



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
COLEGIADO DO CURSO DE ENGENHARIA DE
CONTROLE E AUTOMAÇÃO - CEC AU**



THIAGO LOUREIRO CARVALHO

**SISTEMA DE CONTROLE DE ILUMINAÇÃO SEM FIO PARA EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA E CONFORTO AMBIENTAL**

**MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO**

Ouro Preto, 2015

THIAGO LOUREIRO CARVALHO

**SISTEMA DE CONTROLE DE ILUMINAÇÃO SEM FIO PARA EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA E CONFORTO AMBIENTAL**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro de Controle e Automação.

Orientador : Alan Kardek Rêgo Segundo

Co-orientador: Luiz Fernando Rispoli Alves

Ouro Preto
Escola de Minas - UFOP
Junho/2015

Monografia defendida e aprovada, em 03 de julho de 2015, pela comissão avaliadora constituída pelos professores:



Prof. Dr. Alan Kardek Rego Segundo - Orientador



Prof. Dr. Paulo Marcos de Barros Monteiro – Professor Convidado



Prof. Dr. Luiz Fernando Rísoli Alves – Professor Convidado

“Não tentes ser bem sucedido, tente antes ser um homem de valor.”

Albert Einstein

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha mãe, Klitia, minha melhor amiga, por todo apoio, amor e ensinamentos, não apenas neste momento, mas pelo que foi me dado durante toda minha vida.

A toda minha família, pelo exemplo e pelo carinho.

Aos meus amigos de Vitória, pelos momentos mais incríveis e inigualáveis que passamos. Levarei por toda minha vida.

Ao pessoal da Republica Mukifu, pelo companheirismo, força, paciência e pelo aprendizado da vida.

Ao Laboratório de Automação Predial e os professores Rispoli, Paulo Monteiro e Alan pelas oportunidades e pelo aprendizado.

Aos grandes mestres da Automação 09.1, melhor turma da UFOP.

A todos meus amigos de Ouro Preto, pelos “rocks” e a todos que de alguma forma contribuíram para que eu conseguisse atingir esta etapa da vida.

RESUMO

Atualmente, o perfil da iluminação em edificações urbanas no Brasil ainda é ineficiente e atrasado. Novas tecnologias na área de iluminação como o LED estão cada vez mais presentes no mercado e já são utilizados em vários lugares da Europa. O desenvolvimento de sistemas de iluminação inteligentes podem trazer benefícios. Tais como evitar o consumo desnecessário de energia elétrica e também proporcionar segurança e conforto. Também pode melhorar qualidade de determinadas atividades cotidianas que são diretamente influenciadas pela iluminação dos ambientes. Podem criar ambientes dinâmicos ao alterar as tonalidades das cores da iluminação de acordo com a necessidade ou o clima. A tecnologia de comunicação sem fio junto com sistemas de automação residencial elimina os cabos para comunicação entre seus dispositivos. Isso facilita a mudança de posicionamento de sensores. Também torna possível o controle e monitoramento desses sistemas via notebooks ou smartphones. Este trabalho apresenta uma abordagem sobre as principais fontes de iluminação residencial, microcontroladores e sistemas embutidos, o protocolo de rede TCP/IP e o padrão ZigBee utilizado para comunicação sem fio entre dispositivos eletrônicos. Com a junção dessas tecnologias foi desenvolvido um sistema de controle de iluminação que faz o aproveitamento da luz natural do ambiente com a utilização de um sensor sem fio. Para a interface entre o usuário e o sistema, é utilizado um aplicativo para Android desenvolvido em linguagem JAVA. Isso torna possível controlar o sistema a partir de um smartphone conectado à rede local.

Palavras-Chave: Controle de Iluminação, LED, eficiência energética, sensor sem fio, automação residencial.

ABSTRACT

Currently, the illumination profile of urban buildings in Brazil still inefficient and backward. New technologies in the lighting area as the LED are more present in the market and are already used in various places in Europe. The development of intelligent lighting systems can bring benefits. Such as avoiding unnecessary consumption of electricity and also provide safety and comfort. It can also improve quality of certain everyday activities that are directly influenced by ambient light. Dynamic environments can be created by changing the color tones of the lighting according to the need or mood. Wireless communication technology along with home automation systems eliminates cables for communication between your devices. This facilitates the change of sensor positioning. Also makes it possible to control and monitor these systems via notebooks or smartphones. This paper presents a discussion of the major sources of residential lighting, microcontrollers and embedded systems, network protocol TCP / IP and the ZigBee standard for wireless communication between electronic devices. With the combination of these technologies was developed a lighting control system that makes use of natural ambient light using a wireless sensor. For the interface between the user and the system is used an Android application developed in JAVA language. This makes it possible to control the system from a smartphone connected to the local network.

Keywords: Lighting control, LED, energy efficiency, wireless sensor, home automation.

LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

EPE - Empresa de Pesquisa Energética

LED - *Light-emitting diode* - Diodo emissor de luz

PWM - *Pulse-width modulation* - Modulação por largura de pulso

IRC - *Índice de reprodução de cor*

TCP/IP - *Transmission Control Protocol/ Internet Protocol*

SMS - *Short Message Service*

CPU - *Central Processing Unit*

ULA - *Unidade Lógica Aritmética*

RAM - *Random Access Memory*

ROM - *Read Only Memory*

SPI - *Serial Peripheral Interface*

I²C - *Inter Integrated Circuit*

USART - *Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter*

RS232 - *Recommended Standard 232*

HTTP – *Hyper Text Transfer Protocol*

DHCP - *Dynamic Host Configuration Protocol*

FTP - *File Transfer Protocol*

UDP - *User Datagram Protocol*

IEEE - *Institute of Electrical and Electronics Engineers*

MAC - *Media Access Control*

PAN- *Personal Area Network*

FFD - *Full Function Device*

RFD - *Reduced Function Device*

PHY - *Physical Layer*

LDR - *Light Dependent Resistor*

WAN - *Wide Area Network*

RISC - *Reduced Instruction Set Computer*

USB - *Universal Serial Bus*

SMTP - *Simple Mail Transfer Protocol*

DNS - *Domain Name System*

FTP - *File Transfer Protocol*

APS - *Application Support Sublayer*

ZDO - *ZigBee Device Objects*

AF - *Application Frameworks*

LCD - *Liquid Crystal Display*

LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1 - Classificação de rede por escala.....	39
Tabela 6.1 - Especificações e características dos módulos XBee.	50
Tabela 6.2 - Pinos do Módulo XBee	52
Tabela 7.1 - Protocolo de comandos do sistema	56
Tabela 7.2 - Valores de tensão no sensor e iluminância medida pelo luxímetro	59
Tabela 7.3 - Tabela de níveis de iluminância em residências.	61

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Espectro eletromagnético e espectro da luz visível	19
Figura 2.2 - Temperatura de cor	20
Figura 2.3 - Lâmpada Incandescente	21
Figura 2.4 - Figura: Lâmpada Fluorescente	22
Figura 2.5 - Fita de LED de 12 volts	23
Figura 3.1 - Componentes de um sistema embutido	24
Figura 3.2 - Ciclo de Máquina ou Instrução	26
Figura 3.3 - Pinos do PIC18F4550.	28
Figura 3.4 - Figura: Modelo de entrada analógica.....	29
Figura 3.5 - Interrupção	30
Figura 3.6 - Forma do Sinal PWM.	31
Figura 3.7 - Transmissão RS232 assíncrona.	32
Figura 3.8 - Comunicação Master-Slave (Mestre-Escravo).	33
Figura 4.1 - Exatidão e Precisão	35
Figura 4.2 - Sensor LDR	36
Figura 4.3 - Sensibilidade do LDR. Resistência em função da iluminância	36
Figura 4.4 - Diagrama de bloco das etapas da instrumentação	37
Figura 5.1 - Modelo cliente/servidor envolvendo solicitações e respostas.	38
Figura 5.2 - Sistema não hierárquico, ponto a ponto.....	39

Figura 5.3 - Camadas de protocolos.	40
Figura 5.4 - Pilha TCP/IP de camadas.....	41
Figura 5.5 - Barramento Ethernet e rede Wireless	43
Figura 5.6 - Circuito Integrado ENC28J60	44
Figura 5.7 - Módulo com o controlador Ethernet ENC28J60	44
Figura 6.1 - Camadas do protocolo de rede do sistema ZigBee.	48
Figura 6.2 - Topologias de rede Zigbee.....	49
Figura 6.3 - Módulo XBee.....	49
Figura 6.4 - Comunicação serial entre um microcontrolador e um módulo XBEE	51
Figura 7.1 – Esquema de ligação do módulo central.....	55
Figura 7.2 - Divisor de Tensão com LDR	58
Figura 7.3 - Curva Iluminância x Tensão	59
Figura 7.4 - Aplicativo Android	61
Figura 7.5 - Arquitetura ANDROID.....	62
Figura 7.6 – Erro em função do tempo.....	64

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	Objetivo Geral.....	15
1.2	Justificativa	16
1.3	Organização do Texto	16
2	LUZ E ILUMINAÇÃO	18
2.1	Iluminação e seus principais aspectos	19
2.1.1	Lâmpadas incandescentes.....	21
2.1.2	Lâmpadas Fluorescentes.....	22
2.1.3	Diodo Emissor de Luz (LED).....	22
3	SISTEMAS EMBUTIDOS	24
3.1	Unidade Central de Processamento	25
3.2	Memórias	26
3.3	Dispositivos de entrada e Saída	27
3.4	Microcontroladores PIC.....	27
3.4.1	Conversão Analógico/Digital	28
3.4.2	Interrupções	29
3.4.3	Modulação por largura de pulso (PWM).....	30
3.5	Comunicação entre PIC e outros dispositivos	31
3.5.1	Módulo USART	31
3.5.2	Protocolo RS232.....	32

3.5.3	Protocolo SPI.....	32
4	INSTRUMENTAÇÃO	34
4.1	Conceitos básicos.....	34
4.2	Sensor de Luminosidade fotocondutivo	35
4.3	Instrumentação Digital.....	36
5	REDES DE COMPUTADORES E PROTOCOLOS	38
5.1	Aplicações de redes	39
5.2	Camadas de Rede.....	40
5.3	Protocolo TCP/IP	41
5.3.1	Camadas do Protocolo TCP/IP	41
5.3.2	Camada de Aplicação	42
5.3.3	Camada de Transporte	42
5.3.4	Camada de Rede	42
5.3.5	Camada de Enlace/Física.....	43
5.4	Comunicação entre microcontrolador e redes.....	44
6	PROTOCOLO ZIGBEE	45
6.1	Dispositivos ZigBee e Modos de Operação.....	45
6.2	Camadas do Protocolo ZigBee.....	46
6.3	Topologias de Rede do padrão ZigBee	48
6.4	Módulo XBee.....	49

7	DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE CONTROLE DE ILUMINAÇÃO SEM FIO PARA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E CONFORTO AMBIENTAL.....	54
7.1	Módulo central (Mestre/Servidor)	54
7.1.1	Programação do firmware	55
7.2	Módulo de sensor sem fio	57
7.2.1	Configuração dos módulos (XCT-U)	58
7.2.2	Calibragem do sensor de luminosidade	58
7.3	Desenvolvimento do aplicativo “Android”	60
7.3.1	Plataforma Android	62
7.3.2	Programação em Linguagem JAVA do aplicativo	63
7.4	Testes e Resultados	63
8	CONCLUSÃO.....	65
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66

1 INTRODUÇÃO

Nos dias atuais a energia elétrica é quase indispensável e sua necessidade só vem aumentando. Desde tempos imemoriais o homem procura o conforto, e com este tipo de energia, adquiriram-se novas tecnologias e equipamentos que trouxessem esse conforto, como a iluminação artificial, os aquecedores e refrigeradores de ar, entre outros. No entanto, essa energia não é utilizada de forma correta o que gera um grande desperdício e, consequentemente danos ao meio ambiente, haja vista que para sua produção em grandes proporções são utilizados recursos naturais não renováveis, que estão ficando cada vez mais escassos.

De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2010), com a crise do petróleo em 1970, percebeu-se a necessidade da diminuição dos gastos energéticos por aumento de custos e pelos impactos ambientais e sociais, procurando outras formas de gerar energia com fontes renováveis, como a energia solar e a eólica, além de alternativas para evitar o desperdício e reduzir, o consumo desnecessário da energia.

Para a EPE (2010), eficiência energética é realizar uma atividade, com a mesma qualidade ou superior, mas com menor gasto energético. Consequentemente, causa menores impactos econômicos, ambientais, sociais e culturais. As edificações urbanas, por exemplo, são responsáveis por grande parte do consumo da energia e poucas são construídas visando o conceito de eficiência energética. Segundo Costa (2007), na maioria das vezes as construções são inadequadas às características climáticas do meio-ambiente onde estão inseridas, o que resulta em ambientes que consomem muita energia para atender as necessidades de conforto ambiental dos usuários.

A iluminação no Brasil é pouco eficiente. Cerca de 50% das lâmpadas instaladas são incandescentes, com um rendimento que pode chegar à ordem de 2,2% (SOUZA, 2010). O aproveitamento da luz natural para a iluminação das edificações é uma boa alternativa para evitar o desperdício de energia elétrica. Assim como o bom dimensionamento da construção para evitar o consumo desnecessário com aquecedores e refrigeradores de ar. Vale destacar, que a utilização de equipamentos energeticamente eficientes e a mudança das atividades humanas também são necessárias.

O conforto e a qualidade de determinadas atividades cotidianas são diretamente influenciadas pela iluminação dos ambientes. O excesso ou a falta desta pode prejudicar o desenvolvimento de algumas atividades. Por outro lado, uma iluminação adequada do ambiente pode proporcionar um melhor aproveitamento dessas atividades. Segundo Valdir (2005) existe um consenso nos meios acadêmicos no sentido de que as cores são capazes de influenciar psicologicamente e de diferentes formas o ser humano, conforme o tom, a matiz, a saturação ou a luminosidade. Com a automação residencial é possível integrar e controlar os diversos sistemas, relacionados à comunicação, iluminação, climatização, segurança, áudio e vídeo de uma residência que para Wollz (2012) pode tornar ambientes mais confortáveis, seguros, prático e eficiente. Penachin (2009) diz que a automação residencial dá um sentimento de status ao usuário, além do conforto e eficiência que este tipo de sistema produz.

A Tecnologia de comunicação sem fio melhora muito a utilização de sistemas de automação residencial, eliminando os cabos para comunicação entre seus dispositivos, que possuem difícil instalação e pouca flexibilidade, além de facilitar a mudança de posicionamento de sensores (STEINHAUSER; MELLO, 2013).

Os sistemas de controle de iluminação aplicados conjuntamente com sistemas de automação residencial e a tecnologia de comunicação sem fio, são uma ótima opção para a redução do consumo de energia, para o bem-estar, para a segurança de seus usuários e praticidade. Podem também criar um ambiente dinâmico ao alterar as tonalidades das cores da iluminação de acordo com a necessidade ou o clima.

1.1 Objetivo Geral

Desenvolver um sistema de controle de iluminação visando à eficiência energética com o aproveitamento da luz natural e gerar conforto ambiental controlando a iluminação de LED, possibilitando maior rendimento nas tarefas realizadas pelo usuário naquele ambiente. O sistema estará conectado à rede local, o que torna possível controlar a intensidade luminosa e a cor da iluminação utilizando um dispositivo com a plataforma “Android”. A medição da iluminância será feita por meio de um módulo sem fio, que poderá ser colocado em qualquer lugar de onde o sistema for instalado.

1.2 Justificativa

De acordo com Silva (2006) os projetos de automação na área de energia são fundamentais para garantir o aumento da eficiência no uso da eletricidade, proporcionando um grande número de benefícios.

A busca pela eficiência energética não pode privar o usuário do conforto visual. Não basta apenas garantir o consumo de menor quantidade de energia elétrica possível, deve-se também garantir condições adequadas para o desenvolvimento das atividades visuais (BICUDO, 2009).

Com o planejamento correto da iluminação e das cores, tem-se uma economia de até 30% no consumo de energia e aumentos de produtividade que podem chegar a 80% (IIDA, 1990 apud BICUDO, 2009).

Um sistema inteligente de iluminação pode garantir condições de conforto ambiental com eficiência energética, trazendo o bem estar e maior produtividade do usuário com menor consumo de energia elétrica.

1.3 Organização do Texto

O trabalho é dividido em oito capítulos. No primeiro capítulo apresenta-se uma breve introdução sobre as temáticas abordadas, os objetivos e a consistência do trabalho.

O segundo capítulo traz uma abordagem sobre a luz e cor e como essas influenciam nas atividades cotidianas, além dos conceitos sobre iluminação.

O terceiro capítulo explica os conceitos básicos sobre sistemas embutidos, seus componentes, a interface e comunicação com outros dispositivos e suas aplicações.

O quarto capítulo apresenta uma rápida revisão sobre instrumentação, exibindo alguns conceitos e o dispositivo sensor utilizado para a leitura da luminosidade do ambiente.

No quinto capítulo se tem uma breve apresentação sobre redes de computadores e o protocolo TCP/IP utilizado no desenvolvimento deste trabalho e o controlador ethernet ENC28J60 utilizado para a comunicação entre o microcontrolador e a rede.

No sexto capítulo há uma introdução sobre padrão ZigBee e seus dispositivos, utilizados para a comunicação por radiofrequência e suas diversas aplicações.

O sétimo capítulo é composto pelo desenvolvimento do sistema, os componentes usados, a montagem do protótipo, além dos testes feitos.

No oitavo e último capítulo estão os resultados, a conclusão do trabalho e propostas para trabalhos futuros a partir do tema abordado.

2 LUZ E ILUMINAÇÃO

O ser humano é capaz perceber uma pequena faixa de comprimentos de onda no espectro eletromagnético. Esta é chamada de luz visível que possui comprimentos entre 380 e 780 nanômetros. A luz é uma forma de energia que pode ser refletida na superfície de alguns materiais e como essa é perceptível ao cérebro podemos enxergar estes corpos materiais. As ondas eletromagnéticas situadas em outras faixas do espectro têm características diferentes e recebem outros nomes, como o ultravioleta, o infravermelho, as ondas de rádio e micro-ondas (SILVA, 2004).

