

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
COORDENAÇÃO DE ELETROTÉCNICA  
TECNOLOGIA EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL**

**LUIZ GUILHERME ALVES**

**LUMINÁRIA DE LED COM CONTROLE DE AUTOMATIZADO DE  
LUMINOSIDADE**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO CURSO**

**CORNÉLIO PROCÓPIO**

**2013**

**LUIZ GUILHERME ALVES**

**LUMINÁRIA DE LED COM CONTROLE AUTOMATIZADO DE  
LUMINOSIDADE**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Diplomação do Curso Superior de Tecnologia em Automação Industrial da Coordenação de Tecnologia em Automação Industrial – COAUT - da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial à obtenção do título de Tecnólogo.

Orientador: Prof. Me. Marco Antonio Ferreira Finocchio

**CORNÉLIO PROCÓPIO**

**2013**



Ministério da Educação  
**Universidade Tecnológica Federal do Paraná**  
Campus Cornélio Procópio  
Diretoria de Graduação e Educação Profissional  
Coordenação de Eletrotécnica  
Tecnologia em Automação Industrial



---

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

LUMINÁRIA DE LED COM CONTROLE AUTOMATIZADO DE LUMINOSIDADE

por

LUIZ GUILHERME ALVES

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 17 de dezembro de 2013 como requisito parcial para a obtenção do título de Tecnólogo em Automação Industrial. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Marco Antonio Ferreira Finocchio  
Prof. Orientador

---

Carlos Alberto Pascholino  
Membro titular

---

Edmar Piacentini Junior  
Membro titular

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

Dedico este trabalho à toda minha família, em especial a minha querida mãe Terezinha Magalhães Valentim Alves, que sempre, acreditando no meu esforço e dedicação, me apoiou nos momentos mais difíceis desta jornada.

## AGRADECIMENTOS

A Deus por me dar forças e sabedoria para prosseguir.

Aos meus queridos pais Francisco Assis Alves e Terezinha Magalhães Valentim Alves, por estarem sempre me apoiando.

A minha querida amada Talita Miranda dos Santos, que foi compreensível nos momentos de ausência.

Ao meu orientador, o Prof. Me. Marco Antonio Ferreira Finocchio, pessoa iluminada, que mais do que orientar, acreditou no meu potencial e com sua metodologia de ensino despertou-me a busca por novos conhecimentos e me direcionou rumo às oportunidades, tornando assim este trabalho menos árduo.

Aos amigos e companheiros que tive na universidade, pois todos, de alguma forma, contribuíram para que isto fosse possível.

A UTFPR, *Câmpus* Cornélio Procópio, pela sua equipe de funcionários e toda a sua estrutura que foram de suma importância para a realização deste trabalho.

Aos professores Carlos Alberto Paschoalino e Edmar Piacentini Junior participantes da banca de avaliação.

A todos os professores que tive ao longo dessa jornada por todo o conhecimento a mim passado.

## RESUMO

ALVES, Luiz Guilherme. **Luminária de LED com controle Automatizado de Luminosidade**. 2013. 62. Trabalho de Conclusão de Curso de Tecnologia em Automação Industrial – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procopio, 2013.

Este trabalho tem como objetivo a criação de uma luminária que utilize como fonte de iluminação diodos emissores de luz, e tenha controle automático de luminosidade de acordo com a iluminação já existente no ambiente. Apesar de sua criação já ser antiga, recentemente o uso dos LEDs para iluminação tem crescido de forma considerável, sendo utilizados na iluminação pública, residencial, industrial, em faróis de carros e outros. Deste modo, a criação da luminária de LED com controle automatizado de luminosidade visa um melhor aproveitamento desses diodos emissores de luz, tornando seu uso mais racional, ou seja, diminuindo o consumo de energia elétrica quando o ambiente já tiver uma iluminação externa.

**Palavras-chave:** LED. Luminária. Iluminação. Controle. Automação.

## **ABSTRACT**

ALVES, Luiz Guilherme. **LED luminaire with Automatic Brightness Control**. 2013. 62. Conclusion Course Paper for Trabalho de Conclusão de Curso de Industrial Automation Technology – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2013.

This paper has as its main target the creation of a luminaire that uses as illumination source light emitting diodes (LED) and has an automatic brightness control in accordance with the brightness already existent in the ambient. Despite its recent creation already be ancient, the use of LEDs for lighting has grown considerably. LEDs are used in public, residential, industrial lighting, car headlights and other. Thus, the creation of the LED luminaire with automatic brightness control aims to make better use of these LEDs, turning to a more rational, reducing the power consumption when the environment is already an external lighting.

**Keywords:** LED. Luminaire. Lighting. Control. Automation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Espectro formado pela incidência de luz branca no prisma .....	16
Figura 2 - Propagação da luz formada por ondas comparado com partículas .....	18
Figura 3 - Transformação de onda e partícula da luz .....	19
Figura 4 - Campo elétrico, magnético e radiação eletromagnética .....	20
Figura 5 - Exemplo de uma lâmpada incandescente .....	22
Figura 6 - Diversidade de lâmpadas incandescentes .....	23
Figura 7 - Lâmpada dicróica .....	24
Figura 8 - Lâmpada fluorescente tubular .....	25
Figura 9 - Modelos de lâmpadas fluorescentes compactas .....	26
Figura 10 - Lâmpadas de LED tubular, dicróica e tipo bulbo .....	27
Figura 11 - Polarização direta e inversa do diodo .....	29
Figura 12 - Estrutura de funcionamento do LED .....	31
Figura 13 - Simulação do acionamento de um LED em tensão de alternada .....	35
Figura 14 - Tensão do LED em função do tempo .....	36
Figura 15 - Ponte retificadora com quatro diodos .....	37
Figura 16 - Retificação de onda completa .....	38
Figura 17 - Ponte retificadora de onda completa com filtro capacitivo .....	38
Figura 18 - Quarenta e cinco LEDs ligados em tensão alternada .....	40
Figura 19 - Simulação de queda de tensão no resistor .....	41
Figura 20 - Queda de tensão em resistores de mesma resistência .....	40
Figura 21 - Queda de tensão em resistores de resistências diferentes .....	43
Figura 22 - Circuito comparador com sinal de saída nulo .....	44
Figura 23 - Circuito comparador com sinal de saída de 12V .....	45
Figura 24 - Circuito eletrônico de uma fonte chaveada 12V 1A .....	47
Figura 25 - Desenho do circuito integrado LM339 .....	47
Figura 26 - Imagem do LDR, seu símbolo e gráfico da resistência .....	48
Figura 27 - Circuito de controle da luminária .....	50
Figura 28 - Resistência ôhmica em função da iluminância do LDR .....	51
Figura 29 - Primeira comparação da luminária .....	52
Figura 30 - Segunda comparação da luminária .....	53
Figura 31 - Terceira comparação da luminária .....	53
Figura 32 - Quarta comparação da luminária .....	54
Figura 33 - Circuito total da luminária .....	55

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Cores de LED de acordo com o material semiconductor .....	32
--	----

## LISTA DE ABREVIATURAS

Al	Alumínio
As	Arsênio
FP	Fator de Potência
Ga	Gálio
Ge	Germânio
Hz	Hertz
In	Índio
LDR	Light Dependent Resistors
lm/W	Lúmen por Watt
lx	Lux
N	Nitrogênio
nm	Nanómetro
P	Fósforo
Si	Silício
V	Volts
Vrms	Volts Root Mean Square
W	Watts
W/kg	Watts por quilograma força
Zn	Zinco

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
1.1 PROBLEMA .....	12
1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO .....	14
1.2.1 Objetivos Gerais .....	14
1.2.2 Objetivo Específico .....	15
<b>2 A LUZ .....</b>	<b>16</b>
2.1 INTRODUÇÃO .....	16
2.2 TEORIA CORPUSLAR .....	16
2.3 TEORIA ONDULATÓRIA .....	17
2.4 TEORIA QUÂNTICA .....	18
2.5 CONCEITO ATUAL .....	19
<b>3 ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL .....</b>	<b>21</b>
3.1 LÂMPADAS INCANDESCENTES .....	21
3.1.1 Incandescente Comum .....	21
3.1.2 Lâmpadas Halógenas .....	23
3.2 LAMPADAS DE DESCARGA .....	24
3.2.1 Lâmpada Fluorescente Tubular .....	24
3.2.2 Lâmpada Fluorescente Compacta .....	25
3.3 LÂMPADAS DE LED .....	26
<b>4 DIODO EMISSOR DE LUZ .....</b>	<b>28</b>
4.1 MATERIAL SEMICONDUTOR .....	28
4.1.1 Diodo .....	28
4.1.2 Fundamentos Químicos .....	29
4.2 CARACTERÍSTICAS DO LED .....	30
4.2.1 Funcionamento do LED .....	33
4.2.2 Fator de Potência .....	33
<b>5 LUMINÁRIA DE LED E CONTROLE AUTOMATIZADO DE LUMINOSIDADE .....</b>	<b>34</b>
5.1 TENSÃO DE ALIMENTAÇÃO .....	34
5.1.1 Acionamento de Um LED .....	34

5.1.2 Tensão da Luminária .....	39
5.1.2.1 Diodo utilizado .....	40
5.2 SISTEMA DE CONTROLE .....	39
5.2.1 Comparação de Tensão .....	41
5.2.2 Forma de Controle .....	46
5.2.2.1 Fonte de tensão 12V .....	46
5.2.2.2 Comparador de tensão .....	47
5.2.2.3 Sensor de luminosidade .....	48
5.2.2.4 Resistores .....	49
5.2.2.5 Reles .....	49
5.2.3 Circuito de Controle .....	49
5.2.4 Parâmetros de Comparação .....	50
5.2.5 Referência de controle .....	51
5.2.6 Funcionamento do Sistema de Controle .....	52
5.3 CARACTERÍSTICAS DA LUMINÁRIA .....	55
5.4 CUSTO DO PROJETO .....	56
5.5 PONTOS A SEREM MELHORADOS .....	57
<b>6 CONCLUSÃO .....</b>	<b>59</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>60</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente não é impossível imaginar o ser humano, vivendo sem a energia radiante que ilumina o mundo, a luz. A iluminação obtida pela luz é um fator imprescindível em todo e qualquer ambiente, principalmente quando alguma atividade, podendo ser ela esportiva, acadêmica, fabril, ou até mesmo doméstica, são exercidas neste local. Contudo a percepção desta luz está diretamente ligada à visão humana.

O olho humano é sensível à luz com comprimentos de onda entre 400nm a 750nm. Verifica-se, também, que a sensibilidade não é uniforme nessa faixa, é bem pequena nos extremos e atingindo o ponto máximo em torno de 550nm. Ou seja, é neste ponto que ocorre a melhor sensibilidade, correspondendo a faixa verde-amarela (500nm a 600nm) (IIDA, 1992; KROEMER, 1994).

O sol proporciona a luz natural que é fundamental para toda nossa existência. Mas, como não é a todo o momento que se pode usufruir desta luz natural, as lâmpadas fazem o papel de iluminar artificialmente um local pretendido. O problema é que este tipo de iluminação nem sempre é usado de forma econômica e sustentável.

Uma alternativa que pode solucionar estas questões é o uso de diodos emissores de luz para tal função. Conhecido como LEDs, esses componentes são a grande promessa da iluminação no século XXI. Um verdadeiro salto adiante das lâmpadas fluorescentes, os LEDs são menores, mais econômicos e ecologicamente corretos.

### 1.1 PROBLEMA

De acordo com Costa (1998) na Engenharia de Iluminação fatores como a subjetividade em decoração bem como a influência na psicologia dos indivíduos deve ser estudada com o propósito de se obter a melhor combinação de luz para as diversas tarefas do dia a dia.

Contudo, observa-se que a iluminação em ambientes sejam eles; industrial, comercial e até mesmo residencial nem sempre são bem aproveitados. Pois na indústria focaliza-se a iluminação para melhorar a visão da área de trabalho, já o

comércio visa à estética do local, de forma a chamar a atenção dos clientes e nas residências procura-se uma iluminação simples, apenas para não deixar o ambiente escuro e torna-lo mais aconchegante. Mas o que é comum nos três setores é a preocupação com o consumo de energia elétrica gasto com iluminação.

Segundo Godoy (2000), para uma maior eficiência da iluminação é necessário ter conhecimento completo do ambiente a ser trabalhado.

Um bom projeto deve aproveitar as oportunidades da arquitetura e decoração para potencializá-las e valorizá-las visualmente, prevendo pontos, cargas, circuitos e controles dedicados a cada solução. Assim, com as informações definidas, inicia-se o desenvolvimento das soluções, elegendo os objetivos visuais, compondo os ambientes, criando efeitos. (GODOY, 2000, p. 4).

Atitudes muitas vezes simples, como pintar as paredes internas com tons claros e a escolha por pisos brancos, melhora a iluminação do ambiente.

A colocação de parte do telhado transparente e de janelas ou outras entradas de claridade contribuem para o aproveitamento da iluminação natural. Porém em alguns momentos do dia ou no período noturno esta fonte luminosa torna-se indisponível. E mesmo quando presente, alguns obstáculos como paredes e o teto do local impedem que o ambiente seja totalmente clareado por esta fonte luminosa, necessitando então de uma iluminação alternativa, no caso as lâmpadas.

Atualmente tem-se usado muito as lâmpadas de descarga, onde a fluorescente é a de maior destaque. Inventada nas primeiras décadas do século XX, esta lâmpada é a mais popular do mundo no seguimento. Dados indicam que só no Brasil, em 2009, foram vendidos mais de 150 milhões delas. Seu uso é crescente devido ao fato dessa tecnologia consumir menos energia elétrica comparado com o consumo das incandescentes. Porém, devido a algumas questões ambientais esta lâmpada já não é uma boa escolha para a sociedade.

Com a preocupação do homem por um planeta cada vez mais sustentável, as lâmpadas fluorescentes seria uma ótima opção de fonte luminosa devido a seu baixo consumo energético. Mas o maior problema que torna sua utilização preocupante é a presença de mercúrio em sua composição. Um metal altamente prejudicial ao Homem, pois ao entrar em contato com o ser humano pode causar câncer e outros danos à saúde como problemas no sangue, no sistema nervoso central e possivelmente até a morte. Devido ao perigo de contaminação, essas

lâmpadas não podem ser jogadas em lixo comum, tornando o seu descarte uma preocupação mundial.

Em virtude dos fatos apresentados observa-se a necessidade de um estudo para a criação de uma fonte luminosa que não seja prejudicial ao ser humano e ao meio ambiente como um todo. Um projeto sustentável, que possa atender as necessidades atuais da sociedade sem prejudicar as gerações futuras. Algo que tenha um baixo consumo de energia elétrica, de modo a ser competitivo com o que já exista no mercado. Um utensílio que use a energia de forma racional, aproveitando sempre que possível a luz natural do local sem perder a qualidade final pretendida. E que tenha interação automática com o ambiente, podendo aumentar ou diminuir a iluminação, conforme o requisitado, sem que haja manuseio humano.

Com base nestes fatos o projeto em questão tem como finalidade a elaboração de uma luminária, que tenha como fonte luminosa, vários diodos emissores de luz ligados em um circuito com um sensor de luminosidade que identificará a intensidade de luz natural do local e transmitirão essa informação a um controlador que acenderá ou apagará cada LED, de forma a manter a iluminação adequada para aquele recinto.

## 1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

Com a elaboração deste trabalho pretende-se desenvolver uma alternativa de iluminação artificial que seja eficiente, econômica e ecologicamente correta.

Com relação ao desenvolvimento deste trabalho, procurou-se aplicar os conhecimentos de eletrônica adquiridos ao longo do curso de Tecnologia de Automação Industrial. Com a finalidade do sistema de controle da luminária ser prático e de fácil manutenção, sem perder a qualidade final do produto.

