OFF	0	1	A3B6	2015-06-15 18:32:32
3	Sensor Sala	Sensor	0	1	A3B6	2015-06-15 18:32:32
4	Porta da Sala	Motor	2	2	4F32	2015-06-15 18:32:32

NOVO

Figura 19 - Tabela de Objetos do Sistema Web
Fonte: Autoria própria.

ID	Endereço ZigBee	PWM	Última Mudança (PWM)	GPIO	Última Mudança (GPIO)	ADC	Última Mudança (ADC)	Última Mudança de Estado	Link
1	A3B6	50	2015-06-15 18:32:32	0	2015-06-15 18:32:32	0	2015-06-15 18:32:32	2015-06-15 18:32:32	37
2	4F32	XX	2015-06-15 18:32:32	2	2015-06-15 18:32:32	XX	2015-06-15 18:32:32	2015-06-15 18:32:32	125

Figura 20 - Tabela de Objetos da Rede Zigbee
Fonte: Autoria própria.

5.3 - SOFTWARES UTILIZADOS NO PROJETO

Para a programação do microcontrolador Tiva, foram necessários os *softwares*: plataforma de programação Code Composer Studio Versão 6.1.0; TI RTOS for TivaC Versão 2.00.02.36; TI Z-StackMesh Versão 1.0.0; além do *driver* TivaWare C Series Versão 2.1.0.12573.

Para o desenvolvimento do modelo e gerenciamento do BD foi utilizado o MySQL Workbench 6.2 CE, para a página *web* foi utilizado o NetBeans IDE 8.0.2, e para o *script* Python, IDLE Python Shell 3.4.3. Todos os *softwares* citados são gratuitos e o sistema foi desenvolvido em ambiente Windows.

5.4 - TESTES

Após a implementação e verificação da funcionalidade do sistema, foram executados alguns testes na rede ZigBee com o objetivo de avaliar a solução construída.

Primeiramente, a distância alcançada entre o coordenador da rede e um nó final foi de aproximadamente 60 metros em campo aberto. Entretanto, dentro de uma residência foi alcançada a distância de aproximadamente 15 metros com barreiras físicas como paredes e mobília. É importante ressaltar que a qualidade do sinal varia

muito de acordo com as condições ambientais, posição dos rádios, quantidade e tipo de obstáculos.

Ao inserir um roteador ZigBee entre os dois nós, foi possível perceber que o alcance entre o nó final e o coordenador da rede aumentam em praticamente o dobro, visto que se somam os alcances do coordenador, roteador e nó final. Com isso, é possível verificar a eficácia e relativa facilidade em se aumentar o alcance do sistema com a inclusão de roteadores ZigBee devido a estrutura *mesh* da rede, conforme observado em testes práticos.

6. CONCLUSÃO

Após a realização da pesquisa de mercado, percebeu-se a necessidade de explorar as tecnologias de comunicação sem fio e aplicá-las na domótica em virtude dos elevados ganhos em versatilidade, praticidade e facilidade de instalação. Dessa forma, implementou-se um sistema de automação predial diferente dos atualmente oferecidos pelo mercado, no que diz respeito a estrutura de rede em malha oferecida pelo ZigBee. Obstáculos como paredes, vidros e espelhos dificultam a comunicação quando as distancias tornam-se maiores e por isso uma rede *mesh* se mostra vantajosa nas aplicações desenvolvidas neste trabalho, pois caso o alcance não seja suficiente basta incluir um roteador para aumentar a distância.

Desenvolveu-se, também, uma interface *web* para o sistema, pois desta maneira não importa qual seja o sistema operacional do aparelho do usuário, desde que esse tenha um navegador de Internet, poderá controlar os dispositivos. Sendo assim, é possível liberar o acesso remoto ao servidor e acessar a mesma página a partir de qualquer lugar do planeta. Para o sistema, foi utilizado um servidor com o pacote WAMP (Windows, Apache, MySQL e PHP).