A sensação de quando se percebe a luz é chamada de cor. Cada indivíduo sente a ação da luz de forma diferente, então se entende que a cor pode ser um fenômeno psicológico e fisiológico, de caráter subjetivo e individual (FERREIRA, 2013). Se separarmos os comprimentos de onda do espectro da luz visível podemos perceber várias cores. A luz solar ou a luz branca, reuni de forma equilibrada várias faixas coloridas que se forem separadas uma a uma, formam-se as luzes monocromáticas. Tem-se também as cores pigmento, que são obtidas por substâncias corantes, ou seja, cores de tintas e químicas. As cores classificadas como primárias se misturadas em diferentes proporções, formam todas as outras cores do espectro visível. Estas cores são o vermelho, verde e azul e não podem ser decompostas, ou seja, não são formadas por misturas. Para a cor-pigmento, utilizada por artistas químicos e outros que a utilizem, as cores primarias são vermelho, amarelo e azul, que se misturadas formam um cinza-escuro (FERREIRA, 2013).

Quando os olhos recebem a luz, as células foto-sensoras repassam ao cérebro várias sensações além da interpretação das cores. Estas informações e sensações são transmitidas a várias partes do corpo humano como ao sistema límbico, as glândulas pituitárias, hipotálamo e pineal. Pode-se perceber a interferência fisiológica causada pelas cores já que estas glândulas fazem parte do sistema nervoso e são responsáveis pela sede, fome e libido, por exemplo e também o sistema límbico que tem influência nas emoções de amor, ódio, dor e satisfação (VALDIR, 2005).

As cores frias são utilizadas quando se precisa de um ambiente que induza a produtividade, então devem ser utilizadas lâmpadas com temperatura de cor mais alta, ou seja, um tom de cor

mais branco ou azulado. Esta cor gera a sensação de excitação e estimula a produtividade. É recomendada para ambientes de trabalho e estudo. Já uma cor morna que possui temperaturas de cor mais baixas são luzes mais amareladas, essas devem ser utilizadas em ambientes onde se precisa de relaxamento e conforto. A cor amarelada traz sensação de relaxamento. É bastante utilizada em ambientes que necessitam de aconchego, como quartos e restaurantes (SILVA, 2004).

A faixa de radiação infravermelho e ultravioleta não é visível por nós, mas é importante, pois as fontes de iluminação também emitem este tipo de radiação. A luz visível se localiza entre a faixa do infravermelho e ultravioleta, de acordo com a figura 2.1.

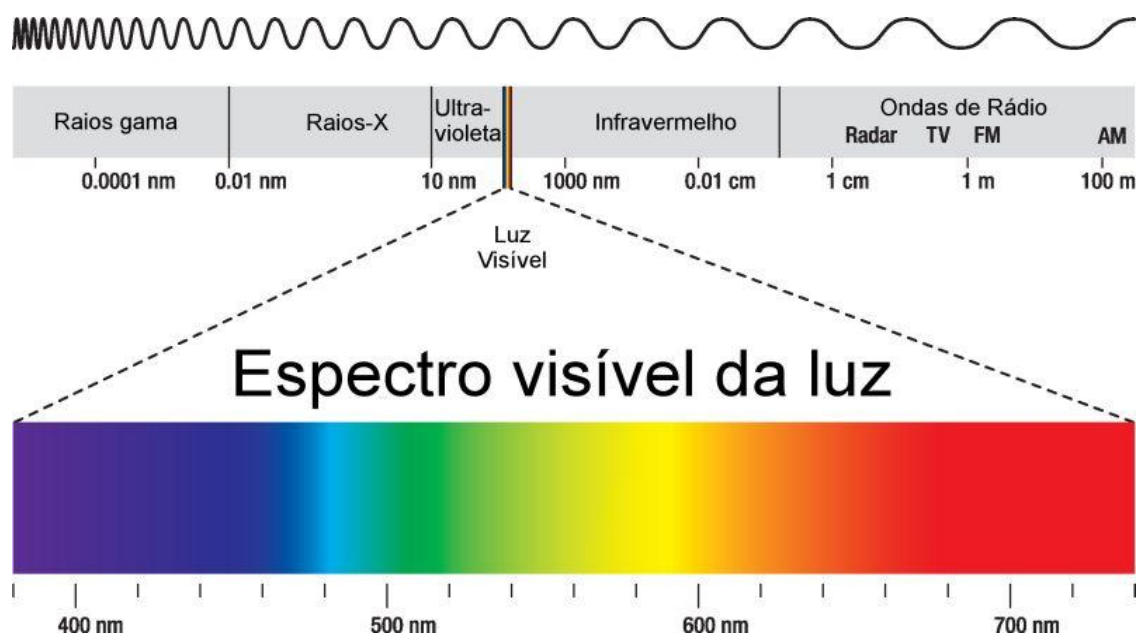


Figura 2.1 - Espectro eletromagnético e espectro da luz visível

2.1 Iluminação e seus principais aspectos

A primeira forma de iluminação artificial foi utilizada quando o homem começou a manipular o fogo que é uma fonte de luz e calor. Mas a primeira lâmpada a ser fabricada comercialmente foi viabilizada por Thomas Alva Edson, que era um filamento resistivo que ao passar corrente elétrica, aquecia até chegar a um estado de incandescência. O filamento era colocado em um tubo de vidro a vácuo, assim emitindo calor e luz. Este tipo de iluminação não é muito eficiente e pouco resistente, mas com o passar do tempo, com a descoberta de novas tecnologias vieram as lâmpadas halógenas, as lâmpadas fluorescentes, as lâmpadas de vapor

de sódio e os LEDs (SILVA, 2004). Este tópico apresenta os conceitos básicos de luminotécnica e as lâmpadas convencionais mais utilizadas em residências.

Fluxo Luminoso: Medida em lumens (lm), é a quantidade de luz emitida por alguma fonte.

Intensidade Luminosa: É a intensidade do fluxo luminoso em uma direção. É medida em candelas (cd).

Iluminância: É a relação entre a intensidade luminosa que incide em uma superfície e o quadrado da distância entre esta superfície e a fonte emissora. É dada em lux (lx).

Ângulo de radiação: É o ângulo de dispersão da luz produzido por um refletor que a direciona.

Durabilidade da lâmpada: O tempo de vida de uma lâmpada é expresso em horas, definido a partir de critérios preestabelecidos e vários testes.

Eficiência Luminosa: A relação entre a potência gasta pela lâmpada e o fluxo luminoso emitido por esta. É expresso em lm/W (lumens/watt).

A cor emitida por uma lâmpada é dada pela sua temperatura de cor, expressa em kelvins. As cores são separadas de acordo com a sua temperatura, quando essa é alta, a tonalidade da cor é mais azulada e se for baixa é mais avermelhada (SILVA, 2004).

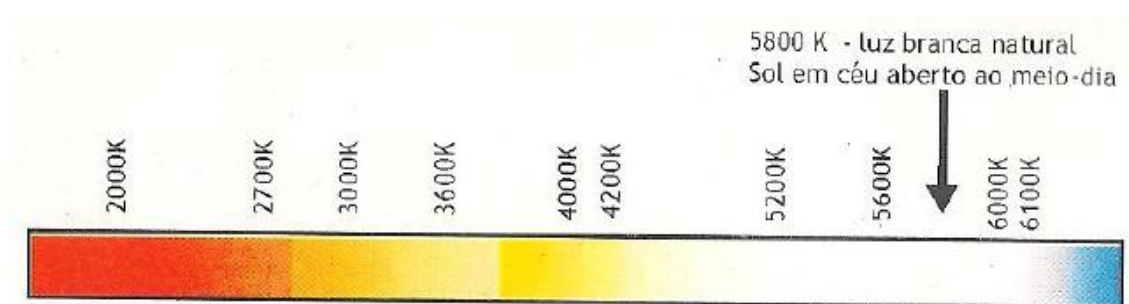


Figura 2.2 - Temperatura de cor

Fonte: SILVA, 2004

O índice de reprodução de cores (IRC) mede a capacidade da lâmpada de emitir uma luz artificial mais parecida com a luz natural. Tem-se que a luz natural tem um IRC de 100 em

condições específicas. Lâmpadas com índices de reprodução de cor abaixo de 60 são consideradas regulares e acima de 80 são consideradas boas (SILVA, 2004).

2.1.1 Lâmpadas incandescentes

Quando uma corrente elétrica passa por um filamento, ele aquece e gera um efeito incandescente ao ser colocado no vácuo ou em meio gasoso apropriado, produzindo luz e calor. O filamento deve ser feito com um material que tem ponto de fusão elevado e baixa evaporação. Esse não é muito resistente e se desgasta facilmente com o tempo, podendo queimar ou romper, possuindo um tempo de vida curto.

As lâmpadas incandescentes são classificadas de acordo com as suas características construtivas. As três mais comuns são: a incandescente convencional, a incandescente halógena e a incandescente halógena dicróica (GREGGIANIN et al. 2013).



Figura 2.3 - Lâmpada Incandescente

Fonte: Philips

2.1.2 Lâmpadas Fluorescentes

As lâmpadas fluorescentes tem o funcionamento diferente das incandescentes, onde a corrente elétrica passa por um reator, que emana para dentro da lâmpada uma tensão muito alta e protege o circuito, permitindo a partida do sistema. A lâmpada possui em suas extremidades eletrodos que lançam elétrons de um lado para o outro, até que se chocam com gotas de mercúrio que estão no bulbo da lâmpada. Esse choque gera radiação ultravioleta que quando atravessa o bulbo da lâmpada que é pintada por pó fluorescente, emite luz visível. É uma fonte de luz eficiente, comparada as incandescentes tem-se uma economia por volta de 75%, só que possui um IRC baixo, por volta de 85 (SILVA, 2004).



Figura 2.4 - Figura: Lâmpada Fluorescente

Fonte: Philips

2.1.3 Diodo Emissor de Luz (LED)

Atualmente, as lâmpadas de LED são bastante utilizadas. De acordo com Ascurra (2013) os LEDs podem ser uma alternativa para melhorar a eficiência de um sistema elétrico. Possuem bom desempenho luminotécnico e alta eficiência, além de causar poucos impactos negativos em relação ao meio ambiente, mostrando-se um potencial substituto para a iluminação convencional.

O LED (Light Emitter Diode) é um diodo semicondutor, que quando polarizado diretamente emite luz. Os díodos comuns de Silício ou Germânio, apenas liberam energia na forma de calor quando estão conduzindo eletricidade. No LED, quando polarizado diretamente, alguns elétrons não possuem energia suficiente para saltar da lacuna de valência para a lacuna de condução, ficando em uma parte intermediária. Eles não conseguem ficar na camada intermediária então voltam para uma camada de nível de energia inferior, perdendo energia em forma de fótons. O comprimento de onda da radiação emitida depende do tipo de material utilizado no LED. Atualmente sua eficiência ultrapassa 60% de rendimento, além disso, semicondutores de ligas distintas são capazes de emitir várias cores do espectro visível (MIRANDA et al., 2009).

Segundo Muller (2006 apud MIRANDA et al., 2009) a duração de sua vida útil é muito superior se comparado com as lâmpadas incandescentes e as lâmpadas fluorescentes. É importante realçar que a temperatura da junção dos LEDs afeta suas características óticas e elétricas. Deve-se garantir uma baixa temperatura da junção para garantir a máxima eficiência luminosa do dispositivo e assim fazer um bom projeto visando sua vida útil (MIRANDA et al., 2006).

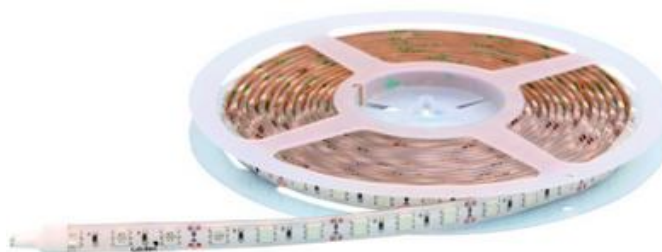


Figura 2.5 - Fita de LED de 12 volts

3 SISTEMAS EMBUTIDOS

Para Noergaard (2005), os sistemas embutidos são sistemas de computação aplicados que se diferenciam dos computadores convencionais ou supercomputadores, por terem limitações em questões de hardware e software comparado a eles. Estes sistemas são projetados para realizar funções pré-definidas, diferente do computador convencional que é de uso geral. Os sistemas embutidos estão presentes em vários equipamentos eletrônicos domésticos, em automóveis e na indústria, mas geralmente não se percebe. Esses sistemas são bastante utilizados na área automotiva (em sistemas de freios, injeção eletrônica e sistemas de ignição), em equipamentos domésticos (televisões, celulares, smartphones, micro-ondas, geladeiras), em controle de sistemas e robótica, na medicina (equipamentos de monitoramento de batimentos cardíacos, dispositivos em próteses), nos roteadores, hubs, impressoras e scanners (NOERGAARD, 2005). São altamente apropriados para sistemas de automação residencial.

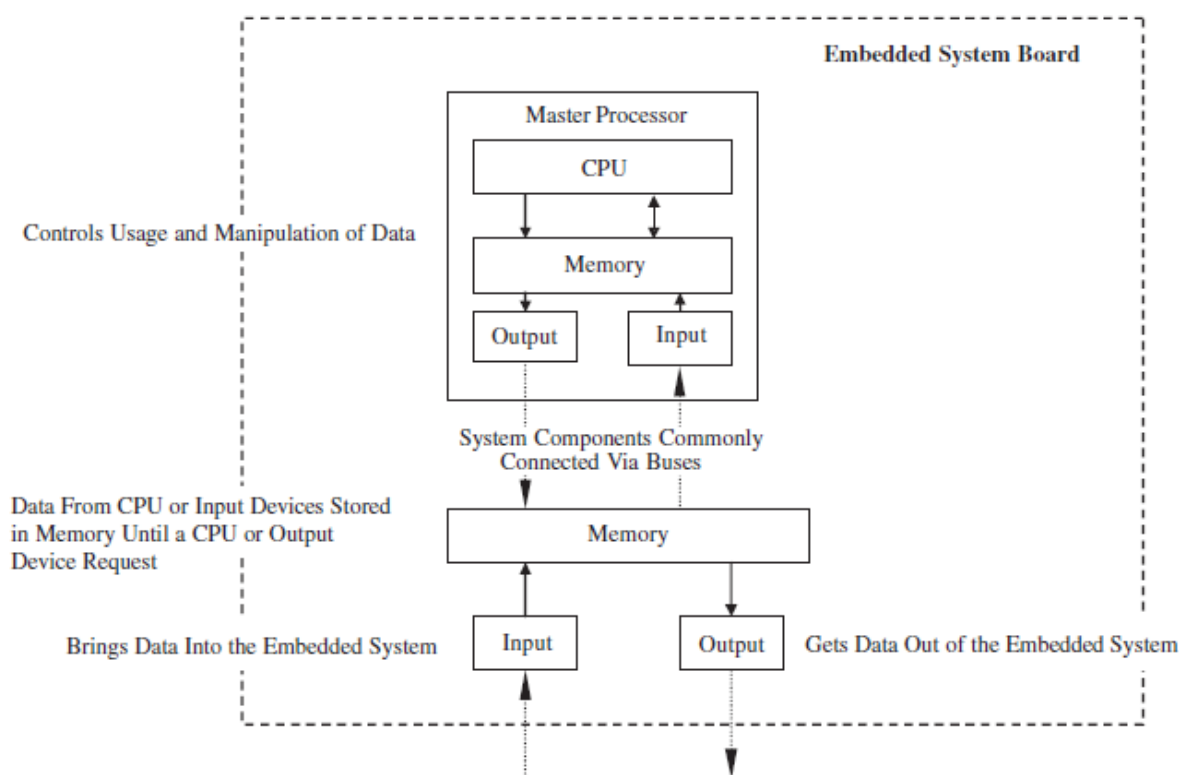


Figura 3.1 - Componentes de um sistema embutido

Fonte: NOERGAARD, 2005

Os componentes mais comuns em um sistema embutido são algum tipo de interface de comunicação (ethernet, serial, SPI), dispositivos de entrada e saída, memória não volátil (memória flash, EPROM ou ROM, por exemplo), memória volátil (RAM) e processadores, (MACHADO, 2006). A figura 3.1 mostra os componentes básicos de um sistema embutido.

Os sistemas conseguem se comunicar e se conectar com outros dispositivos por meio de protocolos existentes e padronizados, como a possibilidade da comunicação com sensores, dispositivos de comunicação sem fio e internet. (MACHADO, 2006).

3.1 Unidade Central de Processamento

O processamento de dados e o gerenciamento do funcionamento do sistema são feitos pela CPU. Além de realizar tarefas internas, a unidade central de processamento manda comandos para dispositivos externos (memórias, dispositivos E/S) a fim de realizar uma tarefa definida por uma instrução que foi interpretada. O processador é capaz de realizar algumas operações básicas como soma, subtração, movimentação de dados, mandar sinais para um dispositivo de saída. As operações e o local onde os dados estão armazenados são representados por uma sequência de sinais elétricos, em representação binária (bits), ou seja, zero ou um. Dessa forma o sistema consegue interpretar as operações e os dados a serem utilizados (MONTEIRO, 2001).

O ciclo de execução de uma instrução é dividido em diversas etapas. A unidade de processamento busca instruções na memória e a coloca em um registrador específico. Interpreta a instrução, ou seja, o que deve ser feito, busca na memória os dados a serem utilizados e executa a operação dita pela instrução. Ao final, se houver algum resultado na operação realizada, o armazena em um local específico definido pela instrução executada (MONTEIRO, 2001).