### 1.2.1 Objetivos Gerais

Desenvolver um sistema de iluminação que tenha um baixo consumo de energia elétrica e que controle automaticamente sua intensidade luminosa, aproveitando a luz natural do ambiente.

### 1.2.2 Objetivo Específico

Desenvolver uma luminária de LED que tenha um controle automático de sua luminosidade. A luminária terá forma cilíndrica com sua estrutura revestida de material leve e maleável. Um grupo de 180 (cento e oitenta) LEDs de alto brilho estarão distribuídos de forma ordenada e serão ligados em um circuito eletrônico para fazer a iluminação do ambiente. A luminosidade deverá aumentar ou diminuir gradativamente com o acender ou apagar de cada LED. A identificação da intensidade luminosa do local será feita através de um sensor de luminosidade. Identificada a luminosidade, o circuito eletrônico controlará a quantidade de LEDs que deverão acender ou apagar momentaneamente. Deste modo todo o sistema de controle deverá ser automático, onde fica a critério do usuário apenas acender ou apagar a luminária.

## 2 A LUZ

### 2.1 INTRODUÇÃO

Apesar de a luz estar sempre presente na vida humana, e o homem, no decorrer de sua evolução, conseguir produzi-la, seja com fogo ou até mesmo com energia elétrica, definir o que é luz não foi algo fácil. Muitas foram às pesquisas e teorias sobre esse fenômeno. Mas, o fato é que para saber como essa luz é produzida é preciso ter ciência de seu princípio. Deste modo algumas teorias sobre a luz ajudaram a conceituar o que se sabe hoje desse fenômeno.

### 2.2 TEORIA CORPUSLAR

Um dos primeiros conceitos relevantes que se tem sobre a luz foi obtido no final do século XVII, a partir de uma experiência realizada pelo cientista, ou como se chamava na época, “filósofo natural”, Isaac Newton. Nessa época sabia-se que um feixe de luz solar ao atravessar um prisma de vidro era separado em um conjunto de cores semelhantes àquelas que eram observadas nos arco-íris. Esse conjunto de cores denominou-se *spectrum* (palavra latina com o plural *spectra*) e que em português passou a ser espectro. A Figura 1 ilustra o espectro formado pela passagem de luz no prisma.

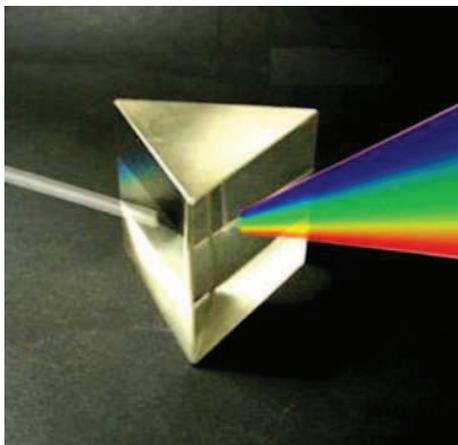


Figura 1 - Espectro formado pela incidência de luz branca no prisma

Quando todos acreditavam que ao receber a luz branca o prisma adicionava essas novas cores devido a sua interferência, Newton por sua vez mudou essa concepção. Ele acreditava que, na verdade, a luz branca era um mistura de todas as cores refletidas do prisma, desconsiderando a interferência do objeto.

Martins e Silva em seu artigo publicado pela Revista Brasileira de Ensino de Física, comentam a teoria elaborada por Isaac Newton.

A explicação apresentada por Newton em 1672 para esse fenômeno é a hipótese de que a luz branca é uma mistura de raios de todas as cores. O prisma simplesmente separa a luz branca em seus raios componentes sem produzir nenhuma mudança no feixe de luz branca. (MARTINS e SILVA, 1996, p. 313).

Para provar sua idéia Newton experimentou passar um feixe de luz solar em um prisma, obtendo o conhecido espectro colorido e em seguida passou esse espectro por um segundo prisma invertido em relação ao primeiro. Somente a luz branca emergiu do segundo prisma. Desta forma, Isaac Newton provou que a luz branca que emergia do segundo prisma era resultado da união de todas as outras cores. O cientista também sugeriu que a luz era composta de pequeníssimas partículas indetectáveis, ou seja, corpúsculos. Com isso ele apresentou ao mundo científico a chamada teoria corpuscular da luz.

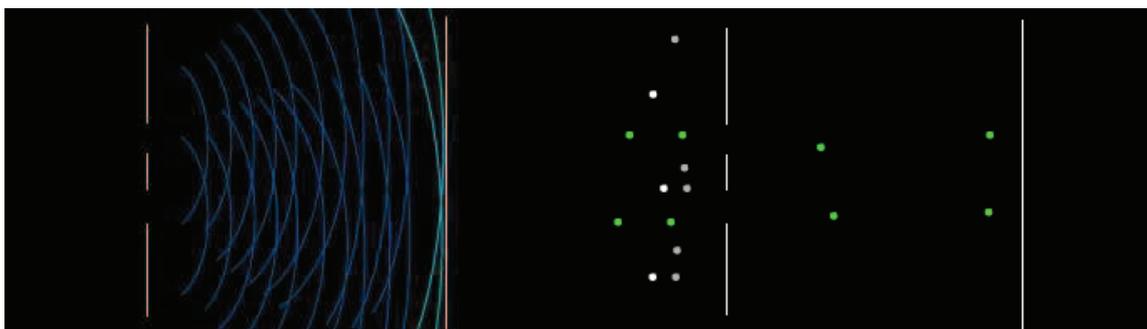
### 2.3 TEORIA ONDULATÓRIA

O astrônomo holandês Christian Huygens, em meados do século XVII, propôs uma teoria contrariando a de Newton sobre a natureza da luz. Para Huygens a luz se desloca no espaço sob a forma de ondas e não como partículas. Ele apresentou a chamada teoria ondulatória da luz.

A teoria ondulatória da luz de Huygens ficou evidenciada quando o físico inglês Thomas Young, por volta de 1801, convenceu a comunidade científica de que a luz era realmente uma onda com uma de suas experiências.

Segundo relata Silva (2007) em seu artigo, Thomas Young fez com que um feixe de luz solar incidisse em um orifício em um anteparo opaco. A luz emergente dispersava-se por difração incidindo-se em dois novos orifícios, ocorrendo uma difração.

Ao realizar seu experimento, Young notou que na superfície branca do anteparo era formada por uma distribuição regular de bandas claras e escuras que se alternavam regularmente. O que não aconteceria caso a luz fosse formada por partículas, pois apenas algumas imagens brilhantes vindo das duas fendas, formariam na superfície branca se prevalecesse a teoria corpuscular da luz. Deste modo o físico inglês provou que a luz tinha propriedades ondulatórias. A Figura 2 mostra a diferença da luz em sua forma de onda em outra em forma de partícula.



**Figura 2 – Propagação da luz formada por ondas comparado com partículas.**

## 2.4 TEORIA QUÂNTICA

Depois do desenvolvimento da teoria quântica que teve início no século XX observou-se que a luz possui em sua composição pequeníssimas cargas de energia chamadas de fótons. Contudo a teoria ondulatória não foi descartada. Pelo contrário, graças ao modelo ondulatório junto ao do fóton pode-se explicar propriedades físicas tais como o brilho, cor e a velocidade da luz. Devido a isso a física moderna diz ser a luz uma dualidade onda-partícula.

Recentemente, dois grupos de físicos conseguiram demonstrar experimentalmente que a luz é realmente uma dualidade onda/partícula. Alberto Peruzzo e colegas da universidade de Bristol, no Reino Unido fizeram experiências similares ao de Florian Kaise e equipe, do instituto francês CNRS. Os físicos conseguiram observar, pela primeira vez, a luz como ondas e partículas simultaneamente. O que dá fim ao mistério sobre a natureza fundamental da luz. (INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, 2012).

A Figura 3 mostra a transformação da luz em onda e depois partícula.

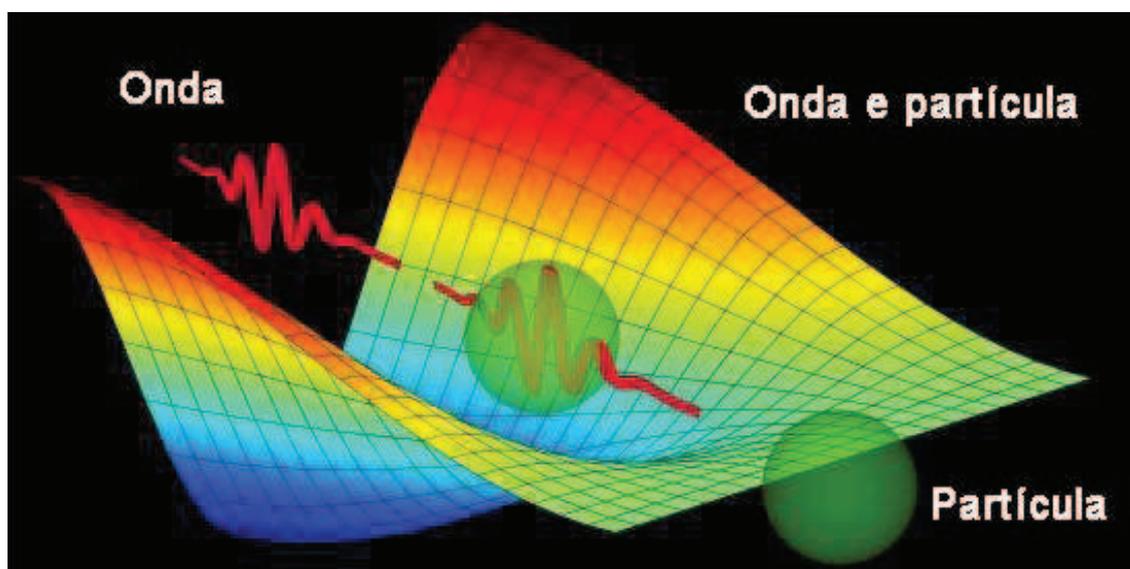
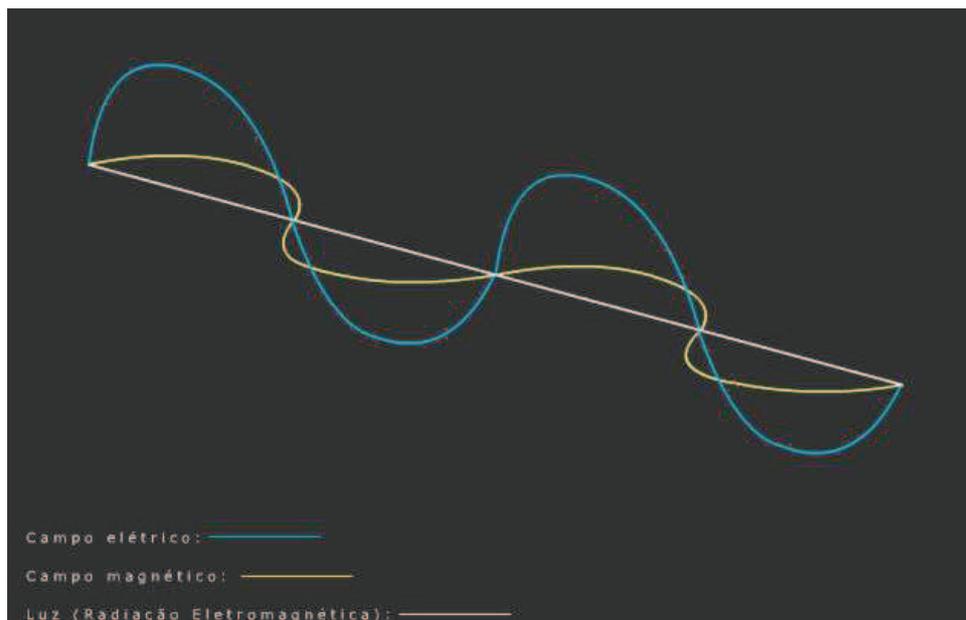


Figura 3 - Transformação de onda e partícula da luz

## 2.5 CONCEITO ATUAL

Em meados do século XIX James Clerk Maxwell, um físico e matemático escocês, após estudar a relação entre o campo magnético e o campo elétrico descobriu o fenômeno que hoje é conhecido como eletromagnetismo. O físico mostrou que todo o fenômeno elétrico e magnético podia ser descrito por um conjunto básico de apenas quatro equações. Com a combinação de suas equações Maxwell mostrou que o campo elétrico e magnético propagava-se através do espaço sob a forma de ondas. De modo que o conjunto formado pelas ondas de campo elétrico e magnético que se propagam acopladas no espaço passou a ser conhecido como onda eletromagnética. Outra observação feita por ele é que as ondas eletromagnéticas se deslocavam no espaço a uma velocidade de  $3 \times 10^8$  metros por segundo, sendo esse valor semelhante ao medido para a velocidade da luz. Sendo assim James Maxwell demonstrou que as mesmas equações que descreviam o eletromagnetismo traziam com elas o conceito de luz.

A Figura 4 apresenta os três campos sobrepostos, sendo um o campo magnético, o outro o elétrico e por fim a radiação eletromagnética.



**Figura 4 - Campo elétrico, magnético e radiação eletromagnética.**

Após vários anos de pesquisa sabe-se hoje que, segundo os conceitos da teoria ondulatória, a luz é uma forma de radiação criada por campos elétrico e magnético que oscilam perpendicularmente um ao outro à medida que se propagam pelo espaço. Ou seja, o fenômeno denominado luz é parte visível da radiação eletromagnética, que tem o poder de propagar-se em qualquer meio, inclusive no vácuo.

### 3 ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL

A luz do sol é a fonte de iluminação natural a qual todos os indivíduos se beneficiam, inclusive o ser humano. A claridade solar diferencia o dia da noite, tornando possível ao homem realizar suas atividades com o auxílio da visão. Porém em ambientes fechados, em dias com muitas nuvens ou até mesmo a noite essa fonte de luz ausenta-se. Deste modo há a necessidade do uso de uma fonte de iluminação artificial para iluminar residências, empresas, avenidas, enfim, todo o tipo de ambiente a qualquer período do dia. São estas situações que tornam indispensável o uso das lâmpadas.

Marteletto (2011) relata que atualmente as várias lâmpadas existentes no mercado se resumem em três tipos: incandescentes, de descargas e de estado sólidos.

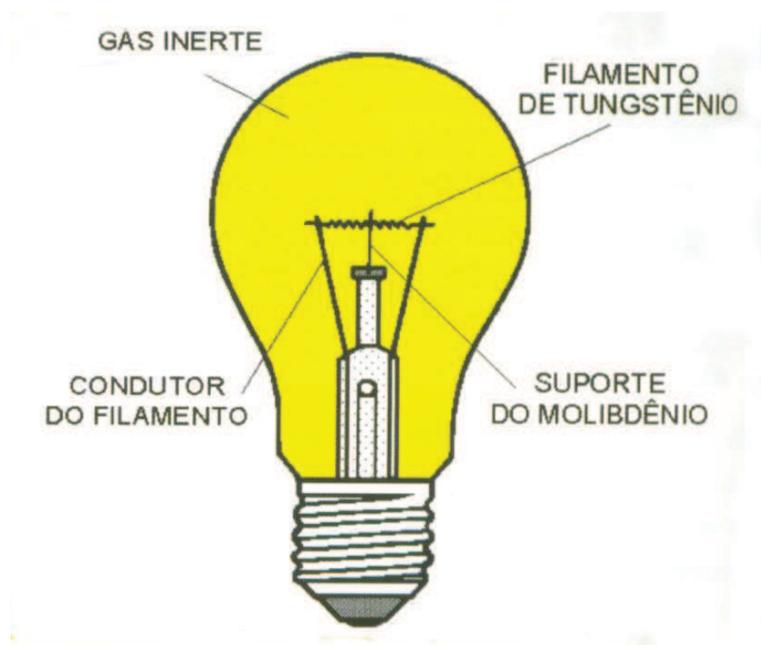
#### 3.1 LÂMPADAS INCANDESCENTES

Em 1879 quando Thomas Edson apresentou sua lâmpada incandescente houve uma contribuição universal para o desenvolvimento tecnológico da época. Com o passar do tempo a lâmpada incandescente evoluiu, a ponto de melhorar sua eficiência, aumentar o tempo de sua vida útil e reduzir o seu preço de forma que fosse acessível a toda população.