Como resultado deste projeto, verificou-se o correto funcionamento da rede ZigBee para distâncias de até 15 metros com barreiras. Observou-se também que tal alcance pode ser dobrado pelo acréscimo de um dispositivo intermediário ZigBee configurado como roteador, conforme a característica *mesh* do sistema. Através disso foi possível obter informações de sensores, acionar relés, dimerizar lâmpadas e comandar motores DC através de uma página *web*.

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com base nos resultados obtidos, indica-se como sugestão para trabalhos futuros as seguintes melhorias:

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

- b) otimização da montagem dos circuitos de acionamento através de placas de circuito impresso e componentes *surface-mount technology*;
- c) desenvolvimento de um servidor *web* baseado em eventos ao invés de fazer buscas constantes ao banco de dados;
- d) otimizar a integração de todos os circuitos de acionamento com os interruptores manuais, a fim de que o sistema funcione mesmo que os equipamentos venham a falhar;
- e) ampliação do escopo através do desenvolvimento de novos circuitos de acionamento para diferentes cargas e aplicações.

7. REFERÊNCIAS

BLUETOOTH SIG. **Best Practices Guide for Smart Home Market Success**. Disponível em <<http://www.Bluetooth.com/Pages/Smart-Home-Market.aspx>> Acesso: 23 de janeiro de 2015

DIAS, C. L. de A. **Domótica: aplicabilidade as edificações residenciais**. Dissertação - Universidade Federal Fluminense. Niterói, 2004.

DIGI. **Xbee**. Disponível em <<http://www.digi.com/xbee/>> Acesso: 24 de outubro de 2014

ELECTRONIC DESIGN. **Diferença entre ZigBee e Z wave**. Disponível em <<http://electronicdesign.com/communications/what-s-difference-between-zigbee-and-z-wave>> Acesso: 23 de janeiro de 2015

FREITAS, C. C. **Automação Residencial: uma abordagem em relação as atuais tecnologias e perspectivas para o futuro**. Disponível em <<http://connepi.ifal.edu.br/ocs/index.php/connepi/CONNepI2010/paper/viewFile/111/128>> Acesso: 03 de maio de 2014

GILL, k. et al. A ZigBee-Based Home Automation System. **IEEE Transactions Consumer Electronics**, v.55, n. 2, Maio 2009.

INFOWESTER. **Bluetooth**. Disponível em <<http://www.infowester.com/Bluetooth.php>> Acesso: 23 de janeiro de 2015

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo 2010**. Novembro 2010. Disponível em <<http://censo2010.ibge.gov.br/>> Acesso: 29 de maio de 2014

INSTRUCTABLES. **Home Automation Using Bluetooth**. Disponível em <<http://www.instructables.com/id/Home-Automation-using-Bluetooth/all/?lang=pt>> Acesso: 23 de janeiro de 2015

ISIMPLEX. **iSimplex Server**. Disponível em <<http://www.isimplex.com/index.php/home-server.html>> Acesso: 28 de janeiro de 2015

LUTRON. **Home Energy Solutions**. Disponível em <<http://www.lutron.com/en-US/Pages/default.aspx>> Acesso: 28 de janeiro de 2015

NETCRAFT. **January 2015 Web Server Survey**. Disponível em <<http://news.netcraft.com/archives/2015/01/15/january-2015-web-server-survey.html#more-18374>> Acesso: 02 de fevereiro de 2015.