A realização de operações lógicas (AND, OR, XOR, NOT) ou aritméticas (Soma, Subtração, divisão, multiplicação), movimentação de dados e incrementos são feitos pela ULA (Unidade Lógica Aritmética), um dispositivo que possui vários circuitos lógicos específicos para realizarem essas tarefas (MONTEIRO, 2001).

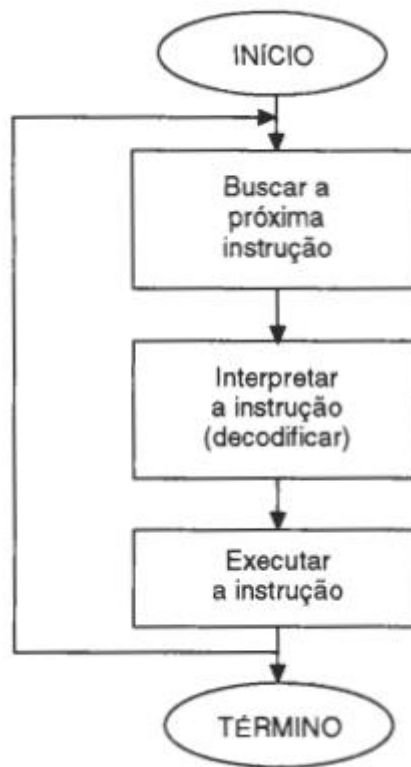


Figura 3.2 - Ciclo de Máquina ou Instrução

Fonte: MONTEIRO, 2001

3.2 Memórias

Os dados, variáveis e informações de um sistema de computação são armazenados em algum tipo de memória. Nos sistemas embutidos são utilizados dois tipos de memórias, estas podem ser:

Memória Volátil: Normalmente são memórias de acesso rápido, onde só se consegue armazenar dados quando energizada, perdendo-os se não estiver. Nos sistemas embutidos estas são a memória RAM (Random Access Memory) ou memória de dados (NOERGAARD, 2005).

Memória Não Volátil: A memória não volátil consegue armazenar dados permanentemente mesmo sem ter energia. São chamadas memória ROM (Read Only Memory) ou memória de programa nos sistemas embutidos (NOERGAARD, 2005).

3.3 Dispositivos de entrada e Saída

Segundo Noergaard (2005), os dispositivos de entrada e saída dos sistemas embutidos são essenciais para sua aplicação em sistemas de automação. Os dispositivos de entrada permitem a interação dos usuários e do ambiente externo e o sistema embutido, por exemplo, teclados, botões e sensores. Já os dispositivos de saída recebem informações e/ou comandos do sistema. Dentre os mais comuns têm-se os painéis LCDs, os monitores, as impressoras, os LEDs e os motores (NOERGAARD, 2005).

3.4 Microcontroladores PIC

O PIC18F4550 é um microcontrolador desenvolvido pela MICROCHIP e foi utilizado para o desenvolvimento deste trabalho. Ele possui barramento de dados de 8 bits e tem como base a arquitetura Harvard com um conjunto reduzido de instruções (RISC). Este dispositivo opera a 5 volts e em frequências de até 48Mhz. Sua memória RAM é de 2.048 bytes e sua memória de programa (ROM) é de 32 Kbytes (MIYADAIRA, 2009).

O PIC18F4550 possui 40 pinos, onde 35 possuem diversas funções, entre elas, módulos de conversão analógico/digital e digital/analógico, timers, comunicação USART, módulos de captura, comparação e PWM, módulo SPI e I2C e módulo de detecção de alteração de estado nos pinos.

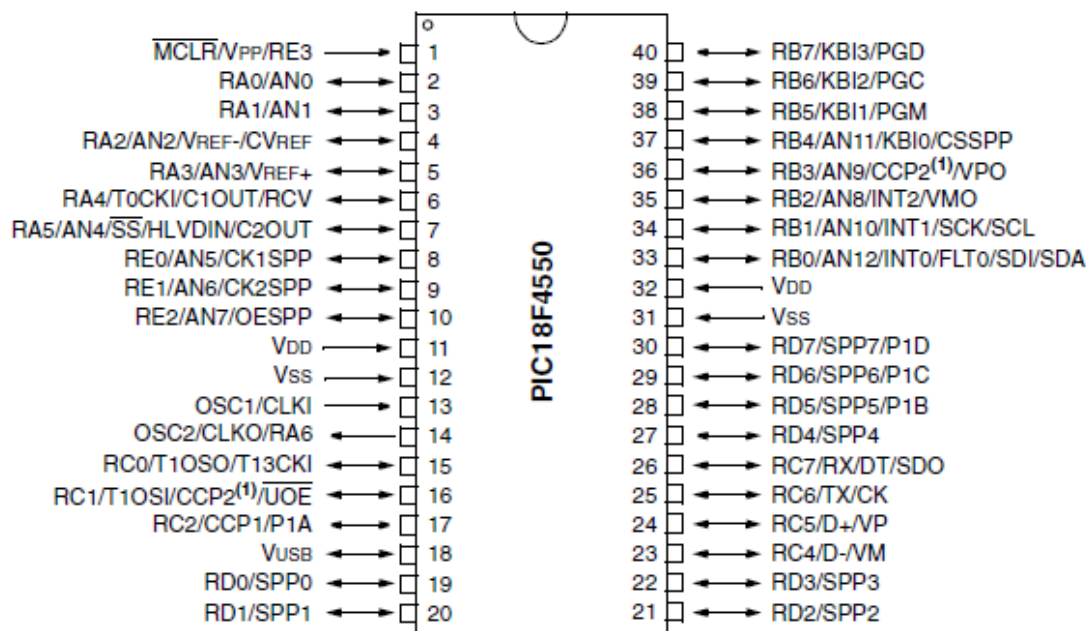


Figura 3.3 - Pinos do PIC18F4550.

Fonte: MICROCHIP, 2006.

3.4.1 Conversão Analógico/Digital

O PIC18F4550 possui um módulo de conversão de analogia para digital de 10 bits. Ele possui 13 pinos de entrada analógica, que converte o sinal para um número digital de até 10 bits. Seu funcionamento consiste em varias amostragens feitas, servindo como entrada para o conversor, que gera o resultado a partir de várias aproximações (MICROCHIP, 2006). O valor de referência de entrada pode ser configurado, variando entre Vref+ e Vref-, entre esses valores tem-se a resolução da conversão que pode variar de 0 até 1023 ($(2^{\text{resolução}}) - 1$). O tempo de aquisição é bastante importante e deve estar corretamente configurado, já que o capacitor “C hold” deve ser carregado completamente com a tensão aplicada no pino. Após este tempo o capacitor é desconectado do pino de entrada e é feito a conversão com o valor de tensão no capacitor (MYIADARA, 2009).

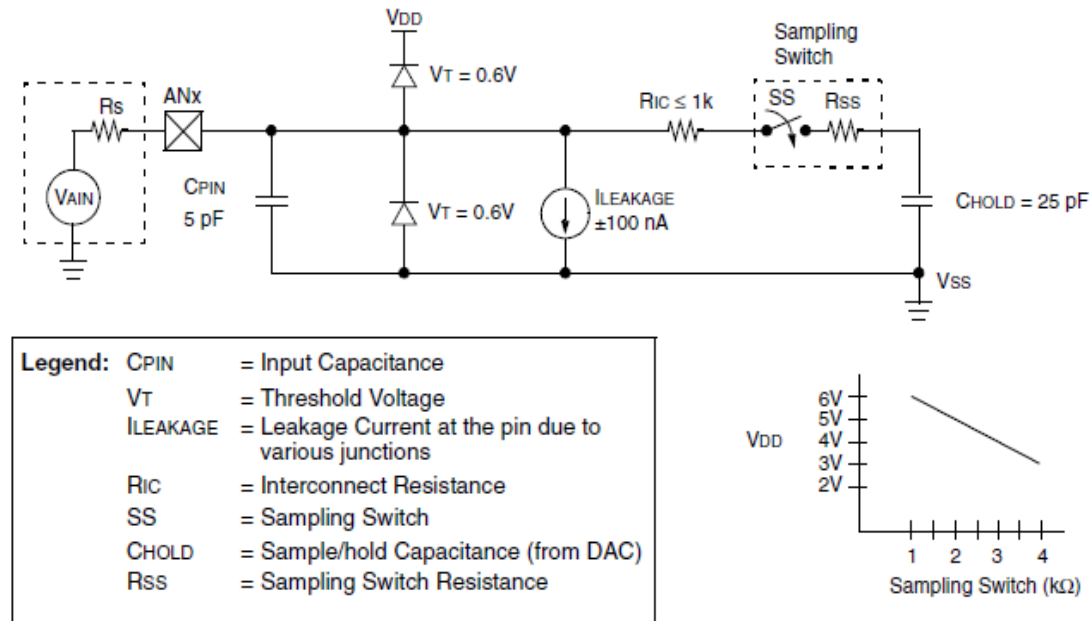


Figura 3.4 - Figura: Modelo de entrada analógica

Fonte: MICROCHIP, 2006.

3.4.2 Interrupções

Os dispositivos PIC possuem várias fontes de interrupções. A rotina principal pode ser suspensa em qualquer parte para realizar o tratamento da interrupção, que é uma rotina especial. Pode-se ter uma prioridade configurada para cada interrupção, podendo ser da prioridade mais alta até a de prioridade mais baixa (MICROCHIP, 2006). Estas interrupções podem acontecer devido a algum evento externo como a mudança do estado de um pino ou eventos internos como em estouro de timers ou conversões A/D. Se estiver executando uma rotina de interrupção de menor prioridade e ocorre uma de maior prioridade, a rotina é suspensa para o tratamento da interrupção de maior prioridade. Ao término da execução da rotina, o programa volta a ser executado normalmente a partir da linha de código onde foi suspenso (MYIADARA, 2009).

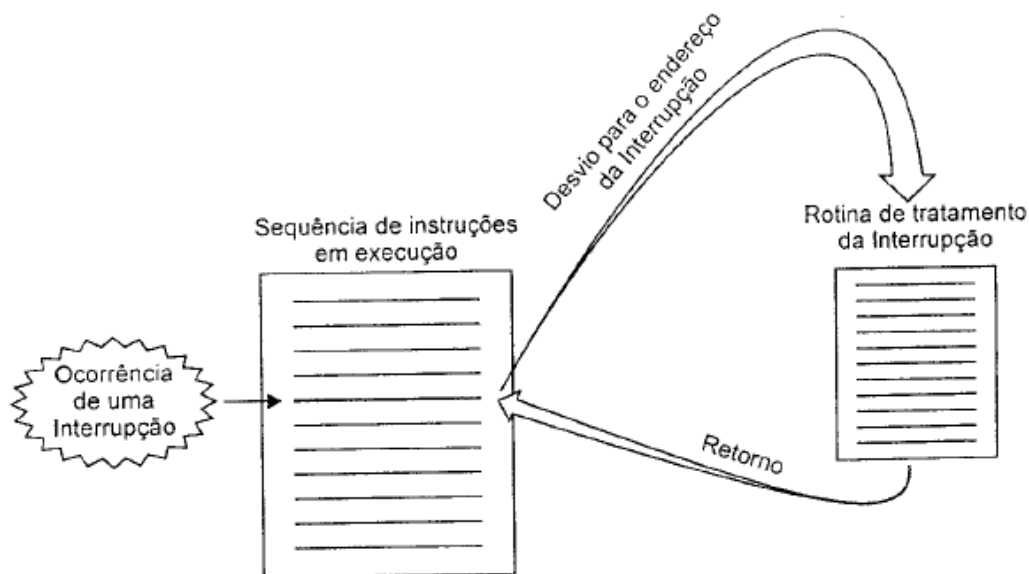


Figura 3.5 - Interrupção

Fonte: MYIADARA, 2009

Existe um período de latência pequeno, que é o tempo entre a ocorrência da interrupção e a execução da rotina de tratamento. Isto ocorre devido ao tempo que o processador demora para reconhecer a interrupção, desviar a execução para a rotina de tratamento e salvar a posição de onde estava sendo executado o código (MYIADARA, 2009).

3.4.3 Modulação por largura de pulso (PWM)

O microcontrolador consegue fazer modulação por largura de pulso ou PWM (Pulse With Modulation) em suas saídas. Com o PWM se controla a tensão aplicada a uma carga, alterando o tempo em que o nível de tensão do sinal fica alto ou o duty cycle (ciclo de trabalho) em determinado período de tempo (MYIADARA, 2009).

O PIC18F4550 possui apenas dois canais para o modo PWM, mas pode-se implementar funções via software, para que as saídas digitais do dispositivo façam sinais PWM, utilizando timers e interrupções.

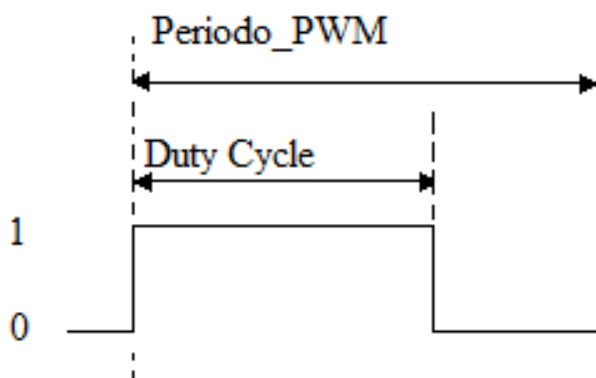


Figura 3.6 - Forma do Sinal PWM.

Fonte: Adaptado de MYIADARA, 2009.

3.5 Comunicação entre PIC e outros dispositivos

Em aplicações onde se tem a necessidade de comunicação do microcontrolador e outros dispositivos externos pode-se ter dois tipos, serial ou paralela. A escolha do tipo de comunicação é feita a partir da necessidade da sua aplicação e características como imunidade a ruídos, custo e velocidade de transmissão (PEREIRA, 2003).

Várias interfaces de comunicação como, por exemplo, de computadores, RS232, USB, protocolos de rede como Ethernet e outros protocolos I²C, SPI e 1-Wire, utilizam a comunicação serial. A informação é dividida e então transmitida bit a bit em série (uma atrás da outra). Já na comunicação paralela os bits são transmitidos ao mesmo tempo, ou seja, paralelamente. Os barramentos internos do microcontrolador, ISA, PCI, AGP e a interface de impressoras paralelas utilizam essa técnica de comunicação (PEREIRA, 2003).

3.5.1 Módulo USART

O Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter ou USART é o circuito que faz a interface de comunicação serial entre o PIC e a porta serial. O dispositivo transmite de forma paralela os dados ao circuito USART que tem a função de transmitir os dados bit a bit. Ao receber dados da porta serial, ele tem a função contrária, recebe bit a bit e repassa ao dispositivo de forma paralela. Este módulo pode funcionar de forma síncrona mais utilizada na comunicação com memórias EPPROM e conversores A/D ou assíncrona utilizada para

comunicação com um computador pessoal. No modo síncrono o PIC utiliza os pinos CK e DT e no modo assíncrono utiliza os pinos RX e TX (MYIADARA, 2009).

3.5.2 Protocolo RS232

No protocolo RS232 normalmente o pacote de dados possui um bit de início, um bit de parada, um bit de paridade para o controle de erro e oito bits para a mensagem. Quando há uma alteração no bit de início feito pelo transmissor, o receptor se prepara para receber dados, iniciando o clock. A transmissão da mensagem de até 8 bits é feita iniciada pelo bit menos significativo e por último o bit sinalizando o fim da transmissão. O bit de paridade é opcional. A mensagem de 8 bits é codificada de acordo com a tabela ASCII e as taxas de transmissão (baud rate) mais utilizadas são 300bps, 600bps, 2400bps, 4800bps, 9600bps, 19200bps (MYIADARA, 2009).

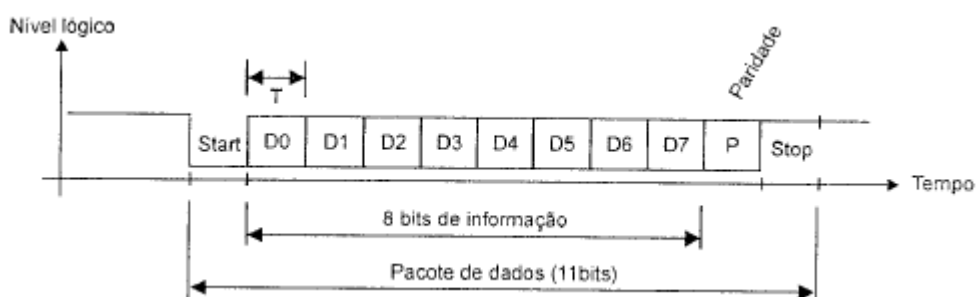


Figura 3.7 - Transmissão RS232 assíncrona.

Fonte: MYIADARA, 2009

O protocolo RS232 utiliza para nível lógico 0 tensões entre +3V e +25V e para o nível lógico 1 tensões entre -3V e -25V. Entre +3V e -3V se tem uma região de transição, onde o nível lógico é indefinido.

3.5.3 Protocolo SPI

Na Serial Peripheral Interface (SPI), um dispositivo Mestre (Master) pode se comunicar com vários outros escravos (Slaves) conectados a um barramento de forma síncrona. O barramento utiliza quatro fios para comunicação, o Serial Clock, Master Output - Slave In, Master Input - Slave Out e o Slave Select (SS). De acordo com Myiadara (2009), a comunicação SPI é eficiente e simples, podendo chegar a velocidades de clock de 70MHz.

O dispositivo mestre gera um sinal de clock e seleciona um dispositivo escravo a qual quer se comunicar mudando o estado do pino SS. A partir do momento em que a conexão é estabelecida os dispositivos começam a trocar dados, podendo ser enviados em ambas as direções ao mesmo tempo, sincronizadas pelo sinal de clock.