##### 3.1.1 Incandescente Comum

Por serem as lâmpadas incandescentes portáteis, flexíveis e de diversos ângulos de abertura de fecho luminoso, seu uso é muito comum em comércios, instituições de ensino, e principalmente residências. Nas lojas são muito usadas para destacar mercadorias e também para a iluminação do local. Em ambientes educacionais contribuem para que a iluminação seja agradável à leitura. E nas residências são utilizadas em todos os ambientes, sejam eles pequenos ou não. Contudo essas lâmpadas também são utilizadas em outros segmentos, como na indústria, por exemplo.

O funcionamento dessa lâmpada se dá pela passagem de corrente elétrica pelo filamento de tungstênio, gerando luz através de seu aquecimento. A presença de gás inerte ou o vácuo dentro do bulbo são responsáveis por evitar a oxidação do filamento de metal. A seguir a Figura 5 mostra da estrutura de uma lâmpada comum incandescente.



**Figura 5 - Exemplo de uma lâmpada incandescente**

A escolha do tungstênio para a fabricação do filamento da lâmpada incandescente é devido a sua alta resistência física e ao seu ponto de fusão. Pois quanto maior a temperatura do filamento maior a eficiência da lâmpada. O diâmetro a espiralagem do fio de tungstênio são determinados conforme as necessidades de potência e vida útil da lâmpada, sempre com o objetivo de produzir luz o mais econômico e eficiente possível.

Segundo Creder (2000), As lâmpadas incandescentes com potência maior a 40 W (Watts) são preenchidas com uma mistura dos gases argônio e nitrogênio. Tal escolha se dá ao fato desses gases serem inertes, de forma a não combinarem quimicamente com o tungstênio. Deste modo o filamento dura mais tempo e aumenta a eficiência da lâmpada. Já as lâmpadas com menos de 40 W geralmente são do tipo vácuo, impedindo assim que o filamento se combine com o oxigênio e sublime no mesmo instante.

O site da EMPALUX mostra a diversidade de lâmpadas incandescentes existentes no mercado, como pode ser observado na Figura 6.



**Figura 6 – Diversidade de lâmpadas incandescentes**

Além dos formatos variados essas lâmpadas podem se diferenciar pelo preenchimento do bulbo de vidro, que podem ser leitoso, colorido, claro, fosco ou receber uma camada refletora. Essa camada geralmente é de alumínio que direciona o feixe de luz. As coloridas são revestidas geralmente a base de sílica colorida ou com uma tintura externa específica. As de bulbo claro são para uma iluminação intensa, diferente das leitosas e das foscas que torna a iluminação suave e difusa, sem o aparecimento de sombras fortes e evitando o ofuscamento da mesma.

### 3.1.2 Lâmpadas Halógenas

São lâmpadas incandescentes compostas por um tubo de quartzo que no seu interior passa um filamento tungstênio envolvido com partículas de iodo, bromo e flúor junto ao gás inerte. Essas lâmpadas são pressurizadas e liberam uma grande quantidade de calor. Quando comparadas com as incandescentes comuns, tem dimensões reduzidas, ótima reprodução de cores, vida útil mais longa e uma alta eficiência luminosa.

Dentre os modelos de lâmpadas de quartzo-halógenas as dicróicas são a de maior destaque na atualidade. A Figura 7 mostra uma lâmpada dicróica.



**Figura 7 - Lâmpada dicróica.**

Essas lâmpadas destacam-se pelo seu pequeno porte, chegando a ter 50mm de diâmetro. Alguns modelos operam em 12V quando acopladas a um transformador, já outras operam ligadas diretamente a voltagem de 127V ou 220V.

As lâmpadas halógenas têm uma ótima reprodução de cores, emitindo luz branca e clara, o que ressalta o colorido dos objetos.

### 3.2 LÂMPADAS DE DESCARGA

São lâmpadas onde o fluxo luminoso é gerado pela passagem de corrente através de um gás, ou de uma mistura de gases ou vapores, sem a existência de filamento.

Marteleteo (2011) relata que as lâmpadas de descarga podem-se dividir em fluorescente, de luz mista, de vapor de mercúrio e de vapor de sódio de alta e baixa pressão, onde as fluorescentes são as de maior destaque no uso de interiores.

#### 3.2.1 Lâmpada Fluorescente Tubular

Essa lâmpada é de formato cilíndrico sendo seu bulbo de vidro e suas extremidades metálicas. Essas extremidades são na verdade eletrodos de tungstênio por onde circula a corrente elétrica. O interior da lâmpada é composto por

vapor de mercúrio ou argônio à baixa pressão. A parede interna é revestida com materiais fluorescentes a base de fósforo. Dessa forma a luz é gerada através da passagem da corrente de um eletrodo a outro. A Figura 8 mostra esta lâmpada denominada lâmpada fluorescente tubular.



**Figura 8 - Lâmpada fluorescente tubular**

A corrente de operação dessa lâmpada deve ser limitada e estabilizada, dessa forma é necessário o uso de um reator para o seu funcionamento.

O reator é um dispositivo formado por uma bobina com um núcleo de ferro ligado em série que tem a função de produzir sobre tensão e limitar a corrente. Atualmente utilizam-se reatores eletrônicos.

Além do reator utiliza-se também um starter. Um dispositivo composto por uma lâmina envolvida por dois metais com coeficientes de dilatação diferentes, para que haja uma partida com o emprego do princípio do bimetal. Junto a esse dispositivo tem-se um condensador ligado em paralelo com o interruptor da lâmpada. Esse condensador é utilizado para evitar a interferência por aparelhos de radio freqüência.

### 3.2.2 Lâmpada Fluorescente Compacta

Diferente das fluorescentes tubular, as compactas são menores e não necessitam da instalação do reator e do starter para que a mesma funcione, pois esses dois dispositivos já vêm acoplados no circuito interno da lâmpada.

Essas lâmpadas destacam-se pela qualidade e principalmente pela praticidade, sendo a maioria compostas por uma rosca em sua base, semelhante as

das lâmpadas incandescentes, o que facilita sua instalação sem a necessidade da instalação de outros acessórios para que ela funcione. A Figura 9 mostra a variedade dessas lâmpadas.



**Figura 9 – Modelos de lâmpadas fluorescentes compactas**

As lâmpadas fluorescentes podem economizar até 80% comparado com as lâmpadas incandescentes. Uma ótima opção de iluminação em questão de eficiência. Porém, levando em consideração a preocupação com o meio ambiente o descarte indevido dessas lâmpadas tornou-se um problema mundial. O motivo é a presença de mercúrio em sua composição. Um metal pesado e extremamente tóxico que ao contato humano podem causar câncer, problemas no sistema nervoso central, podendo levar até a morte.

### 3.3 LÂMPADAS DE LED

No mercado atual é possível encontrar vários modelos de lâmpadas de LED. Do tipo bulbo, semelhante ao formato das lâmpadas incandescentes comuns, lâmpadas LEDs dicróica, tubular LED no formato das tubulares fluorescentes T5 e T8, e no formato PAR.

A Figura 10 mostra três tipos de lâmpadas com a tecnologia LED.



**Figura 10 – Lâmpadas de LED tubular, dicróica e tipo bulbo.**

Essas lâmpadas são de ótima qualidade em relação à iluminação. Essa tecnologia consegue ter eficiência de aproximadamente 130 lm/W. Enquanto a eficiência luminosa da lâmpada incandescente é de aproximadamente 15 lm/W.

Para uma melhor noção da qualidade dessas lâmpadas, no próximo capítulo é apresentado algumas características funcionais do Diodo Emissor de Luz.

## 4 DIODO EMISSOR DE LUZ

Os semicondutores por muitos anos tiveram a função de acionamento e indicação de energia em equipamentos elétricos e eletrônicos. Tal função ainda é muito utilizada no ramo, entretanto com os avanços tecnológicos, novas aplicações surgiram para este componente eletrônico. Uma dessas aplicações é o uso dos semicondutores como fonte luminosa artificial ao invés de lâmpadas. O tamanho reduzido e sua eficiência energética despertaram em algumas empresas o interesse em pesquisas que pudessem tornar possível hoje o uso dessa tecnologia como iluminação decorativa, residencial, pública, entre outras.

### 4.1 MATERIAL SEMICONDUTOR

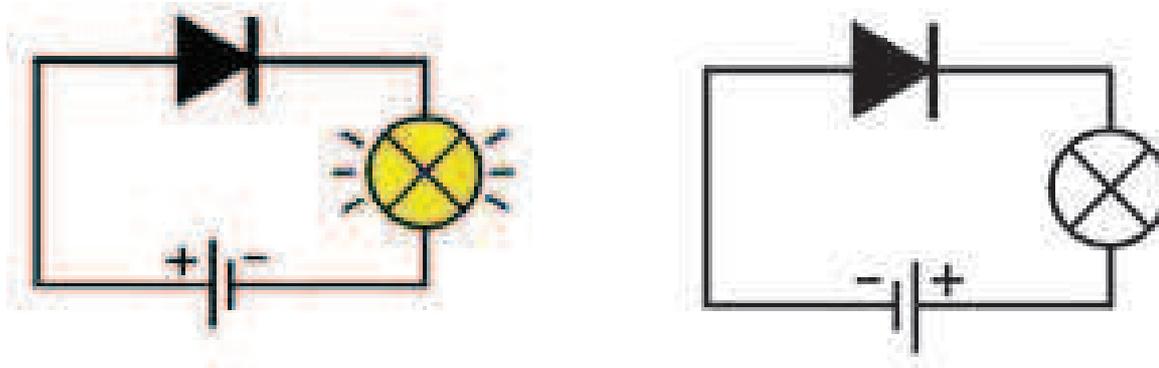
Os semicondutores são aqueles que possuem uma resistência situada entre a dos materiais condutores e isolantes. Em eletrônica os principais materiais semicondutores utilizados são o Germânio (Ge) e o Silício (Si), sendo este último o mais usado.

Esses materiais possuem uma resistência elétrica maior que os condutores e menor que os isolantes, ou seja, não são nem condutores nem isolantes, portanto a definição semicondutor onde o prefixo semi indica limite ou quase alguma coisa e o termo condutor é aplicado a qualquer material que ao ter aplicado em seus terminais uma fonte de tensão limitada, esse passa a sustentar um fluxo de carga. Para este trabalho é importante ressaltar o uso de três semicondutores; o diodo, o diodo zenner e o diodo emissor de luz.

#### 4.1.1 Diodo

O diodo convencional é um componente eletrônico formado por duas partes de materiais semicondutores, uma do tipo P, onde P representa o positivo e outra do tipo N, onde N representa o negativo, que permitem a passagem da corrente elétrica por apenas um sentido.

Quando polarizado diretamente o diodo conduz corrente elétrica, mas quando polarizado inversamente não. Assim como ilustra a Figura 11.



**Figura 11 – Polarização direta e inversa do diodo**

Na polarização direta a parte positiva do componente denominada Anodo é ligada no positivo da fonte de tensão, e a parte negativa chamada de Catodo é ligada no negativo da fonte. Já na polarização inversa liga-se o componente ao contrário, Catodo no positivo e Anodo no negativo da fonte.

Mesmo polarizado diretamente, os diodos possuem uma barreira que estima ser de 0,7V, ou seja, para que a corrente passe pelo diodo, a tensão da fonte deve ser maior que 0,7V. Desta forma, dimensionar um diodo em um circuito é preciso que seja considerada esta queda de tensão do componente.

#### 4.1.2 Fundamentos Químicos

Por ser a luz um espectro eletromagnético o seu efeito é oscilatório e a velocidade de sua propagação é constante. A frequência (ou comprimento de onda) é o que difere as ondas entre si.

A luz denominada visível é aquela que sua onda é perceptível ao olho humano. Os valores que compreende essas ondas são entre 380 e 760nm. Portanto esses são os valores relevantes para o estudo de iluminação.

Os fótons são partículas elementares mediadoras da força eletromagnética, sendo assim unidades básicas da luz. No LED eles são liberados como resultado do movimento dos elétrons.

Os elétrons em um átomo se movimentam em órbitas ao redor do núcleo. Cada órbita tem sua quantidade de energia. Em virtude disso os elétrons com mais

energia, de maneira geral, se movimenta em órbitas mais distantes dos núcleos, e os com menos energia, opostamente, se movimentam mais próximo.

O deslocamento de um elétron de uma órbita mais baixa para uma mais alta acontece quando há um aumento de energia desse elétron. De modo inverso um elétron desloca-se de uma órbita mais alta para uma mais baixa ao liberar energia. Essa liberação de energia forma um fóton. Quando há uma grande queda de energia um fóton de alta energia é liberado, caracterizado por uma alta frequência.

Portanto o material semicondutor utilizado na fabricação dos LEDs influenciará diretamente na sua produção de luz. Os componentes eletrônicos como o diodo e o transistor que utilizam em sua composição o Germânio e o Silício têm a emissão dos fótons quase insignificantes. Porém na junção de outros materiais semicondutores a quantidade de fótons é suficiente para construir fontes luminosas eficientes, assim como é utilizada nos diodos emissores de luz.

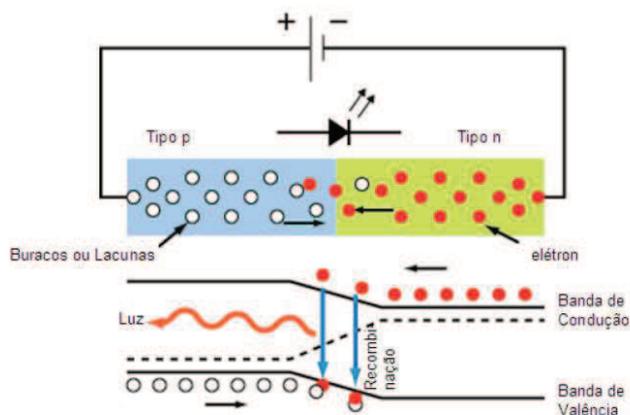
## 4.2 CARACTERÍSTICAS DO LED

O LED é um componente eletrônico semicondutor que quando submetido a uma tensão elétrica emite uma radiação sob forma de luz visível.

O primeiro LED foi apresentado ao mundo em outubro de 1962, desenvolvido pelo jovem doutor Nick Holonyak Jr, engenheiro da General Electric, e era da cor vermelha. Hoje, após várias evoluções, já se tem LEDs de mais variadas cores e tamanhos, inclusive na cor branca muito utilizada em iluminação de ambientes.

Os LEDs, dentre outras aplicações, tem o seu uso para a iluminação artificial. Sua estrutura é formada por camadas diferentes de semicondutores em estado sólido, ou seja, que convertem energia elétrica diretamente em luz monocromática, com pouca perda de energia e uma dissipação de calor desprezível, diferente de uma lâmpada incandescente, que emana um espectro visível de luz.

A Figura 12 mostra a estrutura de funcionamento do LED.



**Figura 12 – Estrutura de funcionamento do LED**

Assim como ilustra a, quando uma tensão aplicada entre o anodo e o catodo do semicondutor for de valor adequado aos elétrons do material do tipo n e as lacunas do material do tipo p, ambos se deslocam em direção do à junção p-n. Nessa nova combinação a energia do elétron livre não ligado é transferida para outro estado inferior. A energia dessa transformação é emitida na forma de fótons. A quantidade de fótons de energia luminosa em materiais como arsenieto de gálio (GaAs) ou fosfeto de gálio (GaP) é suficiente para gerar uma fonte considerável de luz visível. Esse processo, onde a emissão de luz é obtida através da aplicação de uma fonte de energia elétrica é denominada eletroluminescência.