SCHNEIDER ELECTRIC. **Intelligent Home Control**. Disponível em <<http://ferramentas.schneiderelectric.com.br/prime/produtos/automacao/manual/IHC.pdf>> Acesso: 28 de janeiro de 2015

TEXAS INSTRUMENTS. **CC 2530**. Disponível em <<http://www.ti.com/product/cc2530>> Acesso: 24 de outubro de 2014(a)

TEXAS INSTRUMENTS. **Tivaware peripheral library Version 2.1.1.71**. Disponível em <<http://www.ti.com/lit/ug/spmu298a/spmu298a.pdf>> Acesso: 21 de maio de 2015(b)

TEXAS INSTRUMENTS. **Z-Stack Developer's Guide SWRA176 Version 1.10**. Disponível em <<http://webstaff.itn.liu.se/~qinye/tne090/Z-Stack%20Developer's%20Guide.pdf>> Acesso: 05 de outubro de 2014(c)

TEXAS INSTRUMENTS. **Z-stack Link Quality Indicator (ZigBee)**. Disponível em <https://e2e.ti.com/support/wireless_connectivity/w/design_notes/z-stack-link-quality-indicator-zigbee> Acesso: 15 de outubro de 2014(d)

TEXAS INSTRUMENTS. **ZNP Host Framework Design Guide Version January 2015**. Disponível em <<http://www.ti.com/lit/ug/tidu757/tidu757.pdf>> Acesso: 15 de abril de 2015(e)

W3TECHS. **Usage of server-side programming languages for websites**. Disponível em <http://w3techs.com/technologies/overview/programming_language/all> Acesso: 03 de fevereiro de 2015(a)

W3TECHS. **Usage statistics and market share of PHP for websites**. Disponível em <<http://w3techs.com/technologies/details/pl-php/all/all>> Acesso: 03 de fevereiro de 2015(b)

Z-WAVE ALLIANCE. **Z Wave**. Disponível em <<http://www.z-wavealliance.org/>> Acesso: 24 de outubro de 2014

ZIGBEE ALLIANCE. **Zigbee**. Disponível em <<http://zigbee.org/>> Acesso: 04 de outubro de 2014

8. APÊNDICE A - Script de Criação do Banco de Dados MySQL

```

-- MySQL Script generated by MySQL Workbench
-- 06/15/15 18:29:20
-- Model: New Model    Version: 1.0
-- MySQL Workbench Forward Engineering

SET @OLD_UNIQUE_CHECKS=@@UNIQUE_CHECKS, UNIQUE_CHECKS=0;
SET @OLD_FOREIGN_KEY_CHECKS=@@FOREIGN_KEY_CHECKS, FOREIGN_KEY_CHECKS=0;
SET @OLD_SQL_MODE=@@SQL_MODE, SQL_MODE='TRADITIONAL,ALLOW_INVALID_DATES';

-----
-- Schema TCC
-----
DROP SCHEMA IF EXISTS `TCC` ;

-----
-- Schema TCC
-----
CREATE SCHEMA IF NOT EXISTS `TCC` DEFAULT CHARACTER SET utf8 COLLATE
utf8_general_ci ;
USE `TCC` ;

-----
-- Table `TCC`.`User`
-----
DROP TABLE IF EXISTS `TCC`.`User` ;

CREATE TABLE IF NOT EXISTS `TCC`.`User` (
  `idUser` INT UNSIGNED NOT NULL AUTO_INCREMENT,
  `name` VARCHAR(45) NOT NULL,
  `login` VARCHAR(15) NOT NULL,
  `password` VARCHAR(15) NOT NULL,
  PRIMARY KEY (`idUser`),
  UNIQUE INDEX `login_UNIQUE` (`login` ASC),
  UNIQUE INDEX `idUser_UNIQUE` (`idUser` ASC))
ENGINE = InnoDB;

-----
-- Table `TCC`.`Object`
-----
DROP TABLE IF EXISTS `TCC`.`Object` ;

CREATE TABLE IF NOT EXISTS `TCC`.`Object` (
  `idObject` INT UNSIGNED NOT NULL,
  `zbaddress` VARCHAR(4) NULL,
  `PWM` VARCHAR(2) NULL,
  `GPIO` VARCHAR(1) NULL,
  `ADC` VARCHAR(2) NULL,
  `PWMchange` DATETIME NULL DEFAULT NOW(),
  `GPIOchange` DATETIME NULL DEFAULT NOW(),
  `ADCchange` DATETIME NULL DEFAULT NOW(),
  `updated` DATETIME NULL DEFAULT NOW(),
  `link` VARCHAR(3) NULL DEFAULT 0,
  PRIMARY KEY (`idObject`),
  UNIQUE INDEX `idObject_UNIQUE` (`idObject` ASC))
ENGINE = InnoDB;