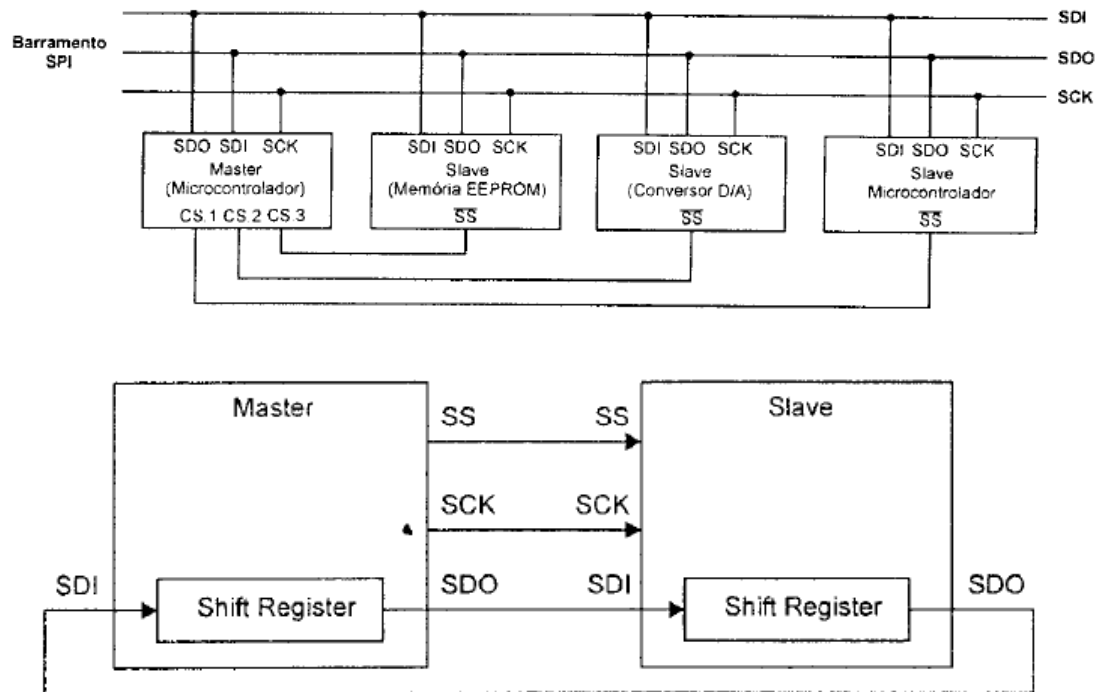


Figura 3.8 - Comunicação Master-Slave (Mestre-Escravo).

Fonte: MYIADARA, 2009

Para o gerenciamento da comunicação entre um microcontrolador e a internet pode ser utilizado o dispositivo controlador de rede ENC28J60®. Ele utiliza o protocolo SPI para troca de dados com o microcontrolador e utiliza o padrão Ethernet para comunicação com dispositivos de rede e internet podendo chegar a uma taxa de transferência de 10Mbps (SANTANA, 2008).

4 INSTRUMENTAÇÃO

De acordo com Ramos (2012), medições são utilizadas para auxiliar o homem em suas tarefas desde tempos antigos e eram feitas por instrumentos engenhosos construídos para medir alguma variável, por exemplo, o tempo. Os instrumentos atuais de medição mais usados são os eletrônicos e estes estão bastante presente no nosso cotidiano, mas quase não os percebemos apesar de serem muito úteis. O tópico abaixo contém os conceitos básicos sobre os instrumentos de medição e os sensores utilizados neste trabalho.

4.1 Conceitos básicos

Grandezas: São definidas como a quantificação numérica ou em forma de referência de alguma propriedade de um corpo, substância ou fenômeno (RAMOS, 2012).

Unidades de Medida: O número escalar que representa alguma grandeza, que proporciona a comparação entre outras do mesmo tipo é chamado unidade de medida. Estas possuem uma convenção internacional para sua padronização. Exemplos das unidades fundamentais são: metro que expressa comprimento, tempo em segundos, Ampere para corrente elétrica, candela para intensidade da luz, entre outros (RAMOS, 2012).

Erros de Indicação (de um instrumento de medição): É a diferença entre a indicação da grandeza medida pelo instrumento e seu valor verdadeiro.

Faixa de Medição (Range): É a região de valores da variável medida a qual um instrumento trabalha. Este vai de um limite superior até um limite inferior (RIBEIRO, 2002).

Exatidão: Grau de aproximação entre um valor adquirido e um valor padrão reconhecido ou um valor ideal.

Precisão: A precisão é o grau de proximidade e consistência entre várias medições repetitivas.

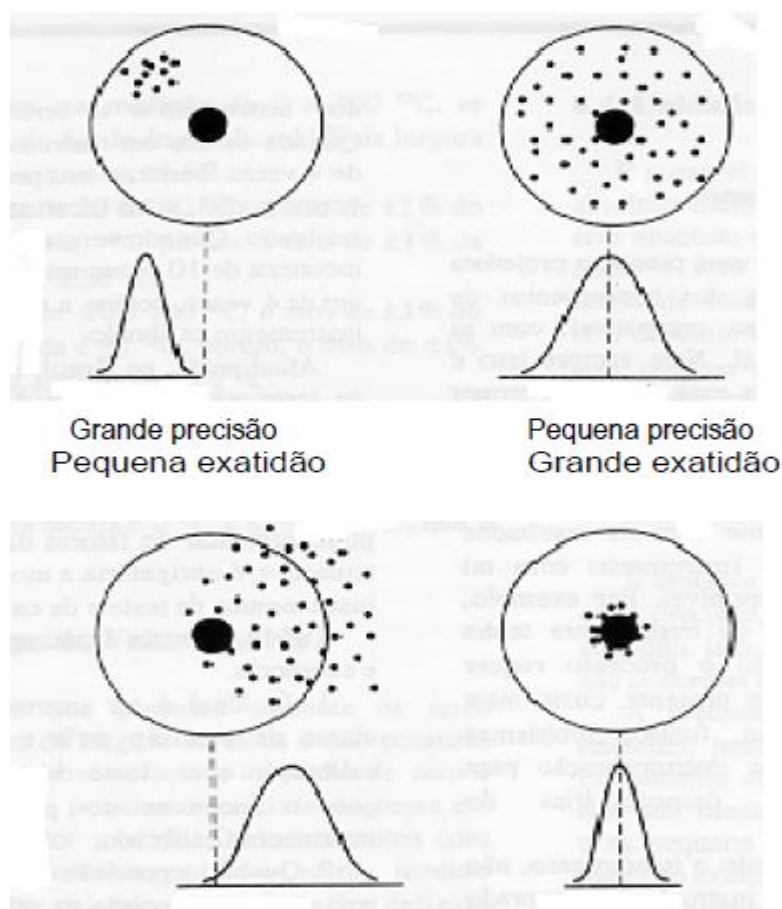


Figura 4.1 - Exatidão e Precisão

Fonte: RIBEIRO, 2002

Sensores e Transdutores: Os sensores são dispositivos sensíveis a variações em uma grandeza. Junto com os transdutores, estes dispositivos convertem a variável sentida, em outro tipo de mais fácil interpretação, como, tensão e corrente (elétrica) ou movimento (mecânica) (RAMOS, 2012).

Calibração: Verificar e ajustar a exatidão do instrumento de medição, utilizando outro padrão como referência. É feito um relatório com os valores medidos, e a partir desse monta-se um gráfico, ou a curva de calibração (RIBEIRO, 2002).

4.2 Sensor de Luminosidade fotocondutivo

Os sensores luminosidade fotocondutivos, são dispositivos semicondutores que modificam sua resistência de acordo com a incidência de luminosidade que o atinge (RIBEIRO, 2002).



Figura 4.2 - Sensor LDR

Fonte: SUNROM, 2008

O LDR é um sensor que tem uma reação parecida com a do olho humano. A resistência do material diminui com o aumento da intensidade luminosa. Pode-se perceber isto a partir da curva característica do LDR, mostrado na figura abaixo (SUNROM, 2008).

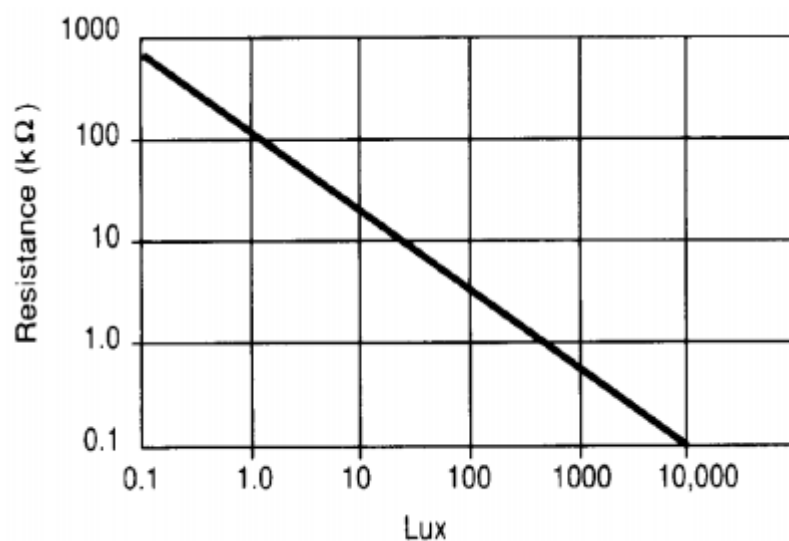


Figura 4.3 - Sensibilidade do LDR. Resistência em função da iluminância

Fonte: SUNROM, 2008

4.3 Instrumentação Digital

O sinal de saída sensor/transdutor eletrônico é elétrico e analógico. Para a interpretação dos dados é feito um condicionamento no sinal e depois a conversão analógico-digital para um microcontrolador ou microprocessador conseguir processar os dados. Após o processamento,

envia-se um comando atuador e os dados adquiridos são enviados a uma interface homem/máquina (RAMOS, 2012).

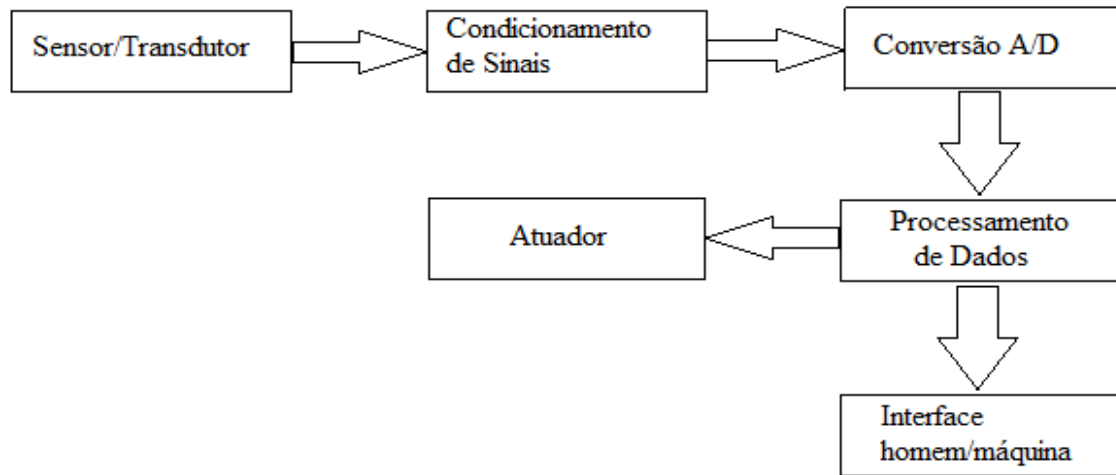


Figura 4.4 - Diagrama de bloco das etapas da instrumentação

Fonte: Adaptado de RAMOS, 2012.

5 REDES DE COMPUTADORES E PROTOCOLOS

Para a comunicação entre dois sistemas de computação, são utilizadas aplicações de rede. Estas aplicações são processos que possibilitam a comunicação entre esses sistemas através de uma rede, a partir de protocolos de aplicação, sendo um sistema o servidor e o outro o cliente. Cada aplicação necessita de protocolos específicos que definem como será a troca de mensagem entre os sistemas. Este é o modelo de rede cliente/servidor, que pode ter vários clientes ligados a um servidor (CANTÚ, 2003).

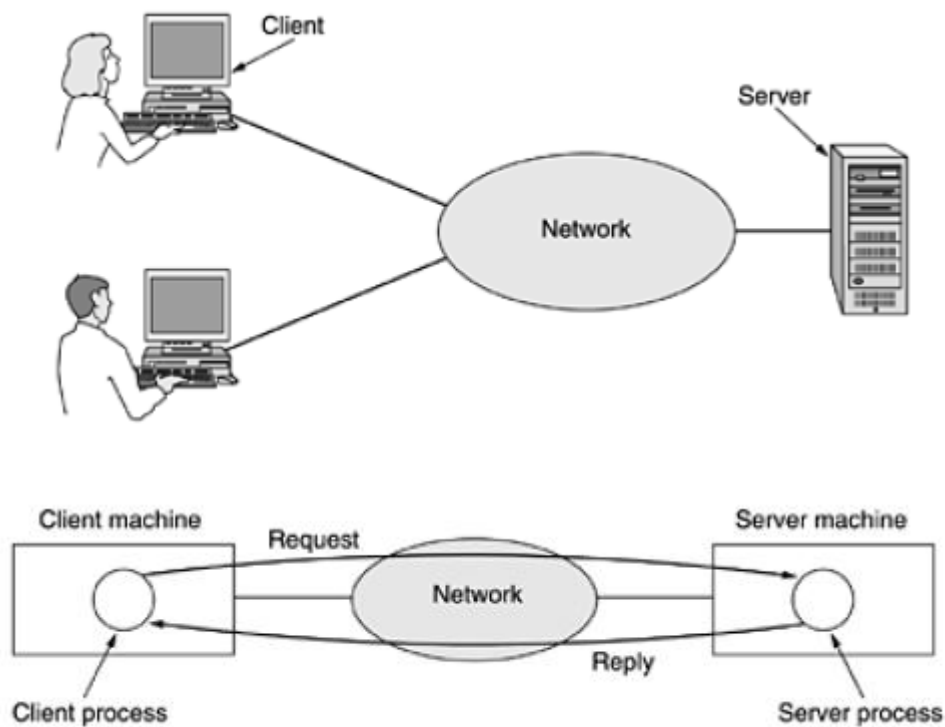


Figura 5.1 - Modelo cliente/servidor envolvendo solicitações e respostas.

Fonte: TENENBAUM, 2003

A comunicação ponto a ponto, difere da cliente/servidor por não possuir hierarquia, sendo usadas em grupos livres, onde uma pessoa pode se comunicar diretamente a outra pessoa, e fazer compartilhamento de dados, músicas, fotos e troca de mensagem (TENENBAUM, 2003).

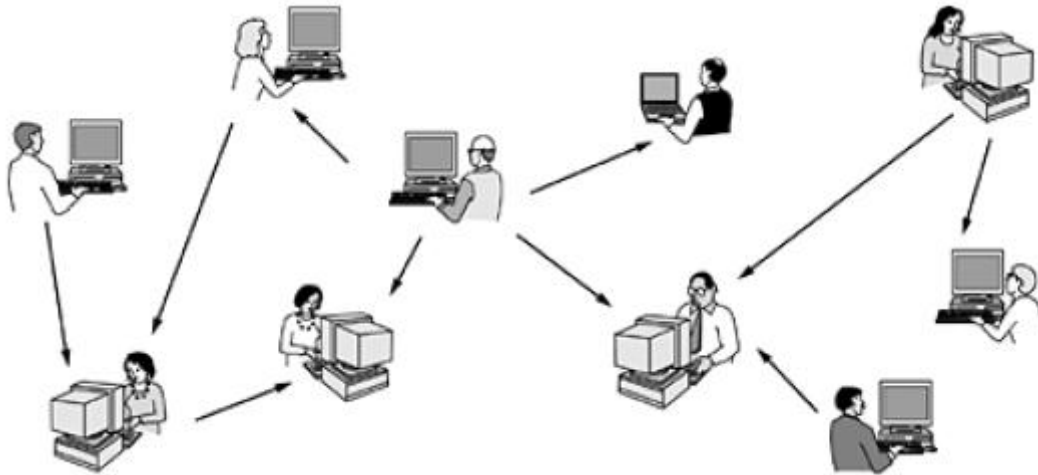


Figura 5.2 - Sistema não hierárquico, ponto a ponto.

Fonte: TENENBAUM, 2003.

5.1 Aplicações de redes

As redes podem ser aplicadas em diversos ambientes e para várias finalidades, tanto quanto na indústria, no comércio e em residências. Dependendo da aplicação, que não é possível o uso de cabos é necessária a utilização da tecnologia de redes sem fio. As redes são bastante utilizadas em empresas para correlacionar informações entre os diversos setores. O objetivo é o compartilhamento de recursos, tornando todos os programas, equipamentos e dados acessíveis a todos os usuários da rede. Um bom exemplo é o compartilhamento de uma impressora por mais de um computador em um escritório. As redes são classificadas pela distância entre os sistemas conectados (TENENBAUM, 2003).

Tabela 5.1 - Classificação de rede por escala

Interprocessor distance	Processors located in same	Example
1 m	Square meter	Personal area network
10 m	Room	Local area network
100 m	Building	
1 km	Campus	
10 km	City	Metropolitan area network
100 km	Country	Wide area network
1000 km	Continent	
10000 km	Planet	The internet

Fonte: Adaptado de TENENBAUM, 2003.

Existe uma interface entre o usuário e a aplicação de rede chamada, para que se possa montar a informação a ser enviada, e do outro lado que ela possa ser lida ou interpretada. Esta é chamada “Agente Usuário”, por exemplo, os navegadores de internet (Google Chrome, Mozilla) ou programas de envio de mensagens e emails (Outlook). (CANTÚ, 2003)

5.2 Camadas de Rede

Os protocolos de redes são divididos em camadas, formando uma pilha. Isso é feito para diminuir a complexidade de um projeto. Cada camada possui funções diferentes dentro do protocolo, normalmente dando suporte as camadas de cima através de uma interface. Uma camada comunica-se com a mesma camada de outra máquina, mas a transferência de dados não é feita diretamente. A camada transfere a informação para a camada abaixo até chegar no meio físico, de onde é transferida a informação até a camada mais baixa da outra máquina.