A banda de energia entre os dois níveis do material semicondutor é responsável pelo comprimento de onda da radiação emitida. O nível de energia de cada material depende de sua estrutura atômica. Sendo assim quanto maior a distância do elétron em relação ao núcleo maior é a freqüência e o nível de sua energia.

Desta forma os níveis de energia emitida pelos LEDs podem ser desde ultravioletas até infravermelha. Os elementos químicos que podem ser utilizado na dopagem do cristal são: o gálio (Ga), Alumínio (Al), arsênio (As), zinco (Zn), fósforo(P), índio (In) e nitrogênio (N).

A luz branca gerada em LEDs é feita através da mistura de cores, geralmente do azul com o amarelo claro. O chip do LED gera a cor azul e a luz amarela é feita por meio de um conversor fosfórico que absorve parte da luz azul e converte-a em luz amarela. O conversor fosfórico é aplicado diretamente no chip do

diodo emissor de luz melhorando assim a qualidade da luz branca e garantido que a luz azul seja igualmente convertida através da fina camada de fósforo.

Antes do uso do fósforo nos LEDs a cor branca era obtida pela superposição de cores, ou seja, misturavam-se as cores vermelho e verde junto ao chip LED azul para obter o devido resultado. Essa mistura é menos eficiente e menos precisa que a conversão por fósforo.

A diversidade de cores nos LEDs é obtido através do uso de materiais diferentes em sua composição assim como mostra a Tabela 1.

**Tabela 1 – Cores de LED de acordo com o material semicondutor**

<b>TIPO DE RADIAÇÃO</b>	<b>TENSÃO</b>	<b>MATERIAL SEMICONDUTOR</b>
Ultravioleta ( $\lambda < 400$ )	3,1 < $\Delta V$ < 4,4	Diamante (235nm)
		Nitreto de boro (215nm)
		Nitreto de alumínio (210nm)
		Nitreto de alumínio, gálio e índio (210nm)
Violeta (400 < $\lambda$ < 450)	2,76 < $\Delta V$ < 4,0	Nitreto de gálio e índio
Azul (450 < $\lambda$ < 500)	2,48 < $\Delta V$ < 3,7	Seleneto de zinco
		Nitreto de gálio e índio
Verde (500 < $\lambda$ < 570)	1,9 < $\Delta V$ < 4,0	Fosforeto de gálio (III)
		Fosforeto de alumínio, gálio e índio
		Fosforeto de alumínio e gálio
		Nitreto de gálio e índio / Nitreto de gálio (III)
Amarelo (570 < $\lambda$ < 590)	2,10 < $\Delta V$ < 2,18	Fosforeto de alumínio, gálio e índio
		Fosforeto de gálio (III)
Laranja (590 < $\lambda$ < 610)	2,03 < $\Delta V$ < 2,10	Fosforeto de gálio (III)
		Arseneto de alumínio e gálio
Vermelho (610 < $\lambda$ < 760)	1,63 < $\Delta V$ < 2,03	Fosforeto de alumínio, gálio e índio
		Fosforeto de gálio (III)
Infravermelho ( $\lambda > 760$ )	1,9 < $\Delta V$	Arseneto de gálio
		Arseneto de alumínio e gálio

#### 4.2.1 Funcionamento do LED

O bom funcionamento de um diodo emissor de luz está diretamente relacionado com a tensão que é aplicada em seus terminais. Esses componentes trabalham em baixa alimentação, entre 1,9V a 4V para LED de alto brilho e 5V a 12V para LED de alta potência.

#### 4.2.2 Fator de Potência

No Brasil o fator de potência (FP) mínimo permitido para unidades consumidoras é de 0,92. Quando esse FP é menor as concessionárias de energia cobram uma tributação adicional das empresas. Mas para unidades consideradas de baixo consumo, como é o caso das residências essa exigência não se aplica.

O fator de potência das lâmpadas de LED depende da fonte usada para o fornecimento de tensão. Os valores podem ser de 0,5 a ,99. Na grande maioria esse FP é de 0,75. Diferente das lâmpadas incandescente que por serem puramente resistiva esse fator é 1. Já as fluorescentes são menores, chegando a 0,55.

## 5 LUMINÁRIA DE LED COM CONTROLE AUTOMATIZADO DE LUMINOSIDADE

A luminária é um equipamento utilizado para distribuir a iluminação, sendo que a de LED utiliza diodos emissores de luz para iluminar o ambiente.

A luminária de LED com controle automatizado de luminosidade distribui a iluminação a partir do acender e apagar de quatro grupos de quarenta e cinco diodos emissores de luz de alto brilho, totalizando cento e oitenta LEDs que são controlados por um comparador de tensão. Esse comparador compara a variação de tensão que é gerada pelo sensor de luminosidade, fazendo com que a luminária atue os grupos de LED' segundo a necessidade de luz do ambiente.

A parte funcional da luminária divide-se basicamente em duas etapas; o modo de acionamento dos LEDs e a forma de controle da iluminação.

### 5.1 TENSÃO DE ALIMENTAÇÃO

A energia elétrica transmitida pelas concessionárias de energia no Brasil são de  $127V_{rms}$  (valor eficaz) ou  $220V_{rms}$  a 60Hz, tensão senoidal monofásica. Devido a esse motivo a luminária foi projetada para operar em 127V. Deste modo os LEDs foram conectados de forma que essa tensão não os danifique, e trabalhem corretamente.

#### 5.1.1 Acionamento de um LED

Os Diodos Emissores de Luz de alto brilho geralmente consomem uma tensão entre 1,9V a 4V, operando a uma corrente entre 20mA a 30mA. Após vários testes foi possível observar que para um bom desempenho em iluminação, o LED utilizado no projeto dessa luminária deveria operar com uma corrente de 25mA, a uma tensão de 3,14V quando ligados em corrente contínua.

Fazendo uso da fórmula de Georg Simon Ohm, que teve uma das mais importantes leis relativa a circuitos elétricos: a Lei de Ohm, que, resumidamente, pode ser entendida como a corrente é igual à diferença de potencial dividida pela resistência. (BOYLESTAD, 2004)

Para que um LED seja aceso utilizando uma tensão de 127V é necessário que uma resistência seja ligada em série no circuito. Essa resistência é obtida através de um componente eletrônico denominado resistor que deve consumir 123,86V para que reste apenas 3,14V dos 127V, para acender o LED ( $127 - 123,86 = 3,14$ ), sem que ele não queime instantaneamente caso fosse ligado diretamente em 127V. Para determinar a resistência ôhmica desse resistor utiliza-se a fórmula derivada da Lei de Ohm segundo Equação 1:

$$R = \frac{(V_a - V_{LED})}{I} \quad (1)$$

Sendo R a resistência a ser determinada,  $V_a$  a tensão de alimentação (127V), o  $V_{LED}$  a queda de tensão do LED (3,14V) e I a corrente de funcionamento do circuito (0,025A).

Determina-se R como:

$$R = \frac{(127 - 3,14)}{0,025} = 4954,4\Omega$$

Sendo assim o resistor escolhido será de 4954,4 $\Omega$ . A Figura 13 mostra o esquema de ligação desse circuito.

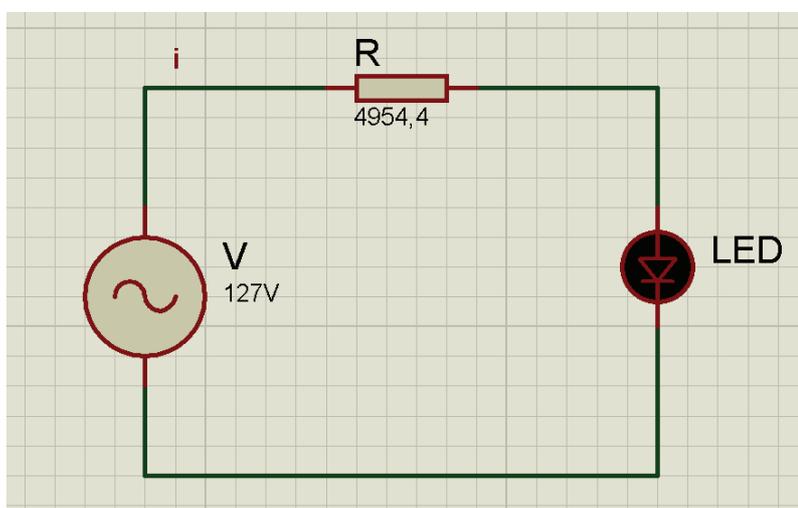


Figura 13 – Simulação do acionamento de um LED em tensão de corrente alternada

Apesar de este esquema de ligação estar correto duas questões inviabiliza o uso desse circuito no projeto. O fato de o LED ser ligado em tensão de corrente alternada e a perda de potência consumida pelo resistor.

Por ser o LED um diodo emissor de luz, suas características de funcionamento são semelhantes à de um diodo convencional, ou seja, ao ligar um LED em uma tensão de corrente alternada, a qual é fornecida pelas concessionárias de energia elétrica às residências, o componente somente emitira luz quando a corrente, estivesse no seu semi-ciclo positivo em relação aos terminais do diodo transformando assim o circuito em um retificador de meia onda. Devido à corrente alternar de semi-ciclo positivo a semi-ciclo negativo cento e vinte vezes por segundo em sessenta ciclos (60Hz), este LED piscaria 60 vezes por segundo, ao invés de ficar permanentemente aceso. A Figura 14 mostra o momento em que o LED se acenderia.

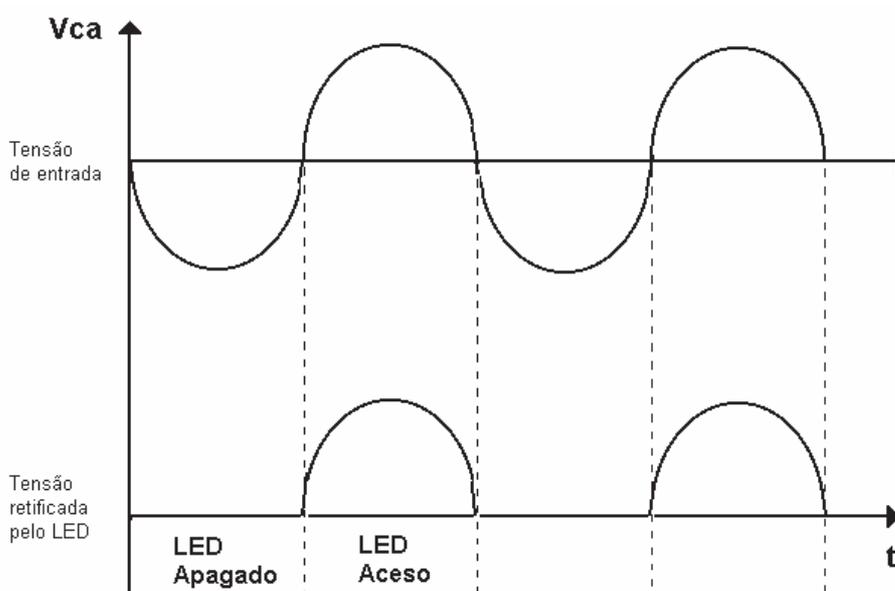


Figura 14 – Tensão do LED em função do tempo

Para um bom funcionamento desse LED será necessário o uso de corrente contínua para acendê-lo. Desta forma a corrente estaria sempre num mesmo sentido ao invés de se alternar no tempo, como é o caso da corrente alternada. Pois o fato LED piscar sessenta vezes por segundo pode causar irritabilidade ao olho humano.

Quanto ao outro problema de ligar apenas um LED na tensão de 127V, seria que o fato do resistor ligado em série ter uma queda de tensão de 123,86V, ou seja, 97,52% da energia total do circuito seriam consumida pelo resistor, dissipando-

se em calor, enquanto apenas 2,47% seria convertida em luz visível acendendo o LED. Neste caso para melhor aproveitar essa energia consumida pelo resistor seria interessante o uso de mais diodos emissores de luz no circuito. Deste modo mais dessa energia seria transformada em luz, e não em calor quando consumido por resistores.

Transformação de Tensão de Corrente Alternada em Tensão de Corrente Contínua.

Uma das maneiras utilizadas de se transformar corrente alternada em corrente contínua é fazendo uma ponte retificadora com diodos. Segundo Albert Paul Malvino (2002) “um diodo retificador é idealmente uma chave fechada quando diretamente polarizado e uma chave aberta quando inversamente polarizado” (PAUL MALVINO, 2002, p. 97). Devido a este fato utiliza-se muito este componente para transformações de correntes alternadas em correntes contínuas. A Figura 15 mostra como é feita este tipo de ligação.

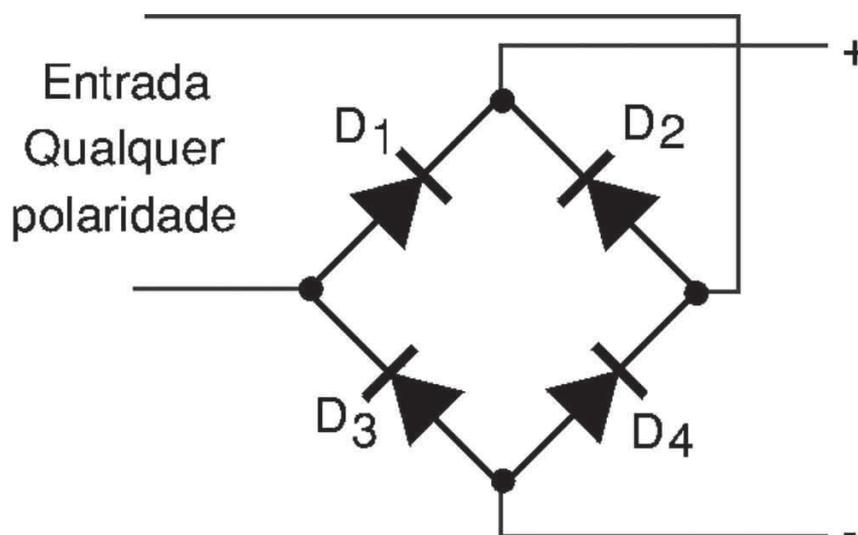


Figura 15 – Ponte retificadora com quatro diodos

Nesta transformação os diodos D2 e D3 conduzem quando o semiciclo for positivo na tensão de linha, produzindo um semiciclo positivo na carga a ser ligada. Já quando o semiciclo for negativo na tensão de linha, os diodos D1 e D4 que conduzirão, produzindo assim outro semiciclo positivo na carga.

Assim a Figura 16 mostra como ficará o sinal de onda completa na carga.

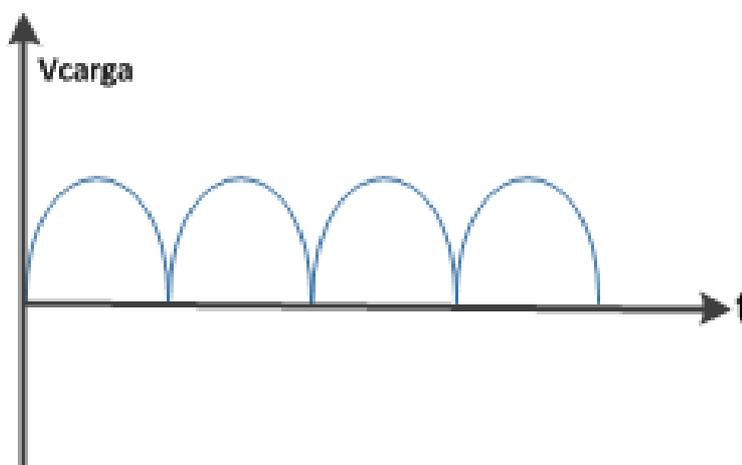


Figura 16 – Retificação de onda completa

Apesar de já ser uma corrente considerada contínua, esta ainda pode ser filtrada com um capacitor ligado em paralelo a ponte. Desta forma a corrente deixa de ser pulsante e torna-se mais constante, parecido com a de uma bateria. A Figura 17 mostra como ficará esta ligação bem como o gráfico do sinal.