```



```

-----
-- Table `TCC`.`Message`
-----
DROP TABLE IF EXISTS `TCC`.`Message` ;

CREATE TABLE IF NOT EXISTS `TCC`.`Message` (
  `idMessage` INT UNSIGNED NOT NULL AUTO_INCREMENT,
  `Command` VARCHAR(14) NULL,
  `PWM` VARCHAR(2) NULL,
  `GPIO` VARCHAR(1) NULL,
  `ADC` VARCHAR(2) NULL,
  `Origin` TINYINT(1) NULL,
  `Sent` TINYINT(1) NULL DEFAULT 1,
  `Time` DATETIME NULL DEFAULT NOW(),
  `User_idUser` INT UNSIGNED NULL,
  `Object_idObject` INT UNSIGNED NOT NULL,
  PRIMARY KEY (`idMessage`),
  UNIQUE INDEX `idMessage_UNIQUE` (`idMessage` ASC),
  INDEX `fk_Message_User_idx` (`User_idUser` ASC),
  INDEX `fk_Message_Object1_idx` (`Object_idObject` ASC),
  CONSTRAINT `fk_Message_User`
    FOREIGN KEY (`User_idUser`)
      REFERENCES `TCC`.`User` (`idUser`)
      ON DELETE NO ACTION
      ON UPDATE NO ACTION,
  CONSTRAINT `fk_Message_Object1`
    FOREIGN KEY (`Object_idObject`)
      REFERENCES `TCC`.`Object` (`idObject`)
      ON DELETE NO ACTION
      ON UPDATE NO ACTION)
ENGINE = InnoDB;

-----
-- Table `TCC`.`Device`
-----
DROP TABLE IF EXISTS `TCC`.`Device` ;

CREATE TABLE IF NOT EXISTS `TCC`.`Device` (
  `idDevice` INT UNSIGNED NOT NULL AUTO_INCREMENT,
  `name` VARCHAR(45) NOT NULL DEFAULT 'no name',
  `type` INT(1) UNSIGNED NOT NULL DEFAULT 0,
  `Object_idObject` INT UNSIGNED NOT NULL,
  PRIMARY KEY (`idDevice`),
  UNIQUE INDEX `idDevice_UNIQUE` (`idDevice` ASC),
  INDEX `fk_Device_Object1_idx` (`Object_idObject` ASC),
  CONSTRAINT `fk_Device_Object1`
    FOREIGN KEY (`Object_idObject`)
      REFERENCES `TCC`.`Object` (`idObject`)
      ON DELETE NO ACTION
      ON UPDATE NO ACTION)
ENGINE = InnoDB;

SET SQL_MODE=@OLD_SQL_MODE;
SET FOREIGN_KEY_CHECKS=@OLD_FOREIGN_KEY_CHECKS;
SET UNIQUE_CHECKS=@OLD_UNIQUE_CHECKS;

```

9. APÊNDICE B – Códigos Fonte

Link para script Python: <https://www.dropbox.com/sh/g3yjbmhnvdp8oes/AAA0yxltL9yJODBLWYivaMT2a?dl=0>

Projeto do Banco do Dados e código fonte: https://www.dropbox.com/sh/hagmp5d3jsavkbt/AABU_g-Kr83rayQsqeRyNKqca?dl=0

Firmwares do microcontrolador Tiva: <https://www.dropbox.com/sh/ssk1c2v4v3k09i9/AABmZpMOsVJEyB1StLJd0LVya?dl=0>

Código fonte do sistema *web*: https://www.dropbox.com/sh/53yuy14r0flo815/AAD7Moy_RVdCqn4JoC1LYM8la?dl=0