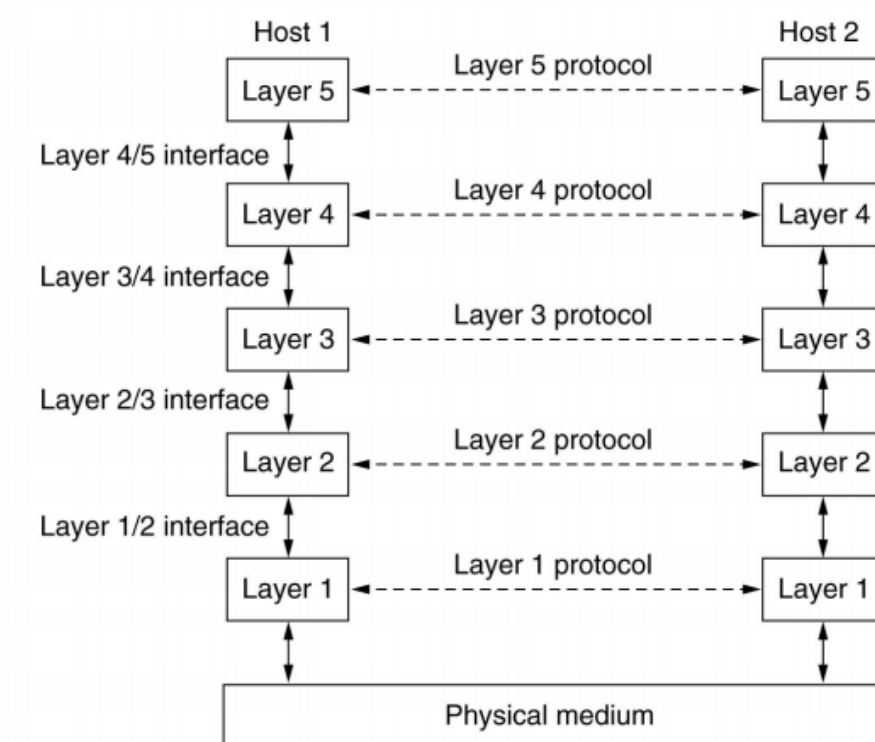


Figura 5.3 - Camadas de protocolos.

Fonte: TENENBAUM, 2003.

Para a troca de informações entre os sistemas, são utilizados protocolos de redes. Os protocolos definem o formato e a ordem das mensagens enviadas e recebidas pelas entidades

da rede, bem como as ações que são tomadas para transmissão e recepção de mensagens (CANTÚ, 2003).

5.3 Protocolo TCP/IP

No desenvolvimento deste trabalho foi utilizado o protocolo de rede TCP/IP, que é bastante conhecido por ser usado principalmente como base para a arquitetura da Internet. Ele foi projetado como um padrão industrial usado em redes geograficamente distribuídas ou Wide Area Network (WAN) (CANTÚ, 2003).

A troca de dados através de redes é feito por meio de sockets ou portas, que fazem parte do protocolo de transporte TCP ou UDP. Eles estabelecem uma comunicação lógica entre as portas utilizadas nos processos de aplicação. Além de definir as portas é necessário o endereçamento da mensagem a ser enviada. O endereço é dado pelo “IP” da máquina a receber os dados. Normalmente para aplicações de internet bastante utilizadas são definidas portas padrões, mas o IP depende de cada máquina (CANTÚ, 2003).

5.3.1 Camadas do Protocolo TCP/IP

O modelo TCP/IP possui uma arquitetura de uso geral, sendo bem flexível, podendo ser utilizado em várias aplicações e até ser adaptado se necessário. Sua arquitetura possui quatro camadas: a camada de aplicação, ou seja, a mais alta, depois a de transporte, a de rede e por último a camada Física ou de Enlace.

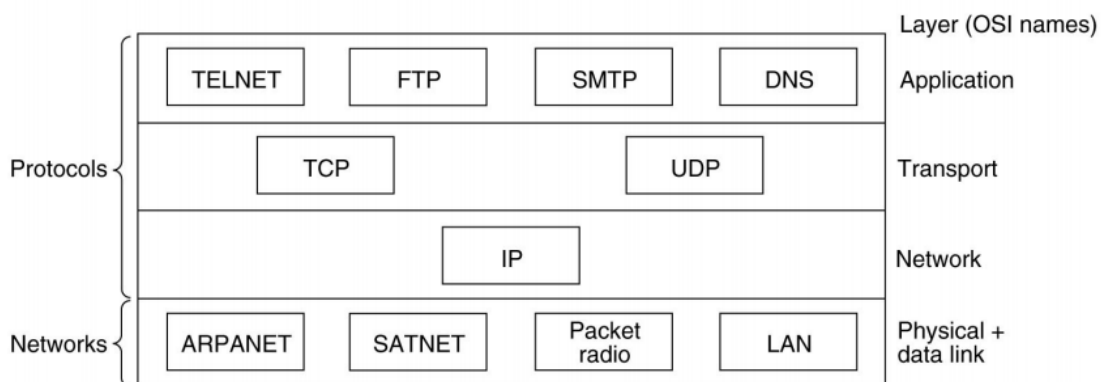


Figura 5.4 - Pilha TCP/IP de camadas

Fonte: TENENBAUM, 2003

5.3.2 Camada de Aplicação

Na camada de aplicação encontram-se vários protocolos, que possuem funções e oferecem serviços diferentes, como transferência de arquivos (FTP), correio eletrônico (SMTP), acesso a recursos de outra máquina (TELNET). Também em serviços como o mapeamento dos hosts em seus respectivos endereços de rede (DNS) e a busca de páginas na internet (HTTP) (TENENBAUM, 2003).

5.3.3 Camada de Transporte

A função da camada de transporte é garantir um canal de comunicação entre duas máquinas, não se preocupando com a parte física usada para enviar dados. Ela oferece serviço de transporte orientado à conexão, o TCP (Transmission Control Protocol), que é necessário estabelecer uma conexão entre as entidades, antes da troca de informações. Também oferece um serviço por datagrama, não orientado a conexão, como o UDP (User Datagram Protocol) que não necessita estabelecer uma conexão para a troca de dados (CANTÚ, 2003).

O protocolo TCP fragmenta o fluxo de bytes e repassa cada fragmento para a camada de rede e assim por diante. A máquina de destino reestrutura os fragmentos recebidos formando o fluxo de bytes original. Este protocolo oferece serviços de detecção de erros e garantia da integridade da entrega de dados, pois oferece também serviço de controle de fluxo. Também oferece um serviço de controle de congestionamento de rede (TENENBAUM, 2003).

Cada fragmento tem um número de porta que indica a qual processo ele deve ser entregue. Tem-se o número de porta do emissor e do receptor sendo que as portas de 0 a 1023 são reservados para aplicações já definidas (CANTÚ, 2003).

5.3.4 Camada de Rede

A camada de rede é responsável por empacotar os dados a serem enviados em um protocolo IP, esses pacotes trafegam na rede de forma independente até chegar ao local de destino. Esta camada define as rotas que os pacotes irão percorrer utilizando protocolos de roteamento, sendo importante para evitar congestionamento ou conflitos (TENENBAUM, 2003).

O protocolo IP fornece serviços de entrega de pacotes de dados sem conexão. Os dados são empacotados e entregues entre dois sistemas terminais identificados por seus endereços IP. Este protocolo não fornece serviços de garantia da ordem de entrega, integridade dos dados, nem se os dados serão entregues, mas o protocolo TCP estende os serviços de entrega (CANTÚ, 2003).

5.3.5 Camada de Enlace/Física

Esta é a camada mais baixa da pilha TCP/IP e é responsável pela interface entre o host e o meio físico. Define interfaces mecânicas, elétricas e de sincronização para a rede. Os modos de transmissão de dados podem ser por cabos e fios (fio de cobre ou fibra ótica), também sem fio (ondas de rádio) e via satélite. As informações são transmitidas a partir de uma variação de uma propriedade física, normalmente a tensão ou corrente elétrica, em função do tempo, assim podendo ser modelado matematicamente o seu comportamento e analisado um padrão. Existe a possibilidade de perda de dados ou erro na transmissão devido a perturbações e ruídos do meio (TENENBAUM, 2003). É comum ser implementado em um hardware de rede, para servir de interface entre os terminais (computador ou roteadores) e o meio físico (barramentos, ou sem fio). Por exemplo, a placa de rede Ethernet de 10Mbps de taxa de transferência, faz a interface com o barramento da máquina e é compatível com cabos de par trançado ou com cabo coaxial (CANTÚ, 2003).

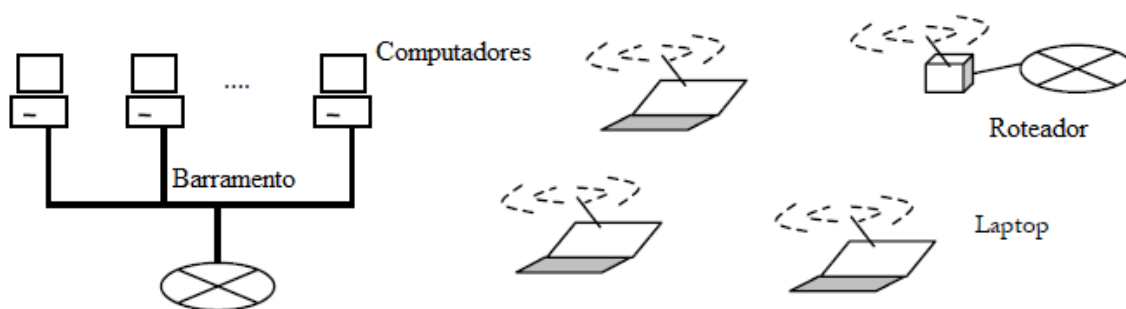


Figura 5.5 - Barramento Ethernet e rede Wireless

Fonte: Adaptado de CANTÚ, 2003

5.4 Comunicação entre microcontrolador e redes

Neste trabalho é utilizado o dispositivo ENC28J60, que é um circuito integrado responsável pela comunicação entre o microcontrolador e a rede local e internet. Ele é um controlador ethernet que utiliza a Serial Peripheral Interface (SPI) para comunicação com algum controlador servidor. Também possui todas as especificações do padrão IEEE 802.3, norma que padroniza a tecnologia de comunicação por ethernet. O ENC28J60 possui 28 pinos e opera a 3.3 volts. Para facilitar a conexão com controladores que operam a cinco volts, os pinos da comunicação SPI e o reset são compatíveis. O controlador de rede fornece a camada de controle de acesso ao meio (MAC) e a camada física (PHY) dentro do padrão IEEE 802.3. Possui buffers para os dados de entrada e saída, que podem ser lidos pelo servidor. Também possui vários filtros para os pacotes de entrada e verificações por cálculo de checksum, que é utilizado em vários protocolos de rede, como o TCP/IP (MICROCHIP, 2012).

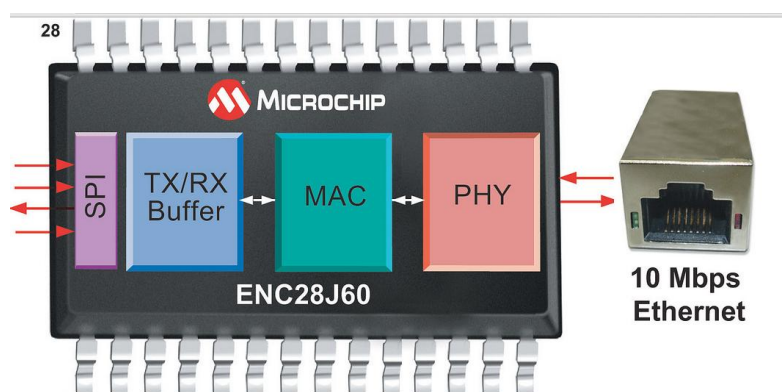


Figura 5.6 - Circuito Integrado ENC28J60

Fonte: MICROCHIP, 2007 apud Santana, 2008



Figura 5.7 - Módulo com o controlador Ethernet ENC28J60

6 PROTOCOLO ZIGBEE

Nos tempos atuais a comunicação e troca de informação por cabeamento tem sido substituída pela comunicação sem fio por radiofrequência. Por possuir poucos requisitos de infraestrutura para sua utilização, os protocolos de comunicação sem fio vêm sendo melhorados e ganhando mais espaço no mercado.

A tecnologia de comunicação sem fio tem sido muito utilizada em sensores, monitoramento de processos, e para o acionamento e controle de sistemas. Também permite que diversos dispositivos possam se comunicar em rede. A necessidade da padronização de sistemas de comunicação eletrônica sem fio, fez com que várias empresas do setor se movimentassem. A partir da cooperação dessas empresas surgiu a Alliance ZigBee, que foi responsável pela criação do Padrão ZigBee. Sua finalidade é ser compatível com diversos sistemas e circuitos de outras empresas (RAMOS, 2012).

Normalmente, o protocolo ZigBee é utilizado em um microcontrolador para se comunicar com outros que também possuem o mesmo protocolo em sua memória. Um dispositivo de transmissão de rádio envia pacotes de dados em certa faixa de frequência definida pelo padrão. Eles podem assumir várias topologias de rede, além de possuir um modo sleep para economia no consumo de energia (RAMOS, 2012).

O ZigBee possui quatro camadas, sendo que utiliza o padrão IEEE 802.15.4 nas camadas de MAC e na camada física. O padrão IEEE 802.15.4 desenvolvido pelo IEEE (Institute for Electrical Electronics Engineer) é utilizado para a comunicação eletrônica sem fio, visando o crescimento e a interoperabilidade dessas tecnologias. Define regras de comunicação da camada física e da camada MAC para redes de comunicação de baixa taxa de transmissão e baixo consumo de energia. O padrão IEEE 802.15.4 trabalha com frequências de 869Mhz, 968Mhz e 2.4Ghz (RAMOS, 2012).

6.1 Dispositivos ZigBee e Modos de Operação

Os dispositivos ZigBee são divididos em Full Feature Device (FFD) e Reduce Feature Device (RFD). O FFD possui uma grande pilha de instruções e consegue se comunicar com quaisquer dispositivos da rede, podendo assumir qualquer função de uma rede que utiliza o

padrão IEEE 802.15.4. Por conseguirem incorporar novos módulos na rede são considerados dispositivos pais. Os FFD podem ser dispositivos Coordenadores ou Roteadores que possuem papéis diferentes em uma rede ZigBee. (RAMOS, 2012).

Os coordenadores são responsáveis por formar a rede de trabalho, selecionando um canal de comunicação e um endereço específico. Gerencia o acesso de dispositivos finais e roteadores que pretendem entrar na rede. Os roteadores montam rotas de caminhos para que os pacotes de dados cheguem ao destino de difícil acesso, normalmente alguma barreira física ou grandes distâncias (RAMOS, 2012).

Dispositivos finais são RFD que possuem um conjunto de instruções limitado, podendo exercer tarefas mais simples que os FFD. Normalmente usados para coleta de algum dado para a transmissão e o recebimento de informações de um dispositivo FFD (RAMOS, 2012).

6.2 Camadas do Protocolo ZigBee

As camadas são um jeito prático de agrupar tarefas com funções afins, para facilitar a visualização do projeto ou até mesmo alterações. Cada camada possui uma função e se comunicam com as camadas adjacentes por linguagens em protocolos. O Padrão ZigBee utiliza como referência o padrão OSI-ISO, que possui 7 camadas, mas apenas são representadas as camadas essenciais para que o sistema possua baixo custo, baixa taxa de transmissão, economia de energia e baixa complexidade. As camadas mais altas de Aplicação e a Camada de Rede são definidas pelo padrão ZigBee, já as camadas de controle de acesso ao meio e a física que são mais baixas, são definidas pelo padrão IEEE 802.15.4. Vale realçar que não se deve confundir o padrão IEEE 802.15.4 e o padrão ZigBee (RAMOS, 2012). O datasheet do Xbee descreve as camadas da seguinte forma:

Camada de aplicação: A camada de aplicação é dividida em três sessões, Application Support Sublayer (APS), ZigBee Device Objects (ZDO) e Application Frameworks (AF).

O Application Support fornece a interface entre a camada de rede e a camada de aplicação. O Application Frameworks define os vários objetos de endereçamento, que inclui perfis de aplicação. Com isso o AF (Application Framework), controla e gerencia a camada (DIGI INTERNATIONAL, 2012). Os perfis de aplicação são diferentes dependendo de como é

utilizado o padrão ZigBee. Mesmo com perfis diferentes, os dispositivos ZigBee devem conseguir se comunicar entre si sem nenhum problema (RAMOS, 2012).

O ZigBee Device Objects possibilita a descoberta de recursos de dispositivos e serviços e também fornece a capacidade de gerir aplicações em redes mais complexas (DIGI INTERNATIONAL, 2012).

Camada de Rede: É responsável pelo roteamento, gerenciamento da comunicação e fluxo de dados na rede, permitindo que os pacotes de dados passem por vários dispositivos até chegar ao destino final.

Camada MAC: Utiliza o padrão IEEE 802.15.4, a camada de controle de acesso ao meio, é responsável pelo gerenciamento de envio e de recebimento de dados de outros dispositivos. Utiliza técnicas para evitar problemas como colisão de dados e reconhecimento e também faz a repetição da transmissão caso o dado não tenha chegado ao destino (DIGI INTERNATIONAL, 2012).

Camada Física: A camada física também definida pelo padrão IEEE 802.15.4, fica responsável pelas operações físicas do dispositivo ZigBee e na maioria das aplicações operam em uma banda ISM (Industrial, scientific and medical radio band) de 2,4GHz. É responsável pelo número de canais define a taxa de transmissão, a sensibilidade de recepção, a modulação de chip e a energia de saída (DIGI INTERNATIONAL, 2012).