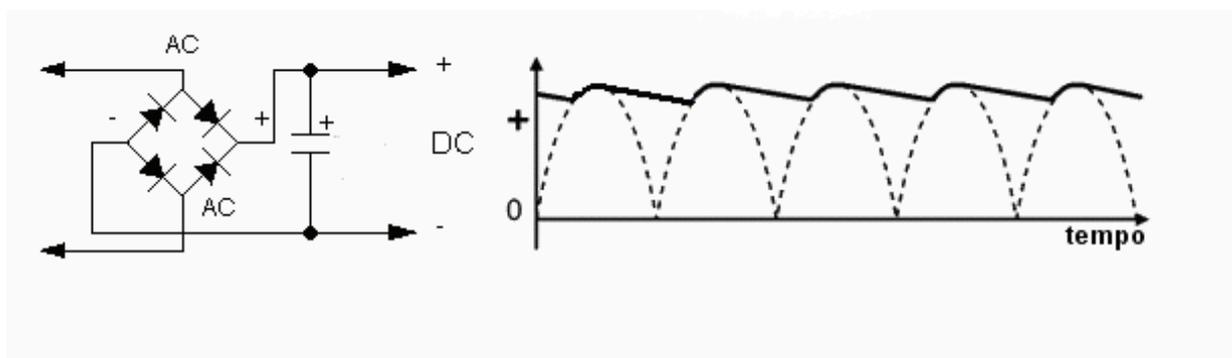


Figura 17 – Ponte retificadora de onda completa com filtro capacitivo

Os capacitores são componentes eletrônicos capazes de armazenar energia potencial elétrica por um intervalo de tempo. Quando energizados eles funcionam como uma chave aberta, ou seja, não conduzem corrente. Assim que param de serem alimentados os capacitores descarregam sua energia na carga a qual está ligada, tornando-se assim uma fonte de energia instantânea. Deste modo na ponte retificadora de onda completa ao momento que a tensão de pico começa a descer o capacitor entra em ação descarregando energia de forma a tentar compensar esse pequeno instante de falta de energia, assim o denominado filtro.

Apesar de melhorar o sinal de energia, um problema implica nesse tipo de ligação para o projeto em questão. Como os grupos de LED's serão acesos gradualmente, conforme há o aumento da carga ligada a essa fonte de energia contínua, a tensão de saída diminui. Ou seja, ligando um capacitor eletrolítico de 200V e 4,7mF em um ponte retificadora de onda completa com entrada de  $127V_{ca}$ , essa tensão de saída seria em torno de  $170V_{cc}$ . Ao ligar quarenta LED's em série com um resistor de 5,024k, considerando uma queda de tensão de 3,14 de cada diodo emissor de luz a uma corrente de 25mA, essa tensão teria uma queda, resultando em uma saída de  $153V_{cc}$ . Ligando mais quarenta LED's em paralelo essa tensão tornar-se-ia mais baixa. Deste modo a corrente também seria menor impactando na luminosidade dos LED's que por sua vez também seria menor.

Para o funcionamento ideal, sem quedas de tensão e corrente seria necessário o uso de uma fonte de tensão estabilizada. Desta forma ao ligar os cento e oitenta LED's gradualmente a tensão de saída continuaria a mesma. Porém essas fontes não têm um baixo custo o que implicaria no projeto.

A solução encontrada para que o custo do projeto seja reduzido, mas continue sendo eficiente, é utilizar a transformação de tensão de corrente alternada em corrente contínua pelo apenas de uma ponte retificadora de onda completa constituída por quatro diodos. Desta forma a tensão de entrada de 127V, após ser retificada pelos diodos ligados em ponte passaria a ser de aproximadamente  $113V_{cc}$ .

O fato de a corrente ser pulsante não implicaria na condição de irritabilidade ao olho humano, uma vez que esse diodo emissor de luz piscaria cento e vinte vezes por segundo, sendo imperceptível aos nossos olhos.

### 5.1.2 Tensão da Luminária

Ao retificar a tensão de entrada de  $127V_{ac}$  pela ponte retificadora de onda completa constituída por quatro diodos obterem uma tensão de aproximadamente  $113V_{cc}$ . Com essa tensão é possível alimentar quarenta e cinco LEDs de alto brilho ligados em série a uma resistência de  $12\Omega$ . Desta forma a queda de tensão de cada diodo emissor de luz é cerca de 2,64V operando em uma corrente de 2 mA.

Esta queda de tensão de 2,64V de cada LED do circuito é possível ver na Figura 18.

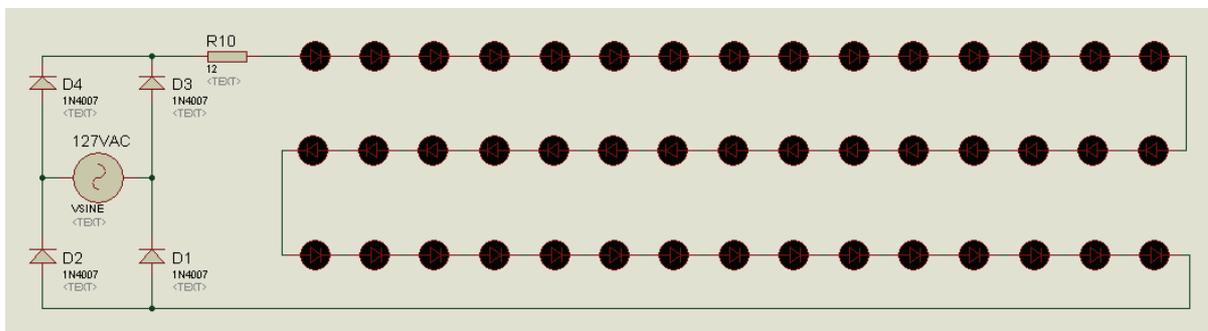


Figura 18 – Quarenta e cinco LEDs ligados em tensão alternada.

Para alimentar os cento e oitenta LED's, da luminária de LED com controle automatizado de luminosidade utilizou-se uma ponte retificadora de onda completa, que transformará a tensão alternada de 127V em tensão de corrente contínua de 113V. Para essa transformação foi utilizado apenas quatro diodos ligados em ponte.

#### 5.1.2.1 Diodo utilizado

Os quatro diodos usados na tensão de alimentação da luminária são do modelo 1N4007, da marca MOTOROLA, com 2mm de diâmetro e 5mm de comprimento. Sua tensão máxima de bloqueio é de 700V.

## 5.2 SISTEMA DE CONTROLE

Para fazer o controle do acionamento dos LEDs, usou-se um circuito integrado comparador de tensão LM339. Esse componente possui quatro comparadores internos que individualmente permitem comparar duas tensões fazendo com que a tensão de saída seja igual a de entrada, de acordo com a comparação de cada circuito.

Para entender melhor o esquema de comparação é necessário observar como é o comportamento de um circuito com duas resistências ligadas em série onde cada uma possui uma queda de tensão que pode ser calculada através da fórmula derivada da Lei de Ohm.

### 5.2.1 Comparação de Tensão

Ao ligar uma carga resistiva em uma tensão obtêm uma corrente. Segundo a Lei de Ohm essa corrente é igual à tensão dividida pela resistência. Ligando um resistor de  $4\Omega$  em uma tensão de  $12V$ , uma corrente de  $3A$  é gerada, segundo a Equação 2:

$$I = \frac{V}{R} \quad (2)$$

A qual fornece:

$$I = \frac{12}{4} = 3A$$

Logo, como há apenas uma carga ligada, toda a tensão do circuito está sobre ela, ou seja, a carga está com uma queda de tensão de  $12V$ , assim como ilustra a Figura 19.

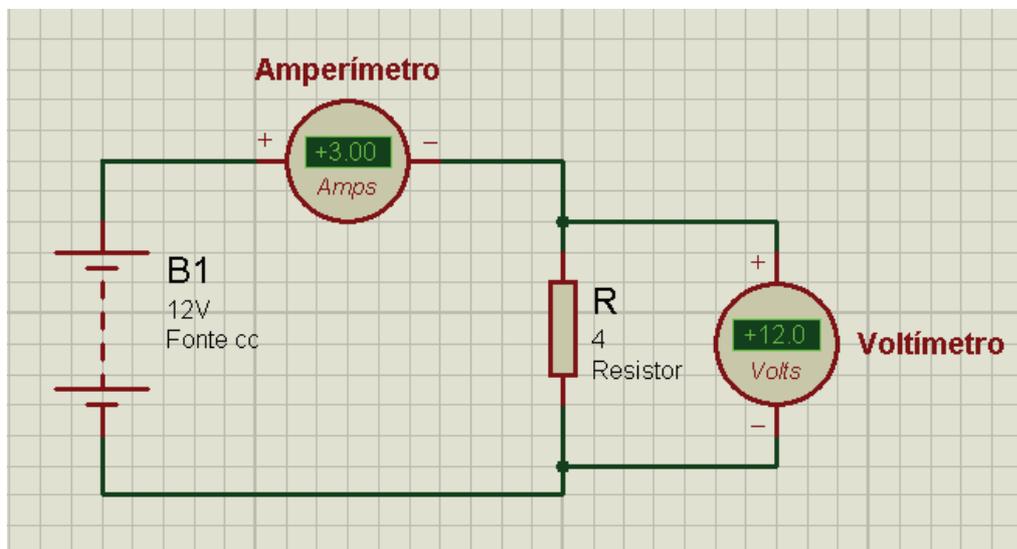


Figura 19 – Simulação de queda de tensão no resistor

Ao ligar duas cargas, denominadas  $R_1$  e  $R_2$  em série num circuito com uma fonte de alimentação, cada carga terá uma queda de tensão. Para obter a queda de tensão de  $R_1$  basta multiplicar o valor da corrente total do circuito pela resistência dessa carga. O mesmo cálculo poder ser usado para saber o valor da carga  $R_2$ . O

valor da corrente total é obtido pela divisão da tensão do circuito pelo valor da somatória das resistências das duas cargas, fornecida pela Equação 3.

$$I_t = \frac{V_t}{(R_1 + R_2)} \quad (3)$$

Deste modo se a tensão total for de 12V, e  $R_1$  valer  $4\Omega$  e  $R_2$  também  $4\Omega$  a corrente total será de 1,5A. Sendo assim para calcular a queda de tensão de  $R_1$  basta multiplicar o valor da corrente total que é de 1,5A pelo valor da resistência que é de  $4\Omega$ , deste modo, a queda de tensão de  $R_1$  será de 6V, como mostra a Equação 4:

$$V_{R1} = I_t \times R \quad (4)$$

Obtendo assim:

$$V_{R1} = 1,5 \times 4 = 6V$$

Para achar  $R_2$  basta fazer o mesmo cálculo substituindo o  $R_1$  por  $R_2$ , deste modo o resultado também será 6V. O que pode se concluir que duas cargas com mesma resistência ôhmica têm a mesma queda de tensão, como se pode ver na Figura 20.

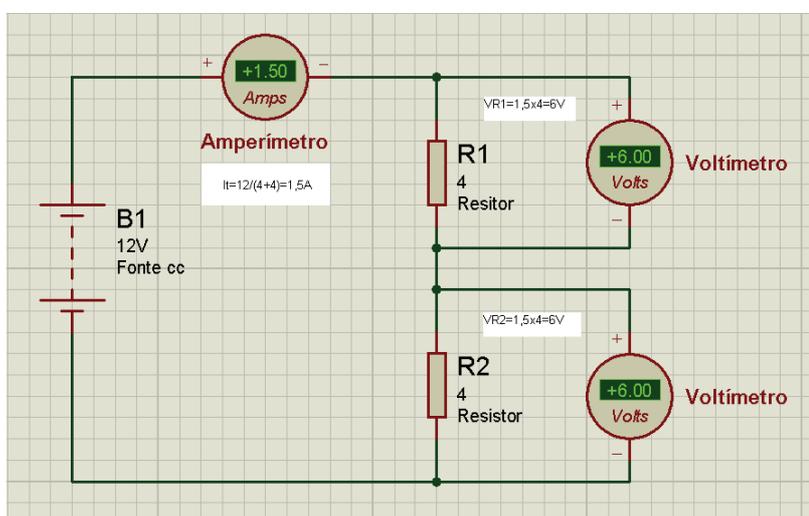


Figura 20 – Queda de tensão em resistores de mesma resistência

Isso é possível, pois em circuitos com resistências ligadas em série a corrente que passa por cada uma é a mesma, mudando somente a queda de tensão sobre cada carga. Quando as cargas são iguais, as quedas de tensão sobre cada resistência dividem-se igualmente. Porém, quando as cargas têm resistências diferentes os valores de queda de tensão também são diferentes. Se dois resistores,  $R_1$  e  $R_2$  são ligados a uma tensão de 12V, sendo que  $R_1$  tenha uma resistência de  $4\Omega$  e  $R_2$  de  $8\Omega$ , a corrente total do circuito não será mais de 1,5A, mais sim de 1A de acordo com a Equação 5:

$$I_t = \frac{V_t}{(R_1 + R_2)} \quad (5)$$

Assim:

$$I_t = \frac{12}{(4 + 8)} = 1A.$$

Logo a queda de tensão de  $R_1$  será de 4V e a de  $R_2$  será de 8V.

$$V_{R_1} = 1 \times 4 = 4V$$

e

$$V_{R_2} = 1 \times 8 = 8V$$

A Figura 21 mostra a simulação das quedas de tensões em  $R_1$  e  $R_2$ .

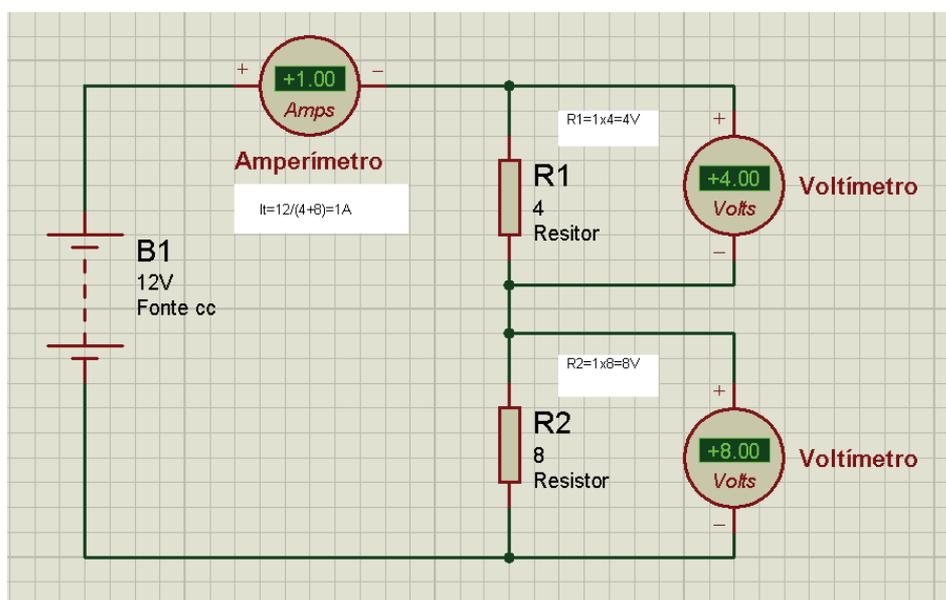


Figura 21 – Queda de tensão em resistores de resistência diferentes

Desta forma, a medida que aumenta-se a resistência de uma carga, sua queda de tensão também aumenta. Em contrapartida a queda de tensão da outra carga ligada em série diminui. Sendo assim, ligando um componente que varie sua resistência, em série com um resistor em um circuito alimentado por uma tensão, a queda de tensão sobre este componente também será variável proporcionalmente a sua variação. Esta variável poder ser entendida por uma manipulação matemática da Lei de Ohm, como mostra a Equação 6:

$$I = \frac{V}{R_1 + R_v} \rightarrow V_{R1} = R_1 \cdot I \rightarrow V_{R_v} = \frac{R_v}{R_v + R_1} \cdot V \quad (6)$$

Assim a medida que a resistência variável  $R_v$  aumenta, aumenta-se também a sua queda de tensão.

Vale ressaltar que, por mais que aumente essa queda de tensão, o valor jamais será equivalente ao da tensão total do circuito devido a queda de tensão da outra resistência ( $R_1$ ).

Como os componentes ligados em paralelos têm a mesma tensão do circuito, ao ligar em uma tensão duas resistências iguais em série ( $R_3$  e  $R_4$ ), paralelo com mais duas resistências sendo uma com valor fixo  $R_1$  e outra com valor variável,  $R_v$ , a queda de tensão em  $R_3$  será a metade da tensão total do circuito, igualmente a queda de tensão de  $R_4$ . Entretanto, a queda de tensão em  $R_1$  poderá ser maior, menor ou igual a  $R_v$  de acordo com a variação do próprio  $R_v$ . Deste modo, usando os valores  $V=12V$ ,  $R_1=4\Omega$ ,  $R_2=4\Omega$ ,  $R_3=4\Omega$ ,  $R_v=8\Omega$ , ao comparar a queda de tensão de  $R_1$  com  $R_4$ , a saída será nula, assim como mostra a Figura 22.

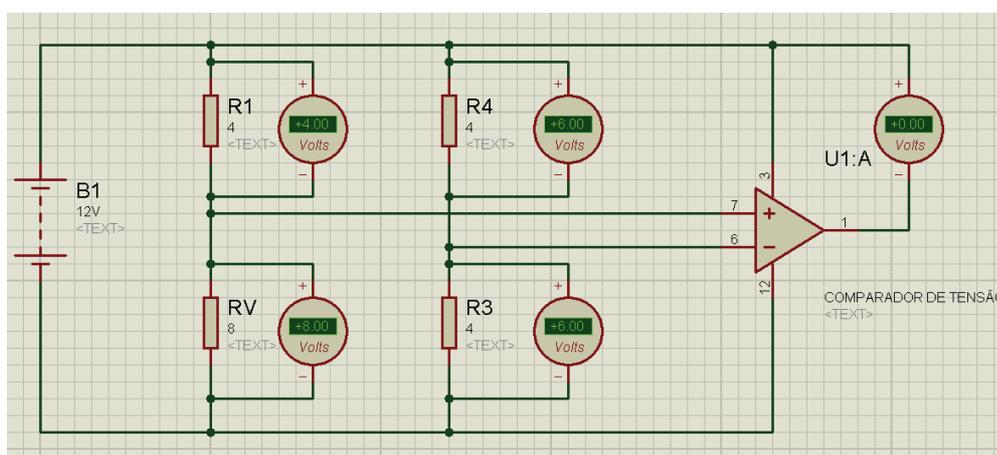
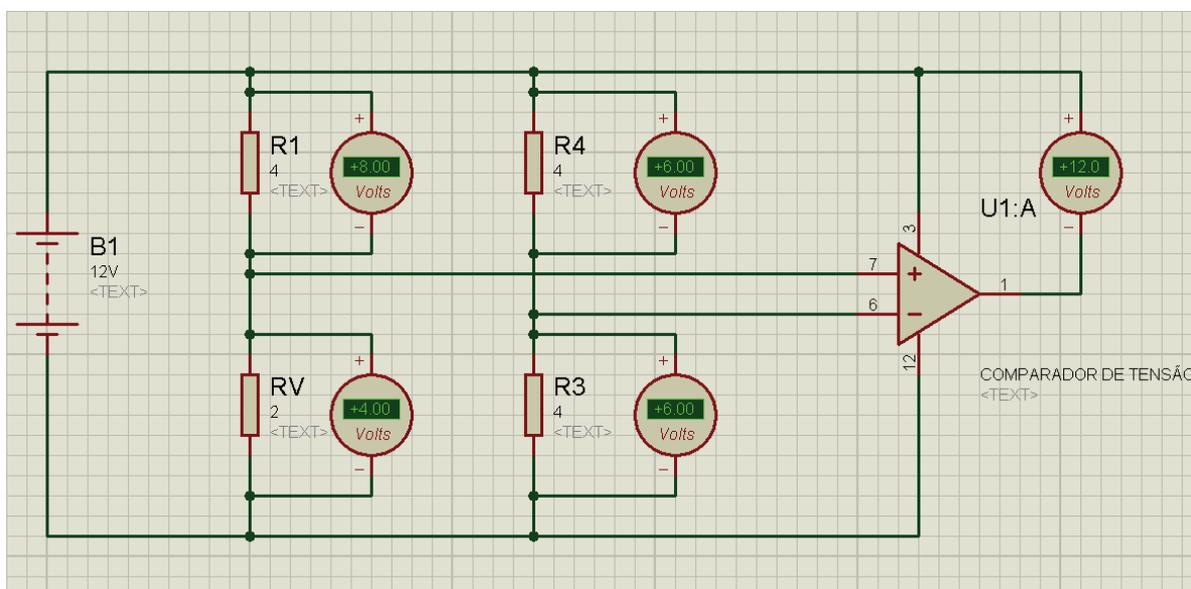


Figura 22 – Circuito comparador com sinal de saída nulo.

Já quando o valor de  $R_v$  for de  $2\Omega$  a queda de tensão em  $R_1$  será maior que  $R_4$ , deste modo a saída será de 12V, que pode ser observada pela Figura 23.



**Figura 23 – Circuito comparador com sinal de saída de 12V.**

Para fazer a comparação usou-se um comparador de tensão genérico com cinco pinos (1, 3, 6, 7 e 12). Onde o pino 3 é alimentação positiva, o pino 12 a negativa, o 7 a primeira entrada, o 6 a segunda entrada e o pino 1 a saída. Nessa ligação os pinos 7 e 3 identificam a queda de tensão do resistor  $R_1$ . Os pinos 6 e 3 identificam a queda de tensão do resistor  $R_4$  e os pinos 1 e 3 alimentam a saída.

Observa-se que nessa configuração de circuito a variação de  $R_v$  é determinante para que a saída do comparador seja zero ou a mesma alimentação do circuito, no caso 12V. Se a resistência ôhmica de  $R_v$  for menor ou igual a  $R_1$ , a queda de tensão de  $R_1$  será maior ou igual a queda de tensão de  $R_4$ , portanto a saída do comparador será positiva, no caso 12V. Já se a resistência ôhmica do resistor  $R_v$  for maior que a queda de tensão de  $R_1$ , a queda de tensão de  $R_1$  será menor que a queda de tensão de  $R_4$ , logo a saída do comparador será nula. Em virtude disso para que haja controle da saída basta usar um componente que varie sua resistência ôhmica no lugar de  $R_v$ .

## 5.2.2 Forma de Controle

Para fazer o esquema de controle da luminária foram necessários os seguintes componentes:

- 01 fonte chaveada de entrada de 100V a 230V e saída de 12V<sub>cc</sub>.
- 01 Circuito integrado LM339
- 01 Sensor LDR 5mm
- 05 Resistores de cerâmica de 10kΩ e ¼ W
- 01 Resistores de cerâmica de 7,2kΩ e ¼ W.
- 01 Resistor de cerâmica de 10,27kΩ e ¼ W.
- 01 Resistor de cerâmica de 10,55kΩ e ¼ W.
- 01 Resistor de cerâmica de 10,83kΩ e ¼ W.
- 04 reles de 12V.

### 5.2.2.1 Fonte de tensão 12V

Por ser feito o controle através de um circuito eletrônico, a energia de alimentação desse circuito deve ser contínua. Deste modo, como a tensão de entrada da luminária será de 127V de corrente alternada, houve a necessidade da redução dessa tensão e da transformação da corrente alternada para corrente contínua. Depois de rebaixada e transformada esta corrente, a mesma precisaria ser filtrada e estabilizada. Deste modo foi utilizado um conversor estático de corrente alternada em corrente contínua com regulação por chaveamento, comercialmente conhecido como fonte chaveada.

As fontes de alimentação são conversores estáticos que atualmente podem ser classificados em dois grandes grupos: Com regulação linear e com regulação por chaveamento. Entretanto para uso de pequenos circuitos, é mais vantajoso o uso de fontes de alimentação chaveada, tendo como principal vantagem em relação a linear o peso reduzido em torno de 100W/kg enquanto a linear é de 25W/kg, e o volume que é da ordem de 8cm<sup>3</sup>/W enquanto a linear é da ordem de 30cm<sup>3</sup>/W. Com o grande uso em diversos aparelhos eletrônicos, e a fabricação em larga escala o preço dessas fontes também se tornou um atrativo.

A fonte chaveada tem basicamente três grandes estágios: O primário, o secundário e o de controle. A Figura 24 mostra um esquema de um circuito de uma fonte chaveada de 12V e 2A.

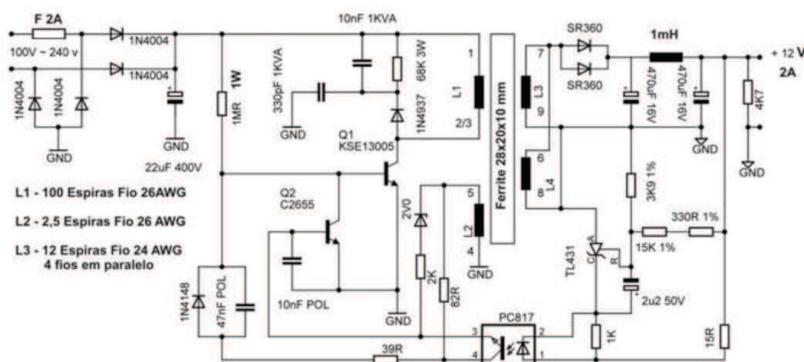


Figura 24 – Circuito eletrônico de uma fonte chaveada 12V 1A.

A fonte chaveada utilizada é do modelo F1A, com entrada (input) AC 100~240V, e 50/60Hz e saída (output) DC 12V e 1A. Ou seja, esta fonte pode ser ligada desde uma tensão de 100V até uma tensão que atinja 240V, podendo ser em 60Hz ( Frequência da energia elétrica do Brasil) a 50Hz, que a saída será sempre de 12V em corrente contínua, podendo alimentar um carga que consuma até 1A.

### 5.2.2.2 Comparador de tensão

Para fazer a comparação de tensão do circuito de controle da luminária usou-se o CI (circuito integrado) LM339. A Figura 25 mostra o desenho do circuito integrado do LM339.

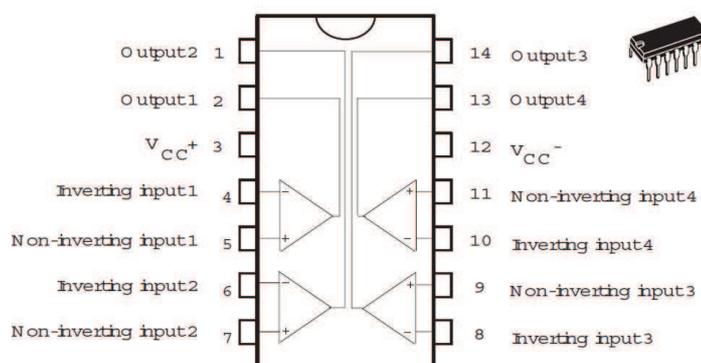


Figura 25 – Desenho do circuito integrado LM339

Este CI de quatorze pinos possui quatro comparadores independentes de tensão, sendo distribuídos da seguinte forma:

- Dois pinos de alimentação do circuito (pino 3 positivo e pino 12 negativo).
- Dois de entrada do comparador 2 (pino 4 e pino 5), um de saída do sinal do comparador 1 (pino 2).
- Dois de entrada do comparador 2 (pino 6 e pino 7), saída do sinal do comparador 2 (pino 1).
- Dois de entrada do comparador 3 (pino 8 e pino 9), saída do sinal do comparador 3 (pino 14).
- Dois de entrada do comparador 4 (pino 10 e pino 11), saída do sinal do comparador 4 (pino 13).

Esse componente pode operar em até  $18V_{CC}$  sendo, portanto, facilmente utilizado em  $12V_{CC}$ .

### 5.2.2.3 Sensor de luminosidade

A identificação de luminosidade do ambiente é feita pelo sensor LDR (Light Dependent Resistors), resistor dependente da luz. Esse componente eletrônico varia sua resistência de acordo com a luminosidade do ambiente.

Foi utilizado o modelo 3190 da marca SUNROM. Este componente possui 5mm de diâmetro, e suporta uma tensão máxima de 320V seja alternada ou contínua. Sua resistência varia de  $400\Omega$  a uma luminosidade de  $1000\text{lux}$  a  $9\text{k}\Omega$  em  $10\text{lux}$ . A Figura 26 mostra o gráfico de variação ôhmica do LDR de acordo em função da luminosidade bem como a imagem do componente e sua respectiva simbologia.

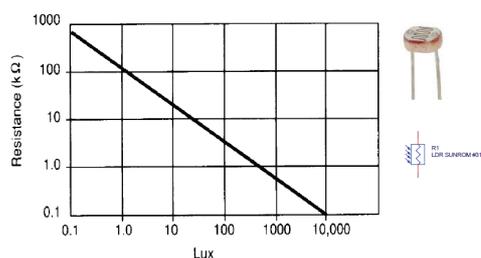


Figura 26 – Imagem do LDR, seu símbolo e gráfico da resistência em função da iluminância.

#### 5.2.2.4 Resistores

Os resistores são componentes elétricos usados para limitar uma corrente elétrica através da transformação de energia elétrica em energia térmica, pelo do efeito denominados Joule. A resistência de um resistor é mediada em Ohms ( $\Omega$ ), e a potência consumida é medida em Watts (W).

Para a comparação de tensão foi utilizado cinco resistores de cerâmica da marca FENGHUA de  $10\text{k}\Omega$ ,  $\frac{1}{4}$  W, e quatro resistores variáveis

- 05 Resistores de cerâmica de  $10\text{k}\Omega$  e  $\frac{1}{4}$  W
- 01 Resistores de cerâmica de  $7,2\text{k}\Omega$  e  $\frac{1}{4}$  W.
- 01 Resistor de cerâmica de  $10,27\text{k}\Omega$  e  $\frac{1}{4}$  W.
- 01 Resistor de cerâmica de  $10,55\text{k}\Omega$  e  $\frac{1}{4}$  W.
- 01 Resistor de cerâmica de  $10,83\text{k}\Omega$  e  $\frac{1}{4}$  W.

#### 5.2.2.5 Reles

Os reles são interruptores eletromecânicos que servem para fechar e/ou abrir contato no momento uma corrente elétrica passa em sua bobina interna de modo a energizá-la. Como o uso desses componentes consegue-se com uma pequena tensão de um circuito fechar contato de outro circuito por onde pode passar uma tensão dezenas de vezes maior que a do primeiro.

Os quatro reles utilizados são do modelo RAS-1210 da marca SUN HOLD, de 12Vcc de alimentação da bobina para fechamento com cinco pinos, sendo dois de alimentação, um comum, um normalmente aberto e um normalmente fechado, podendo fechar um contato de 250V a 7A.