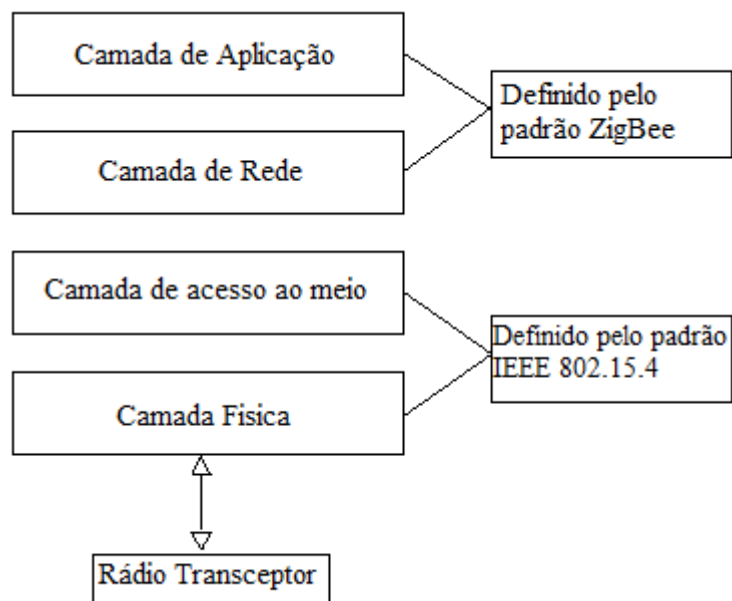


Figura 6.1 - Camadas do protocolo de rede do sistema ZigBee.

Fonte: Editado de RAMOS, 2012

6.3 Topologias de Rede do padrão ZigBee

A topologia de rede do padrão ZigBee pode ser de dois tipos e é gerenciada pela camada de Rede.

Estrela: Na topologia estrela existe apenas a comunicação entre coordenadores e dispositivos finais. Os dados não podem ser retransmitidos por roteadores. (RAMOS, 2012).

Peer-to-Peer (Par a Par): Na topologia peer-to-peer, existe a possibilidade de roteamento de dados, onde um módulo FFD se comunica com outro FFD. Pode ser subdividida em topologia Mesh (malha) e topologia em árvore. Na topologia Mesh os dispositivos finais, utilizam os roteadores mais próximos para se comunicar com os coordenadores que estão fora do alcance. Na topologia em árvore os roteadores funcionam como galhos e os dispositivos finais como folhas. Permite que dois dispositivos finais se comuniquem mesmo se houver uma barreira física entre eles. A rede pode ser expandida adicionando novos dispositivos finais (folha), os quais serão conectados ao roteador (galho) mais próximo (RAMOS, 2012).

Ramos mostra que apesar das características de rede serem uma associação entre o padrão ZigBee e o padrão IEEE 802.15.4, o gerenciamento dos dispositivos, a escolha da melhor rota

para os pacotes de dados, a identificação do canal com menos ruídos e a distribuição de endereços dinâmicos de rede são essencialmente do ZigBee.

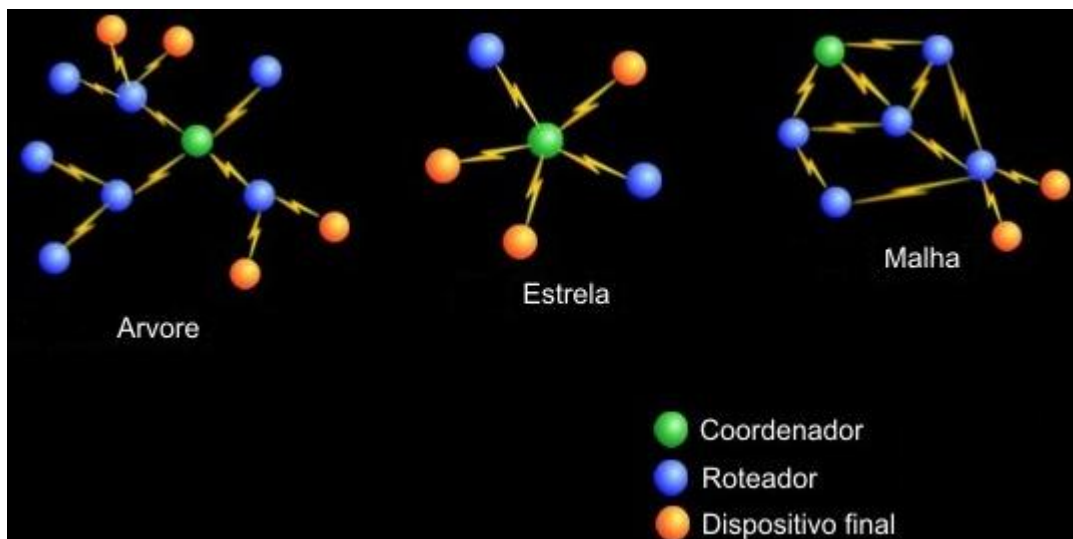


Figura 6.2 - Topologias de rede Zigbee

Fonte: Editado de Messias, 2008.

6.4 Módulo XBee

O módulo XBee é um sistema embarcado que utiliza radiofrequência para a comunicação entre outros módulos. Os módulos XBee têm várias características e exercem diversas funções, as quais podem ser configuradas de acordo com a necessidade de sua aplicação. De acordo com a série ou o modelo os módulos XBee tem características diferentes em relação à potência gasta para a transmissão e a distância que os módulos alcançam.



Figura 6.3 - Módulo XBee

Fonte: DIGI INTERNATIONAL, 2012

Tabela 6.1 - Especificações e características dos módulos XBee.

Specification	XBee	XBee-PRO (S2)	XBee-PRO (S2B)
Performance			
Indoor/Urban Range	up to 133 ft. (40 m)	Up to 300 ft. (90 m), up to 200 ft (60 m) international variant	Up to 300 ft. (90 m), up to 200 ft (60 m) international variant
Outdoor RF line-of-sight Range	up to 400 ft. (120 m)	Up to 2 miles (3200 m), up to 5000 ft (1500 m) international variant	Up to 2 miles (3200 m), up to 5000 ft (1500 m) international variant
Transmit Power Output	2mW (+3dBm), boost mode enabled 1.25mW (+1dBm), boost mode disabled	50mW (+17 dBm) 10mW (+10 dBm) for International variant	63mW (+18 dBm) 10mW (+10 dBm) for International variant
RF Data Rate	250,000 bps	250,000 bps	250,000 bps
Data Throughput	up to 35000 bps (see chapter 4)	up to 35000 bps (see chapter 4)	up to 35000 bps (see chapter 4)
Serial Interface Data Rate (software selectable)	1200 bps - 1 Mbps (non-standard baud rates also supported)	1200 bps - 1 Mbps (non-standard baud rates also supported)	1200 bps - 1 Mbps (non-standard baud rates also supported)
Receiver Sensitivity	-96 dBm, boost mode enabled -95 dBm, boost mode disabled	-102 dBm	-102 dBm
Power Requirements			
Supply Voltage	2.1 - 3.6 V	3.0 - 3.4 V	2.7 - 3.6 V
Operating Current (Transmit, max output power)	40mA (@ 3.3 V, boost mode enabled) 35mA (@ 3.3 V, boost mode disabled)	295mA (@3.3 V) 170mA (@3.3 V) international variant	205mA, up to 220 mA with programmable variant (@3.3 V) 117mA, up to 132 mA with programmable variant (@3.3 V), International variant
Operating Current (Receive)	40mA (@ 3.3 V, boost mode enabled) 38mA (@ 3.3 V, boost mode disabled)	45 mA (@3.3 V)	47 mA, up to 62 mA with programmable variant (@3.3 V)
Idle Current (Receiver off)	15mA	15mA	15mA
Power-down Current	< 1 μ A @ 25°C	3.5 μ A typical @ 25°C	3.5 μ A typical @ 25°C
General			
Operating Frequency Band	ISM 2.4 GHz	ISM 2.4 GHz	ISM 2.4 GHz
Dimensions	0.960" x 1.087" (2.438cm x 2.761cm)	0.960 x 1.297 (2.438cm x 3.294cm)	0.960 x 1.297 (2.438cm x 3.294cm)
Operating Temperature	-40 to 85° C (industrial)	-40 to 85° C (industrial)	-40 to 85° C (industrial)
Antenna Options	Integrated Whip Antenna, Embedded PCB Antenna, RPSMA, or U.FL Connector	Integrated Whip Antenna, Embedded PCB Antenna, RPSMA or U.FL Connector	Integrated Whip Antenna, Embedded PCB Antenna, RPSMA or U.FL Connector
I/O Interface	3.3V CMOS UART (not 5V tolerant), DIO, ADC	3.3V CMOS UART (not 5V tolerant), DIO, ADC	3.3V CMOS UART (not 5V tolerant), DIO, ADC
Networking & Security			
Supported Network Topologies	Point-to-point, Point-to-multipoint, Peer-to-peer, and Mesh	Point-to-point, Point-to-multipoint, Peer-to-peer, and Mesh	Point-to-point, Point-to-multipoint, Peer-to-peer, and Mesh
Number of Channels	16 Direct Sequence Channels	14 Direct Sequence Channels	15 Direct Sequence Channels
Channels	11 to 26	11 to 24	11 to 25
Addressing Options	PAN ID and Addresses, Cluster IDs and Endpoints (optional)	PAN ID and Addresses, Cluster IDs and Endpoints (optional)	PAN ID and Addresses, Cluster IDs and Endpoints (optional)

Fonte: DIGI INTERNATIONAL, 2012

Entradas analógicas: Os módulos XBee são capazes de realizar leituras analógicas em seus pinos. O dispositivo faz a conversão analógico/digital, onde a tensão suportada na entrada é de 1,2 volts. O valor é convertido de acordo com a equação 6.1 e é composto por 10 bits, ou seja, pode ser de 0 a 1023.

$$AD(mV) = \frac{(\text{leitura A/D} * 1200mV)}{1023} \quad (6.1)$$

Entradas e Saídas Digitais: Seus pinos podem ser colocados em nível alto ou baixo e também detectarem o nível de tensão aplicado no pino.

Comunicação UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) Serial: É semelhante ao módulo USART do microcontrolador PIC que foi apresentado anteriormente, mas não possui comunicações síncronas. A configuração dos módulos Xbee é feita utilizando a comunicação UART. A figura 6.1 mostra como é feito o recebimento ou envio de informações com outro microcontrolador ou computador.

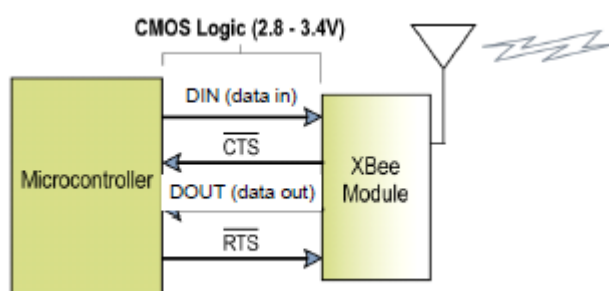


Figura 6.4 - Comunicação serial entre um microcontrolador e um módulo XBEE

Fonte: Adaptado de DIGI INTERNATIONAL, 2012

De acordo com o datasheet do dispositivo XBee os modos de operação são divididos em cinco. Quando o dispositivo se encontra parado, ou seja, sem estar transmitindo ou recebendo dados, tem-se o modo inativo.

Tabela 6.2 - Pinos do Módulo XBee

Pin #	Name	Direction	Default State	Description
1	VCC	-	-	Power supply
2	DOUT	Output	Output	UART Data Out
3	DIN / $\overline{\text{CONFIG}}$	Input	Input	UART Data In
4	DIO12	Both	Disabled	Digital I/O 12
5	$\overline{\text{RESET}}$	Both	Open-Collector with pull-up	Module Reset (reset pulse must be at least 200 ns)
6	RSSI PWM / DIO10	Both	Output	RX Signal Strength Indicator / Digital IO
7	DIO11	Both	Input	Digital I/O 11
8	[reserved]	-	Disabled	Do not connect
9	$\overline{\text{DTR}}$ / SLEEP_RQ / DIO8	Both	Input	Pin Sleep Control Line or Digital IO 8
10	GND	-	-	Ground
11	DIO4	Both	Disabled	Digital I/O 4
12	$\overline{\text{CTS}}$ / DIO7	Both	Output	Clear-to-Send Flow Control or Digital I/O 7. CTS, if enabled, is an output.
13	ON / $\overline{\text{SLEEP}}$	Output	Output	Module Status Indicator or Digital I/O 9
14	VREF	Input	-	Not used for EM250. Used for programmable secondary processor. For compatibility with other XBee modules, we recommend connecting this pin voltage reference if Analog sampling is desired. Otherwise, connect to GND.
15	Associate / DIO5	Both	Output	Associated Indicator, Digital I/O 5
16	$\overline{\text{RTS}}$ / DIO6	Both	Input	Request-to-Send Flow Control, Digital I/O 6. RTS, if enabled, is an input.
17	AD3 / DIO3	Both	Disabled	Analog Input 3 or Digital I/O 3
18	AD2 / DIO2	Both	Disabled	Analog Input 2 or Digital I/O 2
19	AD1 / DIO1	Both	Disabled	Analog Input 1 or Digital I/O 1
20	AD0 / DIO0 / Commissioning Button	Both	Disabled	Analog Input 0, Digital IO 0, or Commissioning Button

Fonte: DIGI INTERNATIONAL, 2012

Modo de Transmissão: Quando os dados seriais são recebidos e estão prontos para serem empacotados, o dispositivo deixa o modo inativo e entra no modo de transmissão. Estes dados serão mandados para um nó definido pelo endereço de destino. Primeiramente verifica-se o endereço de 16bits da rede e a rota de destino, se estão corretos, a conexão é estabelecida. Se não é conhecido o endereço de 16bits, o dispositivo faz uma busca da rota. Se nenhuma conexão for estabelecida os dados são descartados (DIGI INTERNATIONAL, 2012).

Modo de recepção: Ao receber um pacote de dados validos, o dispositivo entrará no modo de recepção e colocará os dados em um buffer para transmissão via comunicação serial.

Modo de comando: Quando se tem a necessidade de modificar ou ler as configurações do módulo, o modo de comando é acionado, onde as informações recebidas via serial são interpretadas como comandos.

Modo Sleep: O módulo pode ser colocado no modo sleep, onde ficará “dormindo”. Nesse período, o gasto energético é muito baixo e o dispositivo não pode fazer nada, só acordando quando há a necessidade de ser usado. O dispositivo pode ser acordado quando houver uma transição no pino sleep (sleep pin mode) ou em ciclos (cyclic sleep), onde o dispositivo acorda de tempo em tempo para ser usado. Neste modo o módulo gasta em média apenas 1 uA (micro ampere) de corrente e 50 uA enquanto transita para outro modo.

7 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE CONTROLE DE ILUMINAÇÃO SEM FIO PARA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E CONFORTO AMBIENTAL

O sistema desenvolvido permite ao usuário controlar a iluminação do ambiente. Possui dois modos de operação: Automático (Econômico) e manual. O modo automático faz o aproveitamento da luz natural para diminuir o gasto energético, sendo uma luz branca similar à luz solar. Com o modo manual pode-se controlar a intensidade e cor da iluminação livremente. O sistema possui dois módulos, um central e um sensor sem fio, e permite ao usuário controlar a iluminação utilizando um dispositivo com a plataforma Android (Smartphone).

7.1 Módulo central (Mestre/Servidor)

O módulo central é responsável pelo acionamento e controle da iluminação. É ligado à rede local por meio do controlador ethernet ENC28J60 e também com o módulo de sensor sem fio utilizando o dispositivo XBee.

O microcontrolador PIC18F4550 foi selecionado por atender os requisitos necessários para o funcionamento do sistema, como memória de programa, frequência de clock máxima que pode atingir. Esse dispositivo possui módulo de comunicação USART que possibilita a comunicação com os dispositivos XBee e SPI para a comunicação com o módulo ethernet ENC28J60 responsável pela interface com a rede local. O controle da intensidade luminosa de cada LED é feito através de sinais PWM implementado via software, utilizando timers e interrupções. O ciclo de trabalho (duty cycle) é alterado de acordo com o nível de iluminação que é necessário, com isso a tensão aplicada aos LEDs da Fita RGB se alteram, mudando a intensidade do brilho deles. A fita de LED RGB opera a 12V sendo essa a tensão de alimentação da placa. São utilizados reguladores de tensão de 5V para diminuir a tensão para a alimentação do microcontrolador e 3.3V para a alimentação do controlador ethernet e do XBEE.