#### 5.2.3 Circuito de Controle

O circuito de controle é alimentado pela fonte de 12Vcc, que alimenta o CI LM339 responsável pela comparação de tensão, o sensor de luz LDR que fará a leitura da luminosidade, os nove resistores responsável pelas quedas de tensão e os quatro reles fecharão contato para a passagem da corrente para o acionamento dos LEDs.

A Figura 27 ilustra o circuito de controle da luminária.

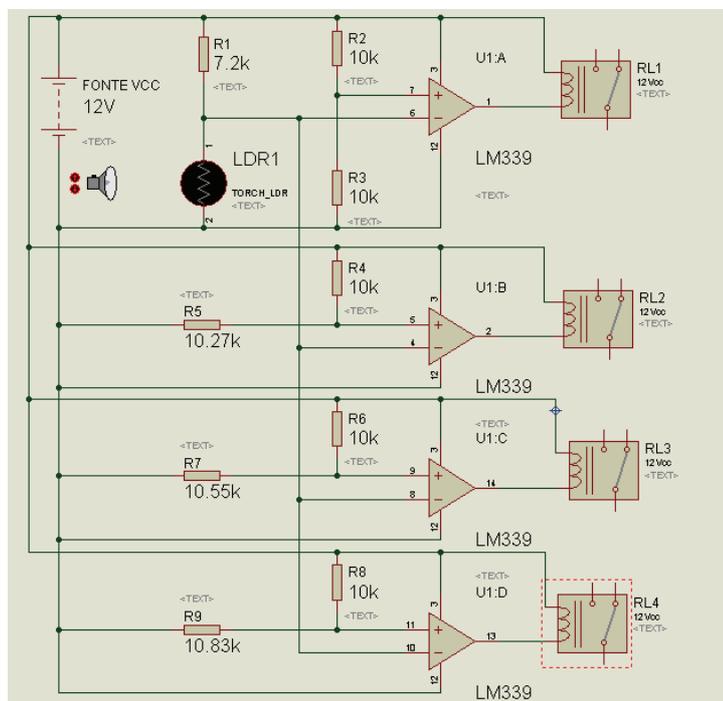


Figura 27 – Circuito de controle da luminária.

#### 5.2.4 Parâmetros de Comparação

A primeira comparação é feita pelo comparador 1 do CI LM339, onde a entrada 1 (pino 4) recebe a referência da queda de tensão do resistor  $R_1$  de  $7,2k\Omega$  e a entrada 2 (pino 5) recebe a referência da queda do resistor  $R_2$  de  $10k\Omega$ . A saída de sinal do comparador 1 (pino 2) alimenta o relê 1 que fechará contato ao receber a tensão de  $12V_{cc}$ . Por esse contato passará a corrente que alimentará quarenta e cinco LEDs.

A segunda comparação é feita pelo comparador 2, sendo a entrada 1 (pino 6) recebe a mesma referência da entrada 1 do comparador 1, a queda de tensão do resistor  $R_1$ , e a entrada 2 (pino 7) recebe a referência da queda do resistor  $R_4$  também de  $10k\Omega$ . A saída de sinal do comparador 2 (pino 2) alimenta o relê 2 que fechará contato ao receber a tensão de  $12V_{cc}$ .

Já a terceira comparação é feita pelo comparador 3, sendo a entrada 1 (pino 8) recebe a mesma referência da entrada 1 do comparador 1, a queda de tensão do resistor  $R_1$ , e a entrada 2 (pino 9) recebe a referência da queda do resistor  $R_6$

também de  $10\text{k}\Omega$ . A saída de sinal do comparador 3 (pino 14) alimenta o relê 3 que fechará contato ao receber a tensão de  $12V_{cc}$ .

E por fim a quarta e ultima comparação é feita pelo comparador 4, sendo a entrada 1 (pino 10) recebe a mesma referência da entrada 1 do comparador 1, a queda de tensão do resistor  $R_1$ , e a entrada 2 (pino 11) recebe a referência da queda do resistor  $R_8$  também de  $10\text{k}\Omega$ . A saída de sinal do comparador 4 (pino 13) alimenta o relê 4 que fechará contato ao receber a tensão de  $12V_{cc}$ .

### 5.2.5 Referência de Controle

Os quatro níveis de comparação são feitos de acordo com a queda de tensão em cima de quatro resistores de mesmo valor ôhmico ( $R_2$ ,  $R_4$ ,  $R_6$  e  $R_8$ ), que são ambos de  $10\text{k}\Omega$ . Porém, o fator que implica na diferente queda de tensão nesses resistores são os resistores ligados em série a esses componentes ( $R_3$ ,  $R_5$ ,  $R_7$  e  $R_9$ ), que tem os respectivos valores  $10\text{k}\Omega$ ,  $10,27\text{k}\Omega$ ,  $10,55\text{ k}\Omega$  e  $10,83\text{ k}\Omega$ . Deste modo pode se dizer que os valores de  $R_3$ ,  $R_5$ ,  $R_7$  e  $R_9$  são referências para o controle da luminária.

Como o sensor LDR que identifica a luminosidade do ambiente, mudando sua resistência de acordo com a quantidade de luz identificada, utilizou-se como parâmetro de controle o seu gráfico de variação ôhmica dada em Ohm ( $\Omega$ ) em função da iluminância dada em *lux* [*lx*] que se encontra no DATASHEET do componente. A partir dessas especificações outro gráfico foi elaborado com valores que vão de  $7176\Omega$  em  $150\text{lux}$  a  $7784\Omega$  a  $220\text{lux}$  e pode ser visto logo abaixo na Figura 28.

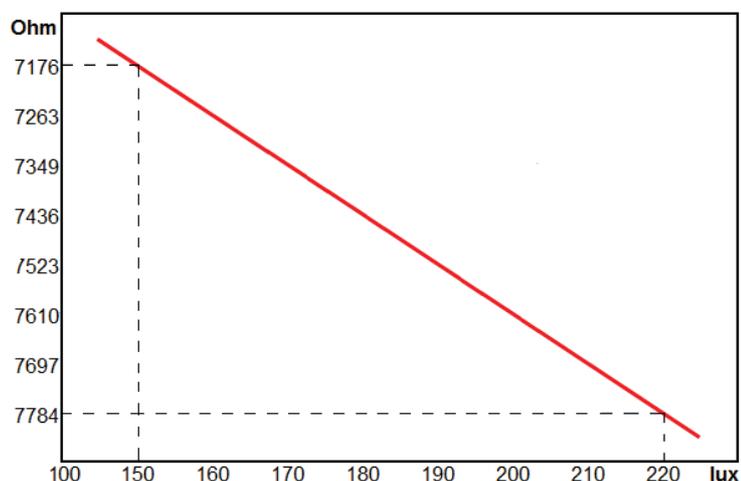


Figura 28 – Resistência ôhmica em função da iluminância do LDR

### 5.2.6 Funcionamento do sistema de controle

Quando o LDR identifica que a iluminância do local está abaixo de 208lx, sua resistência ôhmica aumenta acima de  $7263\Omega$ . Como o resistor  $R_1$  é de  $7200\Omega$ , a queda de tensão do sensor LDR passa a ser acima de 6V, maior do que a de  $R_1$  que nesse instante passa a ser menor de 6V. Desta forma a queda de tensão de  $R_1$  comparado a de  $R_2$  passa a ser menor, já que a queda de tensão de  $R_2$  é de 6V, devido a sua resistência ôhmica ser igual a de  $R_3$ . Como LM339 faz a primeira comparação tomando como referência as quedas de tensão de  $R_1$  e  $R_2$ , este componente no instante em que a queda de tensão em cima de  $R_1$  é menor que a de  $R_2$ , envia um sinal de saída de aproximadamente 12V. Esta tensão alimenta a bobina do Rele 1. Alimentado o rele 1 fecha o contato por onde passará a corrente para o acionamento dos primeiros quarenta e cinco LEDs. Ao passo que a luminosidade do ambiente vai baixando, ou seja, a quantidade de *lux* identificada pelo LDR vai diminuindo-se, a queda de tensão em cima deste componente aumenta-se proporcionalmente, devido ao aumento de sua resistência ôhmica, como mostra a simulação da Figura 29.

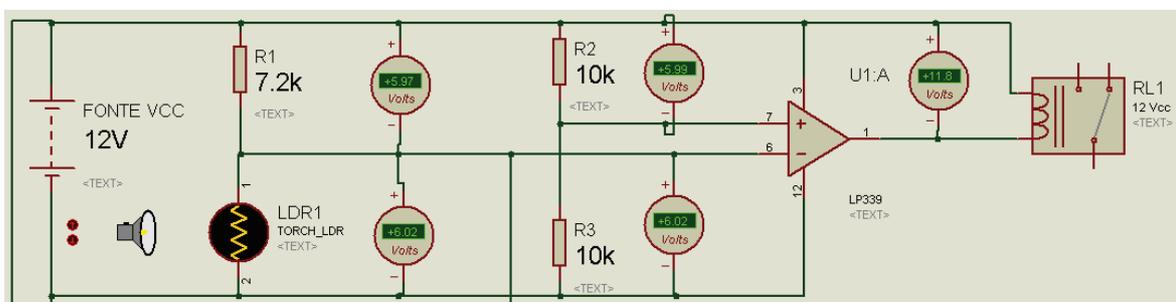
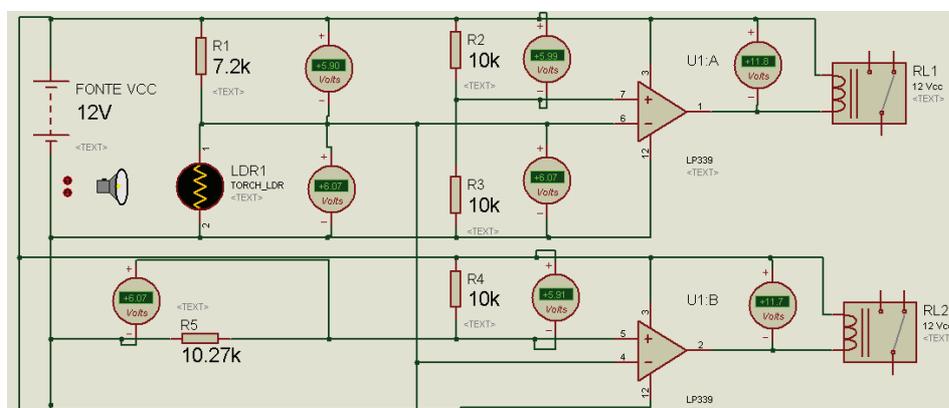


Figura 29 – Primeira comparação da luminária

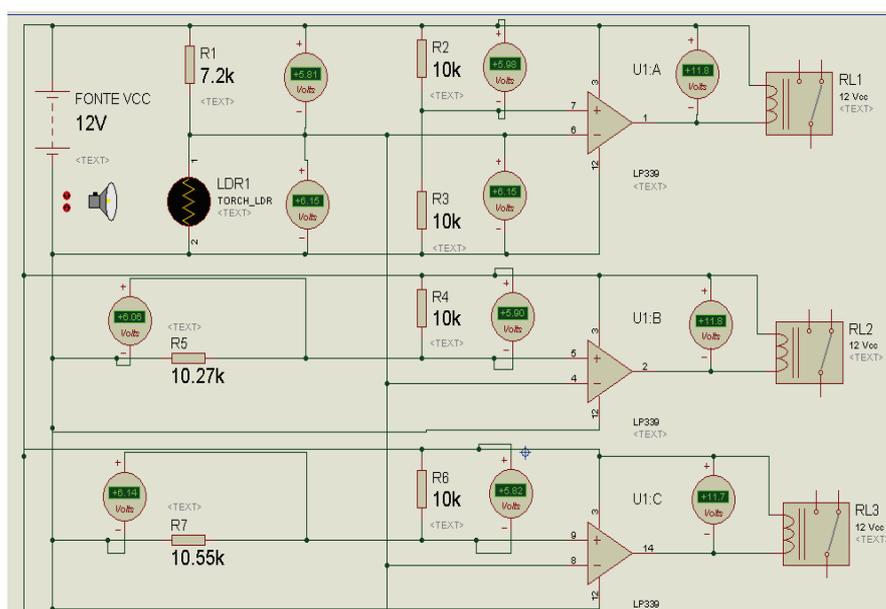
A segunda comparação de tensão é semelhante a primeira. Quando a resistência do LDR aumenta acima de  $7400\Omega$ , que corresponde cerca de 189lx de iluminância, a queda de tensão em cima de  $R_1$  passa a ser de aproximadamente 5,90V. Esta tensão por sua vez passa a ser menor que a tensão em cima de  $R_4$  que é de 5,91V. Desta forma o comparador 2 do CI LM339 envia um sinal de cerca de 12V na segunda saída. Esta tensão alimenta o rele 2 do circuito. Alimentado o relê 2, fecha-se o contato por onde passará a corrente de alimentação dos outros quarenta e cinco LEDs.

Desta forma a luminária fica iluminando com um total de noventa diodos emissores de luz como mostra a figura 30.



**Figura 30 – Segunda comparação da luminária**

A terceira comparação, também semelhante as duas primeiras, começa no instante que a iluminação passa ser em torno de 169lx, que corresponde cerca de 7600 $\Omega$ . Nesse instante a queda de tensão em  $R_1$  passa a ser de 5,81V. Esta tensão passa a ser menor que a tensão em cima de  $R_6$  que no instante corresponde a aproximadamente 5,82V. Desta forma é feita a comparação de tensão entre  $R_1$  e  $R_6$ . O comparador 3 envia o sinal de 12V para a saída 3. Com o sinal de 12V o rele 3 é acionado, fechando contato por onde passará a corrente que alimentará mais quarenta e cinco LEDs, totalizando cento e trinta e cinco diodos emissores de luz acionados. A figura 31 mostra a terceira comparação.



**Figura 31 – Terceira comparação da luminária**

Por fim, a quarta e última comparação é feita quando a iluminância identificada pelo resistor dependente de luz passa a ser de  $7800\Omega$ , que corresponde cerca de  $148\text{lx}$ . Com este valor a queda de tensão de  $R_1$  passa a ser em torno de  $5,73\text{V}$ . Sendo que nesse instante a queda de tensão de  $R_8$  é de aproximadamente  $5,74\text{V}$ . Desta forma o comparador 4 do LM339 compara as tensões de  $R_1$  e  $R_8$ , enviando um sinal de cerca de  $12\text{V}$  para a saída 4. Este sinal alimenta a bobina do rele 4, que fechará o contato por onde irá passar a corrente que alimentará o quarenta LEDs restantes, assim como ilustra a Figura 32.

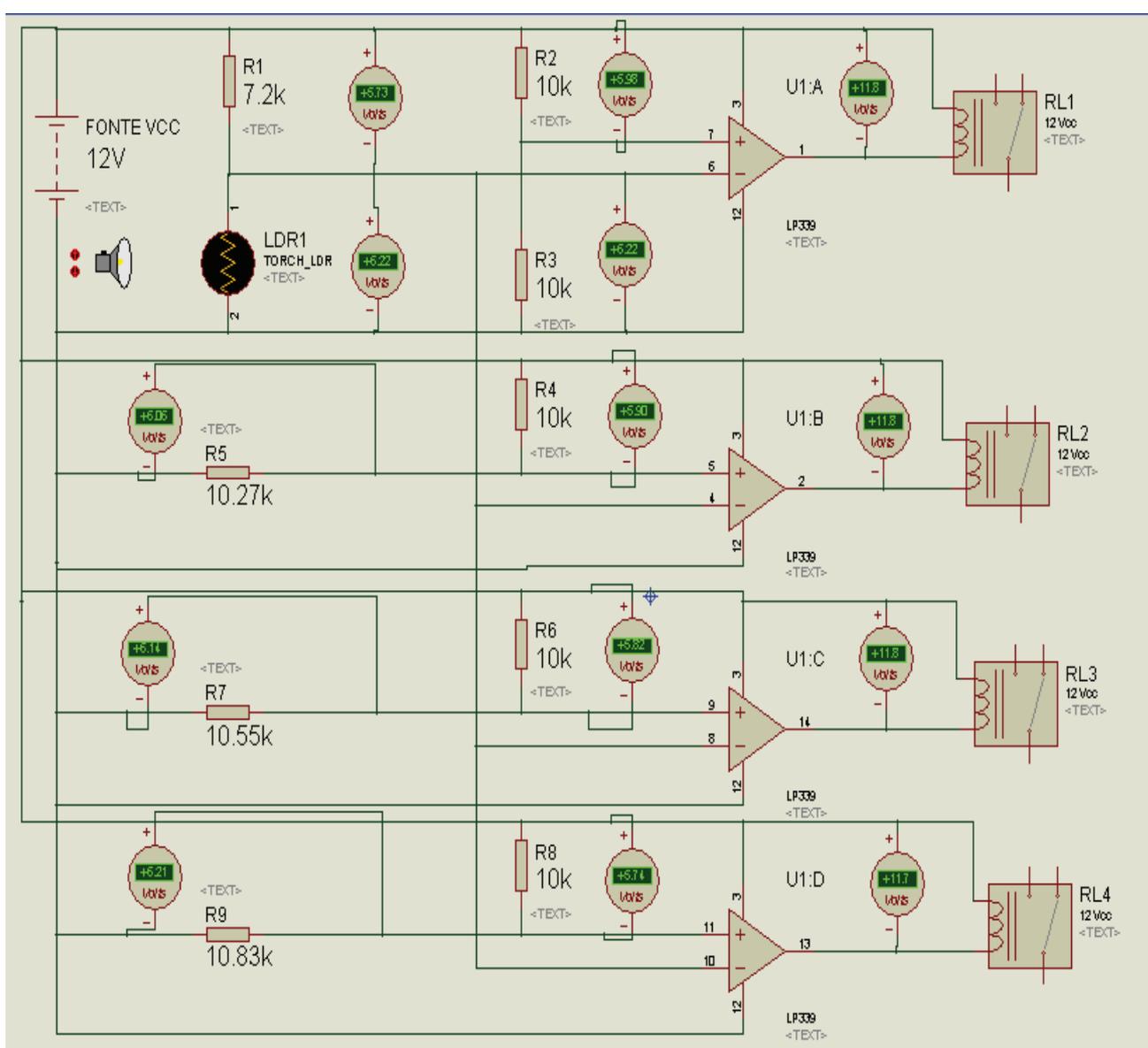


Figura 32 – Quarta comparação da luminária

A Figura a 33 mostra simulação do circuito geral da luminária de LED, com os cento e oitenta LEDs bem como o circuito de controle.

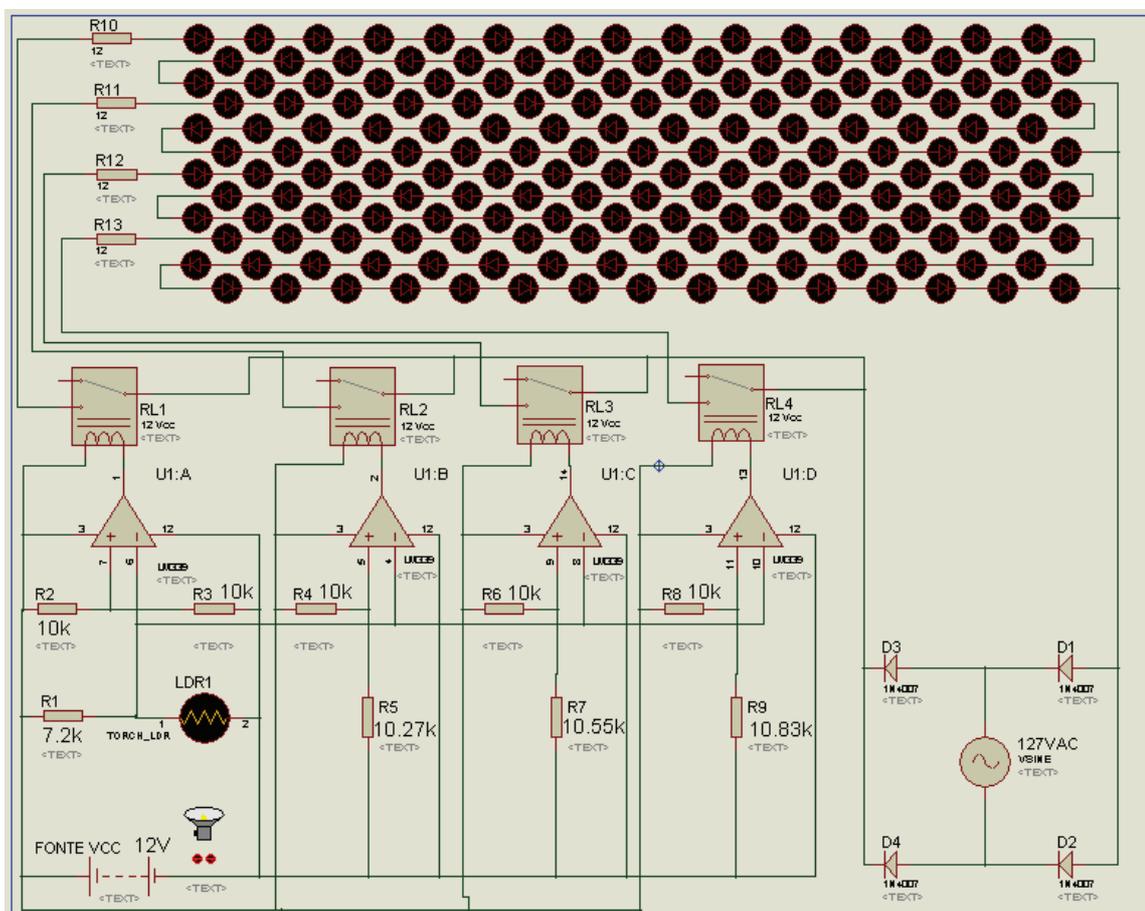


Figura 33 – Circuito total da luminária

### 5.3 CARACTERÍSTICAS DA LUMINÁRIA

A luminária de LED com controle automatizado de luminosidade é de formato cilíndrico com 90mm de raio e 50mm de espessura. Nela cento e oitenta LEDs de alto brilho de 5mm estão distribuídos em oito círculos, fixados em orifícios na face da luminária. A base é feita de acrílico de 3mm de espessura revestido com uma folha metálica de alumínio. Sua lateral é de PVC branco de 2mm de espessura.

A corrente total da luminária é de aproximadamente 100mA, sendo divididos 25mA para cada grupo de quarenta e cinco diodos emissores de luz.

A potencia, segundo Boylestad (2004) é a grandeza que mede quanto de trabalho pode ser realizado em um determinado período de tempo. Sendo seu resultado dado em Watts.

Deste modo a potência de cada grupo de quarenta e cinco LEDs, quando acesos, é em torno de 3,175W. segundo a Equação 7:

$$P = V \cdot I \quad (7)$$

Onde P é a potência, V a tensão e I a corrente. Deste modo, sendo a tensão de 127V e a corrente de 0,025A, a potencia resultante é de 3,175W.

$$P=127 \times 0,025 = 3,175W$$

Sendo assim a luminária pode consumir 3,175W (quarenta e cinco LEDs), 6,35W (noventa LEDs), 9,525W (cento e trinta e cinco LEDs) e 12,7W (cento e oitenta LEDs)

Para saber o quanto de iluminância é produzida pela luminária foi utilizado um luxímetro da marca INSTRUTHERM, modelo LD-209 direcionado a luminária a uma distância de aproximadamente 750mm. Desta forma a chegar nos seguintes resultados:

45 LEDs acesos	70lux	3,17W
90 LEDs acesos	135lux	6,35W
135 LEDs acesos	200lux	9,52W
180 LEDs acesos	270lux	12,70W

#### 5.4 CUSTO DO PROJETO

A base de cálculo dos componentes eletrônicos da luminária foi retirada de alguns sites brasileiros de vendas de componentes eletrônicos pela internet. Desta forma o custo total foi baseado em valores comerciais dos componentes, podendo ser mais baratos caso fossem comprados em grandes quantidades direto do fabricante.

Para a realização deste projeto utilizou-se os seguintes componentes:

01 placa de circuito impresso

04 relés de 12V  
 15 resistores  
 01 CI LM339  
 01 sensor LDR  
 01 Fonte 12V  
 04 diodos  
 180 LEDs

O valores discriminados para cada componente são:

Placa de circuito impresso 100x150mm (fenolite virgem, PCI/PCB).....	R\$ 3,60
Mili rele 12V 10A inversor com cinco terminais.....4 x R\$ 1,70 = R\$	6,80
Resistor de cerâmica diversos de 1/4W.....15 x R\$ 0,10 = R\$	1,50
Circuito integrado LM339.....	R\$ 0,60
Sensor LDR 5mm.....	R\$ 0,39
Fonte chaveada DC 12V 1A, entrada 127/220 automático.....	R\$ 10,49
Diodo IN4007 tensão reversa 1000V 1A .....4 x R\$ 0,18 = R\$	0,72
LED alto brilho branco frio 5mm.....180 x 0,45 = R\$	81,00
<b>Total.....</b>	<b>R\$ 105,10</b>

Observa-se que quase 80% do custo total da luminária é dos diodos emissores de luz.

Por ser um protótipo o valor da estrutura de acrílico e PVC não foram dimensionados, uma vez que o foco da pesquisa é o funcionamento e os componentes eletrônicos usados na luminária. Desta forma a estrutura utilizada é apenas para sustentar os componentes, podendo ser substituídos por outros materiais de custos mais baixos e que possam ser mais sustentável.

## 5.5 PONTOS A SEREM MELHORADOS

Como todos os projetos têm seus pontos positivos e outros não, este, por sua vez, não é diferente. Neste projeto uma futura melhoria pode ser a eliminação dos ruídos que acontecem no acender e apagar dos grupos de LEDs. Estes ruídos são gerados pela transição do estado energização da bobina do rele. Como o rele

funciona com 12V, quando a saída do comprador de tensão está preste a atingir esta voltagem a bobina começa a energiza-se para que haja uma energia eletromagnética que fará com que a haste metálica do rele sai do estado de inércia e movimente-se para que o contato que, antes sem energia era aberto passe, depois de energizado, a ser fechado. Deste modo a corrente passará para o restante do circuito, alimentando o diodos emissores de luz.

Outro ponto seria a busca por meios que contribuíssem para a diminuição do custo da luminária. Seja na compra de componentes eletrônicos mais baratos ou até mesmo na substituição e/ou retirada de algum componente. Pois sendo a luminária um utensílio para ser usado em qualquer ambiente, sua elaboração tem como maior objetivo atender as necessidades residenciais. Desta forma um utensílio domestico que seja necessário em todos os cômodos de uma casa como é o caso das lâmpadas ou luminárias o valor de custo estimado em R\$ 105,00 ainda é considerado alto.

## 6 CONCLUSÃO

O Brasil a cada dia que passa está consumindo mais energia elétrica. Segundo a Empresa de Pesquisa Energética - EPE o consumo nacional de energia elétrica na rede em 2010 aumentou 8,1% em relação ao ano anterior atingindo a marca de 415,277TWh. Deste total os setores que mais consumiram foram; o industrial com 43,21% do consumo, o residencial com 25,81%, o comercial com 16,65% e outros com 14,3%. Decorrente ao aumento de consumo, foi preciso aumentar também a produção.

Em 2010 a geração de energia elétrica no Brasil atingiu 509,2TWh em centrais de serviço público e auto produtores, 10% a mais que em 2009. Este aumento da produção foi de suma importância para o país, devido ao seu consumo. Contudo, não basta apenas aumentar a produção, mas sim racionalizar o consumo, evitando desperdícios e criando aparelhos elétricos que contribua para essa economia de energia, como é o caso da luminária de LED com controle de luminosidade.

O desenvolvimento do projeto desta luminária apresenta uma alternativa de economia de energia elétrica, pois sua interação com a iluminação do ambiente permite que o consumo de energia seja baixo, podendo até ser nulo caso a iluminação natural esteja suprimindo a necessidade local. Possibilita também comodidade ao homem, uma vez que todo seu controle de iluminação é feito de forma automática.

Desta maneira este projeto procurou abordar uma forma de contribuir com sociedade, estimulando a criação de futuros projetos e pesquisas que possibilitem a diminuição, e economia de energia elétrica do país.

## REFERÊNCIAS

BOYLESTAD, Robert L. **Introdução à análise de circuitos**. 10. ed. São Paulo. Perason Education do Brasil, 2004.

COSTA, Gilberto José Corrêa, **Iluminação Econômica** – Cálculo e avaliação, EDIPUCRS, 1998.

CREDER, H. Instalações Elétricas. 14 ed. Rio de Janeiro, 2000.

ELETRÔNICA. Disponível em: <<http://www.electronica-pt.com/index.php/content/view/126>>. Acesso em: 18 out. 2013.

EMPALUX. Disponível em: <<http://www.empalux.com.br/?a1=p&c=000007>>. Acesso em: 5 nov. 2013.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Disponível em: <[https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio\\_Final\\_BEN\\_2011.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2011.pdf)>. Acesso em: 10 abr. 2013.

FJMSoft. Disponível em: <<http://www.fjmsoft.com.br>>. Acesso em: 15 set. 2013.

GODOY, P.; STILLER, E. Técnica, experiência e criatividade interagem no design da iluminação. 6º Lighting Design - **Projeto Design**. São Paulo, n.250, p.98-101, dez. 2000.

IIDA, Itiro. Ergonomia projeto e produção. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1992. 462p.

INOVAÇÃO TECNOLÓGICA. Disponível em: <<http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=dualidade-onda-particula>>. Acesso em: 2 out. 2013.

JORNAL NACIONAL Disponível em: <<http://jornalnacional.globo.com/Telejornais/JN/0,,MUL1043353-10406,00-LAMPADAS+FLUORESCENTES+SAO+PROBLEMA+AMBIENTAL.html>>. Acesso em: 09 abr. 2013.

KROEMER, K. et al. Ergonomics: How to design for ease & efficiency. New Jersey: Prentice Hall, 1994. 776p.

MALVINO, Albert P. **Eletrônica**. 4. ed. São Paulo. Perason Education do Brasil, 2002.

MARTELETO, Douglas C. **Avaliação do diodo emissor de luz (LED) para iluminação de interiores**. 2011. 96 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso Superior de Engenharia Elétrica. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2011.

MARTINS, Roberto de A.; SILVA, Cibelle C. A “Nova Teoria sobre Luz e cores” de Isaac Newton: uma Tradução Comentada. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Campinas, v. 18, n. 4, p. 313-327, dez. 1996.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/publicacoes/PDE\\_2019/PDE2020-SUMARIO.pdf](http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/publicacoes/PDE_2019/PDE2020-SUMARIO.pdf)>. Acesso em: 19 abr. 2013.

OBSERVATÓRIO NACIONAL. Disponível em: <<http://www.on.br>>. Acesso em: 10 out. 2013.

REPRAN. Disponível em: <<http://repran.com.br/site/material-eletrico/lampada/182-lampada-dicroica.html>>. Acesso em: 21 abr. 2013.

SILVA, Fabio W. O. A evolução da teoria ondulatória da luz e os livros didáticos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 29, n. 1, p. 149-159, dez. 2007.

SUNROM. Disponível em: <<http://www.sunrom.com/files/3190-datasheet.pdf>>. Acesso em: 8 jan. 2013.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. Disponível em: <<http://www.ced.ufsc.br/emt/trabalhos/historiadaeletricidade/ENERGIA%20ELET RICA%20E%20MEIO%20AMBIENTE.htm>>. Acesso em: 13 abr. 2012.