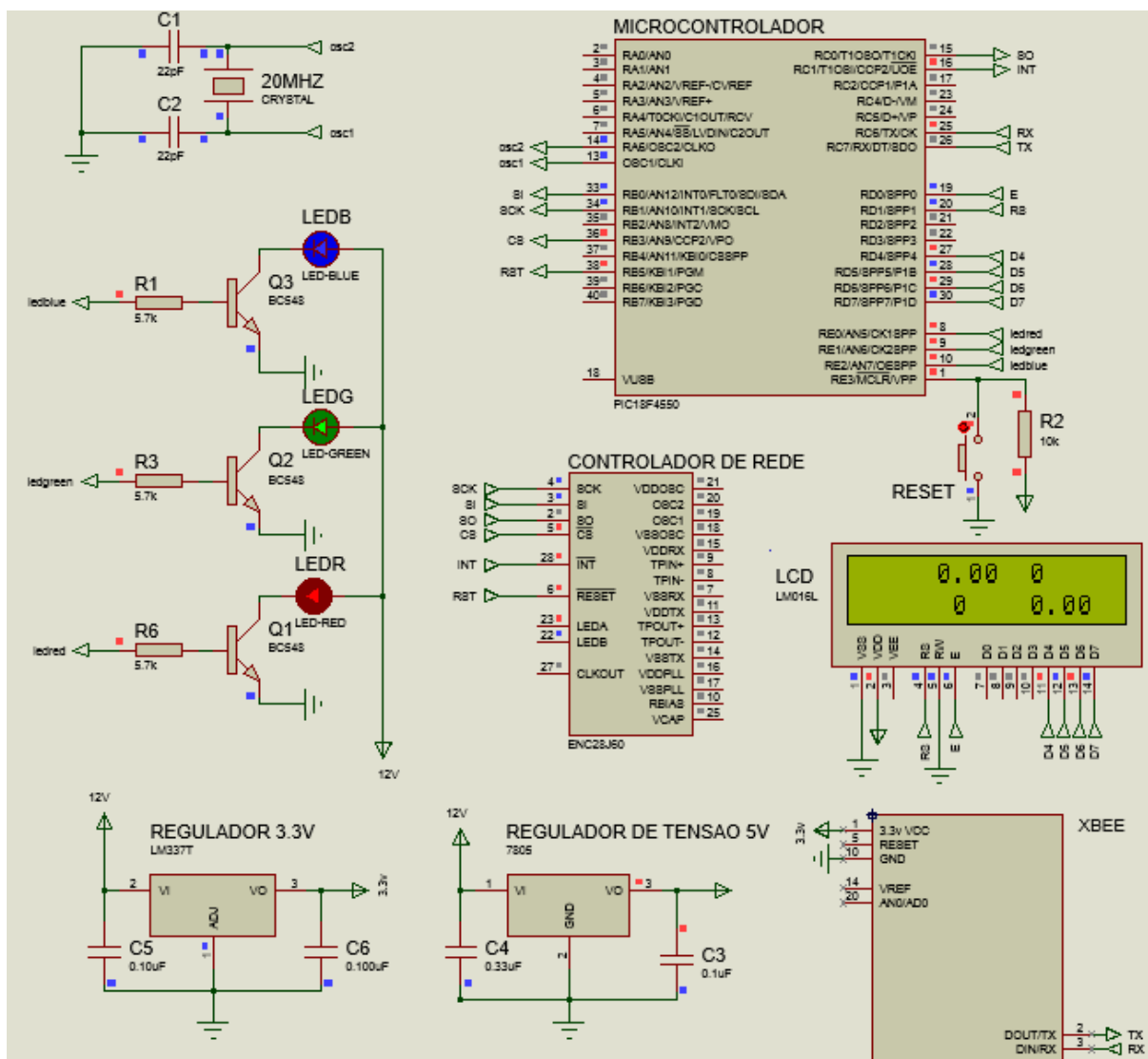


Figura 7.1 – Esquema de ligação do módulo central

7.1.1 Programação do firmware

De acordo com Pereira (2004), a programação de um microcontrolador ou microprocessadores não é trivial e dependendo da aplicação pode ser muito complicado. Utilizava-se a linguagem de máquina ou assembly para a programação, mas por ser bastante complexa, implica na demora no desenvolvimento de aplicações e custos elevados. Com as linguagens de alto nível, o desenvolvimento das aplicações foi facilitado, pois são linguagens mais amigáveis aos programadores, possuindo diversas funções e comandos de alto nível. Essas linguagens são traduzidas para a linguagem de baixo nível e inseridas nos microcontroladores. Para o desenvolvimento do firmware do microcontrolador foi utilizada a

linguagem C, que foi desenvolvida para ser genérica e tão estruturada e lógica quanto a outras linguagens de alto nível que já existiam. Atualmente esta linguagem é bastante utilizada para a programação de diversos tipos de microcontroladores tais como PIC, AVR, ARM e 80x51. Na necessidade da adaptação do código para outra plataforma, precisa-se apenas de alguns ajustes no código original, já que existem diferenças nas especificações do microcontrolador como dispositivos e drivers utilizados (SILVA, 2009).

O Ambiente de desenvolvimento utilizado para a implementação do firmware do microcontrolador foi o MPLAB. Foi utilizado o compilador CCS que traz várias funções que auxiliam na programação em C.

Tabela 7.1 - Protocolo de comandos do sistema

Comandos enviados pelo dispositivo Android	Ação de controle do sistema
R+	Aumenta a intensidade do led vermelho
R-	Diminui a intensidade do led vermelho
G+	Aumenta a intensidade do led verde
G-	Diminui a intensidade do led verde
B+	Aumenta a intensidade do led azul
B-	Aumenta a intensidade do led azul
Lxxx	Ativa o modo automático. O usuário digita o valor do setpoint em lux (xxx) desejado. O sistema retorna o valor da iluminância ambiente no momento e controla automaticamente a intensidade dos leds para atingir a iluminação desejada. Possui cor branca fria.

Para a comunicação do microcontrolador e o aplicativo desenvolvido utilizou-se o protocolo TCP/IP. O PIC18F4550 atua como servidor, esperando algum dispositivo se conectar a ele. Ele recebe os dados enviados pelo aplicativo e então realiza a ação de controle. O protocolo desenvolvido esta presente na tabela 7.1.

O dispositivo recebe os dados da leitura utilizando a comunicação serial. O XBee envia um frame contendo 52 bytes, com informações sobre a leitura do sensor, quantidade de amostras feitas e outros. O microcontrolador executa uma interrupção toda vez que recebe dados no buffer da porta serial e as coloca em um vetor de 52 posições. São enviadas vinte amostras da leitura do sensor e a partir do valor da média das amostras faz-se a conversão em lux.

Quando operando no modo automático, toda vez que o microcontrolador receber a leitura do sensor, calculara o erro a partir do valor desejado (setpoint) e então executara a ação de controle, até que o erro fique dentro da faixa de tolerância.

7.2 Módulo de sensor sem fio

Para o aproveitamento da luz natural e o controle de luminosidade, foi projetado um módulo sem fio utilizando o dispositivo XBee ZigBee S1, um divisor de tensão com um resistor de 2 K Ω , um resistor de 1K Ω e um LDR e uma bateria de 3.3v. Ele faz a conversão analógico/digital de vinte leituras da iluminância e envia para o outro XBee localizado no modulo central que então envia os dados para o microcontrolador. O sensor pode ser colocado em qualquer lugar do ambiente onde o sistema de iluminação for instalado. Para a realização de uma atividade, a iluminância deve ser medida no campo de trabalho e quando esse não for definido, toma-se como referencia o valor obtido a um plano horizontal a 75 centímetros do piso (ABNT, 1991).

O XBee foi configurado para trabalhar no modo cyclic sleep, onde fica inativo por 15 segundos, acordando apenas para fazer a amostragem no sensor e enviar os dados obtidos para o módulo central diminuindo o consumo de bateria, aumentando tempo de vida útil da bateria.

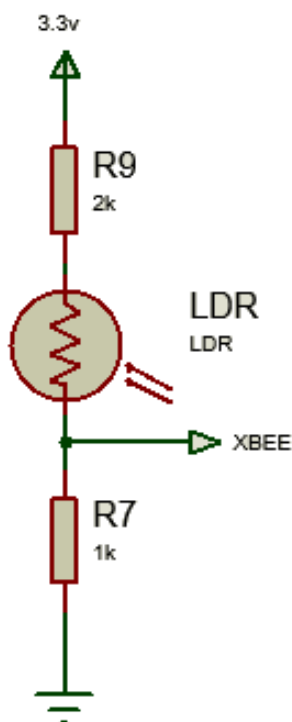


Figura 7.2 - Divisor de Tensão com LDR

7.2.1 Configuração dos módulos XBee (XCT-U)

O software XCTU desenvolvido pela DIGI INTERNATIONAL serve para configuração do módulo XBEE. Com ele consegue-se configurar o dispositivo como coordenador, dispositivo final ou roteador, o tipo de rede que será utilizada, habilitar a conversão analógico/digital dos pinos, o número de amostragens feitas, habilitar o modo sleep e definir o período em que o dispositivo estará dormindo.

7.2.2 Calibragem do sensor de luminosidade

Utilizou-se um luxímetro para medir a iluminância e calibrar o sensor LDR do módulo. Foram feitas várias amostras da intensidade luminosa medida pelo luxímetro e a tensão de entrada no módulo XBEE e montou-se a tabela 7.2.

Tabela 7.2 - Valores de tensão no sensor e iluminância medida pelo luxímetro

Tensão (V)	Iluminância média (lux)
0	0
0,05	20
0,1	35
0,15	48
0,19	70
0,21	93
0,27	144
0,31	202
0,35	260
0,4	308

A partir dos dados obtidos foi feito um ajuste de curva pelo método dos mínimos quadrados utilizando o MATLAB e então gerou-se a equação da curva do sensor LDR calibrado e o gráfico da figura 7.3.

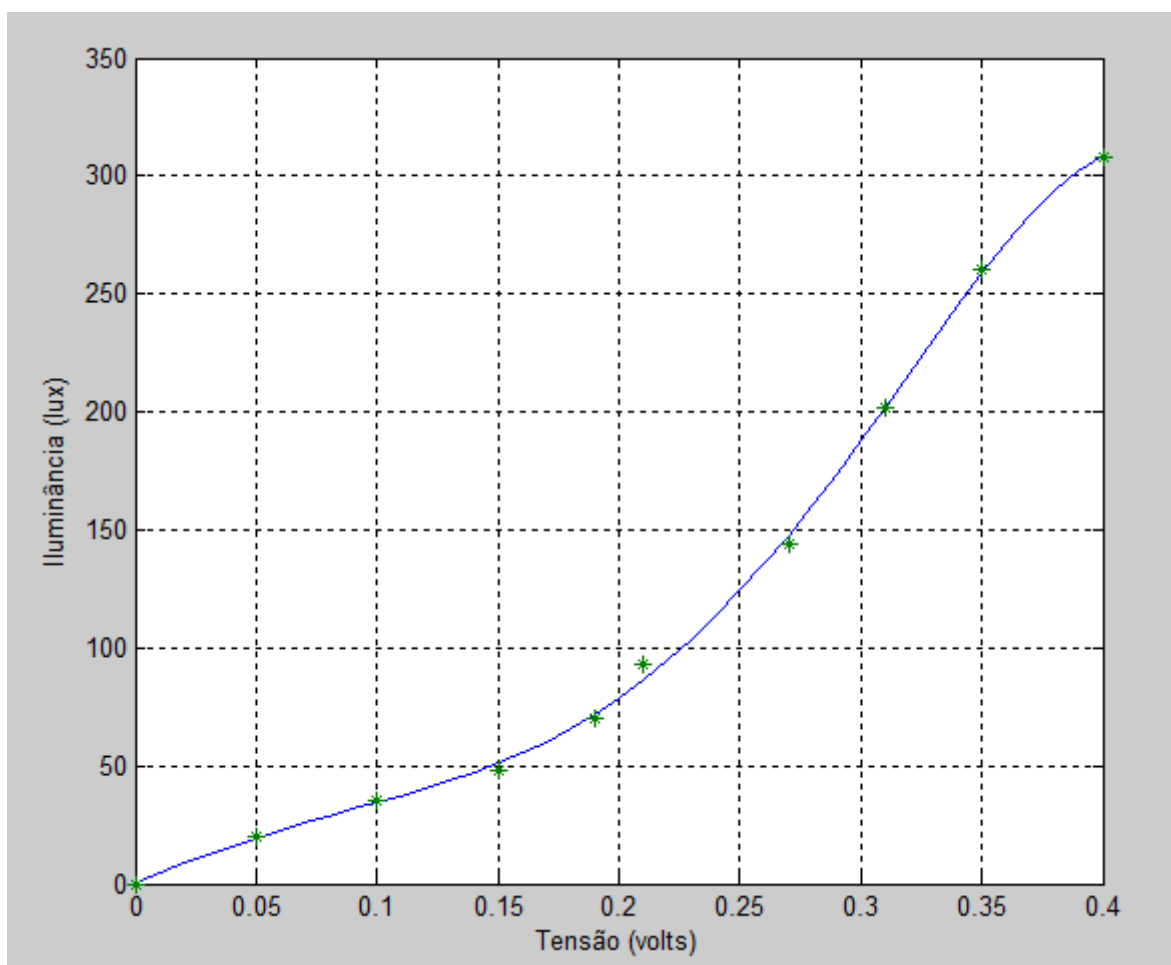


Figura 7.3 - Curva Iluminância x Tensão

Os pontos verdes da figura 7.3 mostram os valores medidos presentes na tabela 7.2, utilizados para construção do modelo do sensor calibrado. A linha azul contém os valores do modelo dado pela equação 7.1. A variável ‘x’ representa a tensão de entrada no sensor.

$$Iluminância = -128088,2x^5 + 82810,1x^4 - 8520,1x^3 - 813,1x^2 + 438,1x + 0,2 \quad (7.1)$$

Os valores encontrados são relativos e apenas para testes, já que a sensibilidade relativa da célula fotocondutiva varia de acordo com o comprimento de onda da luz incidente (SUNROM, 2008). Dependendo da aplicação, deve se fazer um ajuste fino do sensor.

7.3 Desenvolvimento do aplicativo “Android”

Um aplicativo para smartphones com a plataforma Android foi desenvolvido utilizando a linguagem Java. Esse aplicativo possui uma interface gráfica que permite ao usuário escolher os modos de operação do sistema. O dispositivo se comunica com o módulo central via wireless usando o protocolo TCP/IP. No modo automático o usuário digita a iluminância que deseja no ambiente em lux. O sistema respondera acendendo os LEDs na intensidade necessária automaticamente. Nesse modo a cor da iluminação é apenas branca.

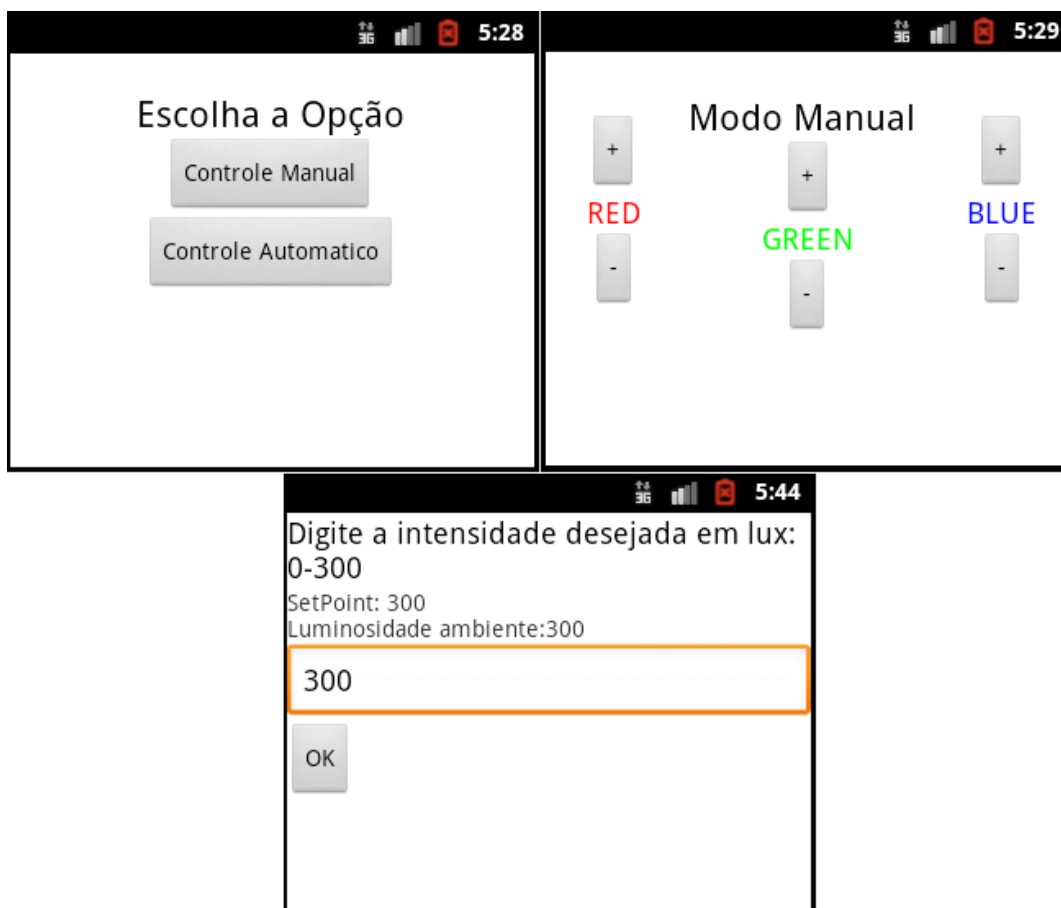


Figura 7.4 - Aplicativo Android

A norma NBR 5413 da ABNT define níveis de iluminância de interiores por tipo de atividade. A tabela 7.3 mostra apenas os níveis para cômodos em residências. A norma apresenta níveis para varias atividades e serviços.

Tabela 7.3 - Tabela de níveis de iluminância em residências.

Atividade ou cômodo	Iluminância em lux
Sala de Estar	100 - 150 - 200
Banheiros	100 - 150 – 200
Banheiros (Local: espelho)	200 - 300 – 500
Quartos (Geral)	100 - 150 – 200
Quartos (Local: espelho, cama)	200 - 300 – 500
Escrivaninha	200 - 300 – 500
Cozinha	150 - 200 – 300
Garagem, Escadas	75 - 100 – 150

Fonte: ABNT, 1991

No modo manual o usuário aumenta ou diminui a intensidade de cada LED separadamente, podendo mudar a cor e a intensidade da iluminação.

7.3.1 Plataforma Android

Freire (2013) define a plataforma Android como um software de código livre, desenvolvida para o gerenciamento e interface homem/máquina para dispositivos móveis como celulares, smartphones e tablets. Sua arquitetura básica é composta por três camadas: de aplicação, middleware e sistema operacional. A maioria das aplicações para Android são escritas em Java.

Na camada de aplicação ficam todos os programas que rodam na plataforma, exemplo, discador, Email, agenda eletrônica, câmera digital, galeria de fotos. O Framework oferece suporte às aplicações e serviços de gerenciamento de interface com as outras camadas e faz o gerenciamento de janelas e atividades que estão sendo executadas (FREIRE, 2013).

A camada middleware possui varias bibliotecas responsáveis pelos diversos recursos oferecidos pela plataforma e pelo seu funcionamento em diversos dispositivos distintos. (FREIRE, 2013)

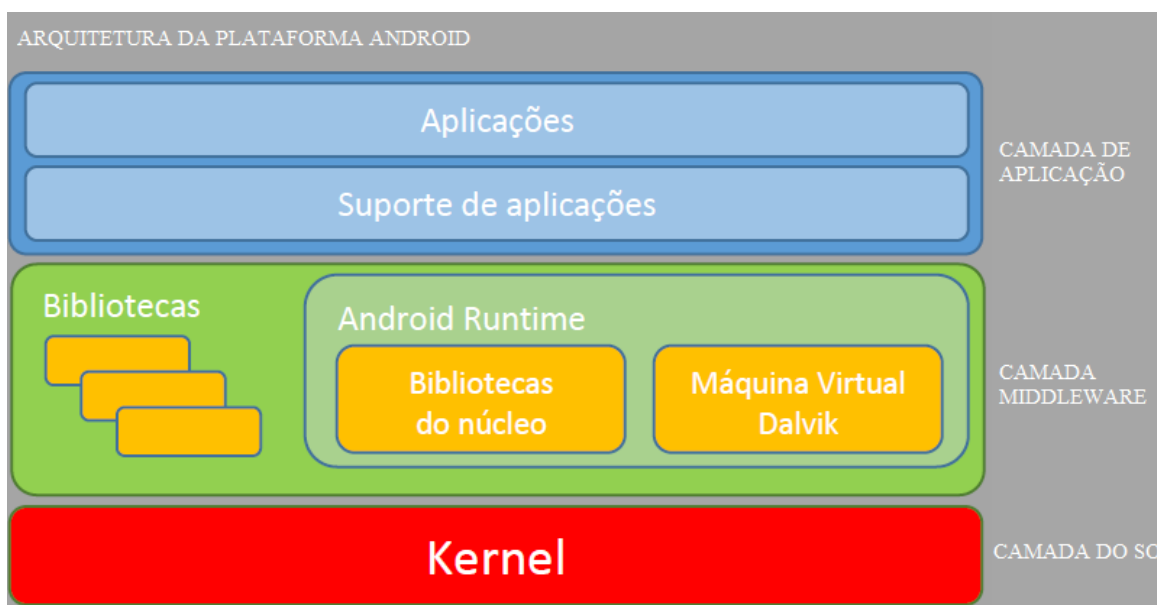


Figura 7.5 - Arquitetura ANDROID

Fonte: FREIRE, 2013

A camada do sistema operacional é baseada no kernel do sistema Linux, que faz o gerenciamento de memória, configurações de segurança, gerenciamento de consumo energético, acesso ao sistema de arquivos, comunicação em rede, comunicação entre processos e os drivers. É responsável também por toda a comunicação com os Hardwares do dispositivo, como por exemplo, o Bluetooth, Rede sem fio, o monitor, entradas e saídas. (FREIRE, 2013)

7.3.2 Programação em Linguagem JAVA do aplicativo

Para o desenvolvimento do aplicativo foi utilizada a linguagem de alto nível JAVA. Junto com o Software Development Kit (SDK) da plataforma Android oferecem várias ferramentas para os desenvolvedores de aplicativos. As informações são empacotadas e enviadas para a rede via protocolo TCP/IP.

O Eclipse IDE foi o ambiente de desenvolvimento usado para criar o aplicativo. Ao instalar a extensão ADT (Android Development Tool) no Eclipse IDE, são incorporadas todas as ferramentas do SDK do Android ao Eclipse IDE. Ele oferece vários recursos que auxiliam no desenvolvimento aplicações para Android, além disso, também oferece ferramentas visuais para diversos comandos do SDK, que só poderiam ser utilizados através de linhas de comando e possui ferramentas para o desenvolvimento da interface gráfica com o usuário (FREIRE, 2013).

7.4 Testes e Resultados

Fizeram-se testes na sala de estar de uma residência, utilizando o protótipo desenvolvido. O sistema foi conectado ao roteador e foi possível fazer o controle da iluminação a partir de um smartphone com o aplicativo instalado, também conectado a rede. O protótipo funcionou de acordo com o que foi proposto.

O sensor sem fio comunicou-se com o módulo central com poucos ruídos e os dados enviados chegaram perfeitamente. O dispositivo XBee também funcionou no modo sleep, acordando em períodos de 15 segundos apenas para fazer as leituras no sensor e então voltando a “dormir”. O valor da leitura pode ser visto pelo aplicativo no smartphone.

No modo manual foi possível controlar individualmente os LEDs vermelhos, verdes e azuis, conseguindo atingir varias tonalidades e cores diferentes para a iluminação. No modo automático, o sistema conseguiu controlar a iluminância, atingindo o valor definido e permanecendo dentro da faixa de erro. Inicialmente o sistema estava desligado e não possuía iluminação natural no ambiente. A iluminância inicial era zero lux e o setpoint foi definido em 100 lux. A margem de erro aceitável foi definida em ± 20 lux. A figura 7.6 mostra o erro sistema em função do tempo.

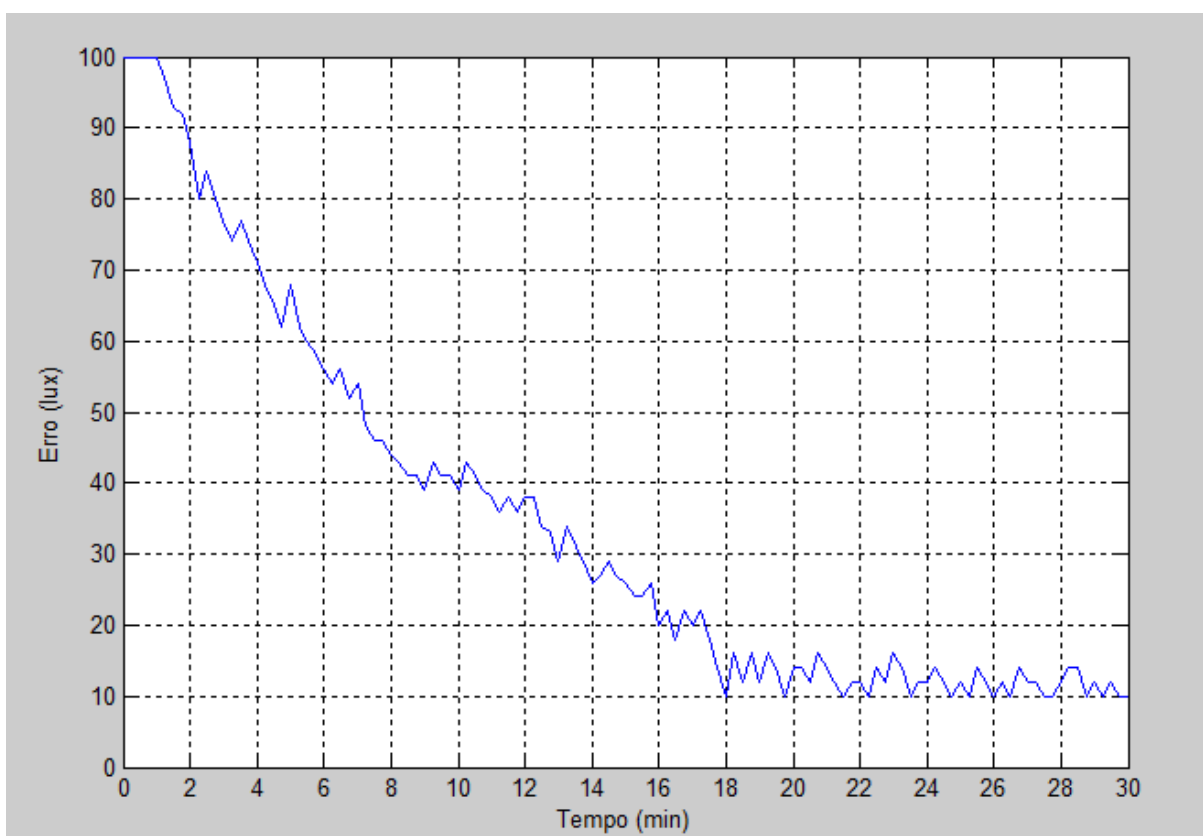


Figura 7.6 – Erro em função do tempo.

A resposta do sistema é lenta, a intensidade da iluminação se altera devagar para evitar fadiga visual das pessoas presentes no ambiente. Percebe-se que após 18 minutos de funcionamento, o sistema atinge um valor adequado, ficando dentro da margem de erro. Dependendo da aplicação pode ser necessário um tempo de resposta menor. Pode-se diminuir o tempo de resposta do sistema, aumentando o ganho proporcional do controlador.

8 CONCLUSÃO

Este trabalho trouxe uma grande experiência prática no desenvolvimento de sistemas de automação utilizando tecnologias de comunicação sem fio. Foi possível perceber a grande área de aplicação dessas tecnologias nas residências. Não só em relação ao controle de iluminação, como também para integrar os diversos sistemas presentes nas residências de forma a melhorar sua eficiência e praticidade.

Uma das barreiras encontradas no desenvolvimento do sistema foi conseguir alguns dos dispositivos, que tem a necessidade de serem importados e não são encontrados facilmente no mercado.

A integração de outros sistemas residenciais em um único sistema de controle e o aperfeiçoamento do sistema de controle de iluminação com novas opções de controle e modos de operação são ótimas sugestões para trabalhos futuros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASCURRA, R. E. **Eficiência elétrica em iluminação pública utilizando tecnologia LED: Um estudo de caso.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Ambiental) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5413: Iluminância de interiores.** Rio de Janeiro, 1991.

BICUDO, G. R. **Proposta para controle de iluminação utilizando controlador lógico programável.** 2009. Monografia (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro preto.

CANTÚ, E. **Redes de computadores e internet.** IFSC, Instituto Federal de Santa Catarina, São José, 2003. 75p. Disponível em: <[http://www.das.ufsc.br/~montez/Disciplinas/material Redes/ApostilaCantu.pdf](http://www.das.ufsc.br/~montez/Disciplinas/material%20Redes/ApostilaCantu.pdf)>. Acesso em: 25 nov. 2014.

COSTA, S. P. **Eficiência energética em edificações e o uso de fontes alternativas de energia em projetos residenciais urbanos – estudo de casos.** 2007. Monografia (Especialização em Formas Alternativas de Energia) - Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

DIGI INTERNATIONAL. **XBee®/XBee-PRO® ZB RF Modules.** Folha de dados. 2012. Disponível em:<<http://www.adafruit.com/datasheets/XBee%20ZB%20User%20Manual.pdf>>. Acesso em: 05 fev. 2015.

EPE, Empresa de pesquisa energética. **Análise da Eficiência Energética na Indústria e nas Residências, Estudos de Demanda.** Ministério de Minas e Energia. Rio de Janeiro. 2010. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/20100809_4.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2014.

FERREIRA, K. **Psicologia das cores.** Rio de janeiro, Editora Wak, 2013. 172 p.

FREIRE, J. G. F. **Análise de desempenho de plataformas para desenvolvimento com o sistema operacional android**. Monografia (Graduação em Engenharia da Computação) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.

GREGGIANIN, C. A.; MARCHESINI, I. A.; BITTAR, J. B. P.; LOSS, J.; TAVARES, S. F.; JESUS, R. A.; FILHO, J. S.; SILVA, J. M. M. **Estudo comparativo entre lâmpadas: incandescentes, fluorescentes compactas e LED**. Espaço Energia, Ed. 18, 2013. Disponível em: <<http://www.espacoenergia.com.br/edicoes/18/EE018-07-11%20Comparative%20study%20of%20bulbs%20incandescent%20bulbs%20fluorescent%20bulbs%20and%20LED%20bulbs.pdf>>. Acesso em: 25 nov. 2014.

IIDA, I. **Ergonomia: Projeto e Produção**, São Paulo, SP, Editora Edgard Blücher Ltda., 1990 apud BICUDO, G. R. **Proposta Para Controle De Iluminação Utilizando Controlador Lógico Programável**. 2009. Monografia (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro preto.

LULA, C. C. M. L.; SILVA, L. B. **O conforto ambiental e a motivação: Implicações no desempenho de alunos em ambientes climatizados**. In: Congresso Latino Americano de Ergonomia, 6., Recife: ABERGO, 2002. Disponível em: <[http://www.biblioteca.sebrae.com.br/bds/bds.nsf/4647264613E2DB7B03256FB000691C43/\\$File/NT000A47AE.pdf](http://www.biblioteca.sebrae.com.br/bds/bds.nsf/4647264613E2DB7B03256FB000691C43/$File/NT000A47AE.pdf)> . Acesso em: 30 mai. 2014.

MACHADO, G. B. **Uma arquitetura baseada em Web Services com diferenciação de serviços para integração de sistemas embutidos a outros sistemas**. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

MESSIAS, A. R. **Controle Remoto e Aquisição de Dados via XBee/ZigBee (IEEE 802.15.4)**. Artigo On-Line, São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://www.rogercom.com/ZigBee/ZigBee.htm>>. Acesso em: 12 mai. 2015.

MIRANDA, P. H. A., VARELA A. T., JUNIOR, E. M. S. **Análise da eficiência de LEDs de potência em aparelhos odontológicos utilizando o diodo Peltier**. In: Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte e Nordeste de Educação Tecnológica, 4., Belém, 2009. Anais Eletrônicos, Belém: IFPA, 2009. Disponível em: <http://connepi2009.ifpa.edu.br/connepi-anais/artigos/69_1153_257.pdf>. Acesso em: 30 mai. 2014.

MICROCHIP. **ENC28J60 – Stand Alone Ethernet Controller**. Microchip Technology Masters Conference – Masters Brasil, 2., 2007, São Paulo. DVD-ROM apud SANTANA, L, V. **O uso da internet e da comunicação sem fio via ZigBee em sistemas embutidos**. Monografia (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2008.

MICROCHIP. **ENC28J60 – Stand-Alone Ethernet Controller with SPI Interface**. Folha de Dados. USA, 2012. Disponível em: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39662e.pdf>>. Acesso em: 05 fev. 2015.

MICROCHIP. **PIC18F2455/2550/4455/4550 Data Sheet**. Folha de dados. USA, 2006. Disponível em: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39632c.pdf>>. Acesso em: 05 fev. 2015.

MIYADAIRA, A. N. Microcontroladores PIC18: Aprenda e Programe em Linguagem C. Editora Érica LTDA, São Paulo, 2009. 400 p.

MONTEIRO, M. A. Introdução à organização de computadores. LTC Editora, 4º Ed, Rio de Janeiro, 2001. 498 p.

NOERGAARD, T. **Embedded Systems Architecture: A Comprehensive Guide for Engineers and Programmers**. Elsevier Inc. 2005, Burlington, USA. 639 p.

PENACHIN, M, N. **Automação residencial**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade São Francisco. Campinas. 2009. 41p.

PEREIRA, F. **Microcontroladores PIC: Programação em C**. Editora Érica, 2º Ed, São Paulo, 2003. 358 p.

PHILIPS. **Catalogo de Produtos – Lâmpadas**. Catalogo. Disponível em:

< <http://www.ecat.lighting.philips.com.br/l/lampadas/41334/cat/>>. Acesso em: 28 nov. 2014.

RAMOS, J. S. B. **Instrumentação eletrônica sem fio: transmitindo dados com módulos XBEE ZIGBEE e PIC16F877A**. São Paulo, Editora Érica Ltda, 2012. 238 p.

RIBEIRO, M. A. **Instrumentação**. Tek Treinamento & Consultoria Ltda, Salvador, 2002. 327 p.

SANTANA, L. V. **O uso da internet e da comunicação sem fio via ZIGBEE em sistemas embutidos**. Monografia (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. 2008.

SILVA, D. F. **Sistema de comunicação Bluetooth utilizando microcontrolador**. Monografia (Graduação em Engenharia da Computação) - Escola politécnica de Pernambuco, Universidade de Pernambuco, Recife, 2009.

SILVA, E. L. **Sistema de automação aplicado à eficiência energética predial em Instituições do ensino superior: Um estudo de caso na Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2006.

SILVA, M. L. **Luz, Lâmpadas e Iluminação**. Editora Ciência Moderna Ltda., 2004. Rio de Janeiro. 157 p.

SOUZA, M. A. **Estratégia Para Redução e Conservação de Energia Elétrica em Iluminação**. 2010. Monografia (Especialização Em Análise da Qualidade e Eficiência no Uso da Energia Elétrica) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2010.

STEINHAUSER, P. L; MELLO, E. R. **ZIGLAR – Utilização de redes sem fio ZIGBEE para acessibilidade aos portadores de deficiência física**. Santa Catarina: UNIEDU, 2013. Disponível em: <<http://www.uniedu.sed.sc.gov.br/wp-content/uploads/2013/10/Paulo-Luis-Steinhauser.pdf>>. Acesso em: 27 nov. 2014.

SUNROM TECHNOLOGIES. **Light Dependent Resistor – LDR**. Folha de dados. 2008. Disponível em: <<http://www.sunrom.com/media/files/p/54/3190-datasheet.pdf>>. Acesso em: 05 fev. 2015.

TENENBAUM, A. S. **Redes de Computadores**. Editora Campus (Elsevier), Tradução da 4ª Edição, 2003.

VALDIR, W. L. **A Psicodinâmica das Cores como Ferramenta de Marketing: A percepção, influência e utilização das cores na comunicação mercadológica**. 2005. Monografia (Bacharelado em Administração) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2005.

WOLLS, F. E. B. **Estratégias para Otimização da Iluminação e Redução do Consumo Energético em Edifícios Residenciais**. IPOG Especialize, Revista Online, 3. Ed. 2012. Disponível em: <<http://www.ipog.edu.br/nao-aluno/revista-ipog/download/estrategias-para-otimizacao-da-iluminacao-e-reducao-do-consumo-energetico-em-edificios-residenciais>>. Acesso em: 30 de maio. 2014.