



**Universidade Federal da Paraíba  
Centro de Energias Alternativas e Renováveis  
Departamento de Engenharia Elétrica**

**OTON MATHEWS CARDOSO E DANTAS**

**PROJETO DE ILUMINAÇÃO EFICIENTE DO BLOCO  
ADMINISTRATIVO DO CENTRO DE TECNOLOGIA DA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**

**João Pessoa - PB  
Maio de 2017**

**OTON MATHEWS CARDOSO E DANTAS**

**PROJETO DE ILUMINAÇÃO EFICIENTE DO BLOCO  
ADMINISTRATIVO DO CENTRO DE TECNOLOGIA DA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**

**Trabalho de Conclusão de Curso submetido  
à Coordenação do Curso de Graduação em  
Engenharia Elétrica da Universidade  
Federal da Paraíba como parte dos  
requisitos necessários para a obtenção do  
título de Engenheiro Eletricista.**

**João Pessoa - PB  
Maio de 2017**

**OTON MATHEWS CARDOSO E DANTAS**

**Trabalho de Conclusão de Curso**

**Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal da Paraíba como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista.**

**Aprovado por:**

---

**Prof. Dr. Alexandre César de Castro**  
**Universidade Federal da Paraíba**  
**Orientador Docente**

---

**Prof. Dr. Nady Rocha**  
**Universidade Federal da Paraíba**  
**Coorientador Docente**

---

**Prof. Dr. Clivaldo Silva de Araújo**  
**Universidade Federal da Paraíba**  
**Avaliador**

---

**Prof. Dr. Yuri Percy Molina Rodrigues**  
**Universidade Federal da Paraíba**  
**Avaliador**

**Paraíba – PB**  
**Mai de 2017**

*Dedico este trabalho à minha mãe, Eliane Cardoso, que fez além do que ela podia, assumindo vários papéis, para que eu pudesse chegar até aqui.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, sempre e acima de tudo. Que tudo que eu faça glorifique o seu Santo Nome.

Agradeço a minha mãe, Eliane Cardoso. Sou eternamente grato a Deus por sua vida. Meu maior exemplo. Agradeço também a minha irmã Milena, meu cunhado Aluízio e meu irmão Israel. Como é bom ver vocês se alegrarem com minhas conquistas.

Agradeço a Isaura, minha namorada, por estar sempre presente, me ajudando, me alegrando. Essa é mais uma conquista nossa. Agradeço também à Jaqueline, minha sogra, por todo o suporte.

Agradeço aos meus familiares, em especial aos tios Josenildo Cardoso, Roberto Germano e Meriland. Obrigado pelos conselhos e por acreditarem em mim.

Agradeço aos meus amigos, em especial ao Meu Pastor Vagner. O senhor é extraordinário. Como é fácil tomar decisões com a sua ajuda.

Ao professor Nady Rocha, por ter me orientado neste trabalho e em tantos outros, desde o segundo semestre do curso. Agradeço também a todos que fizeram parte do Grupo PET – Elétrica.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma estiveram presente nesta etapa da minha vida. Teria sido muito mais difícil sem vocês.

*“Sim, ao único e sábio Deus seja dada Glória, por intermédio de Jesus Cristo, para todo o sempre. Amém! ”*

*(Romanos 16:27)*

## RESUMO

Este trabalho descreve o projeto de Eficiência Energética, com ênfase em iluminação, realizado para o Bloco de Administração do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba. O projeto consiste na substituição de lâmpadas fluorescentes tubulares por LED, de forma que os índices de iluminância dos ambientes estivessem de acordo com a norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1. Além disso, este trabalho também conta com o cálculo do *payback* dos projetos propostos, assim como um estudo da redução de emissão de gases do efeito estufa, devido ao uso de lâmpadas mais eficientes.

**Palavras-Chaves:** Eficiência Energética, Iluminação, LED, Payback.

## **ABSTRACT**

This work describes the Energy Efficiency project, with emphasis on lighting, carried out in the Administration Block of the Technology Center of the Federal University of Paraiba. The project consists of replacing tubular fluorescent lamps by LEDs, so that the ambient illumination indexes are in accordance with the Standard ABNT ISO / IEC 8995-1. In addition, this work also counts on the calculation of the payback of the proposed projects, as well as a study of the reduction of emission of greenhouse gases, due to the use of more efficient lamps.

**Keywords:** Energy Efficiency, Lighting, LED, Payback.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Comparação entre consumo e Demanda [15] .....	24
Figura 2.2 – Selo Procel de Economia de Energia [28].....	35
Figura 2.3 – Etiqueta do Programa Brasileiro de Etiquetagem [27] .....	36
Figura 2.4 – Representação do funcionamento da lâmpada fluorescente tubular[4].....	38
Figura 2.5 – Funcionamento do LED [33] – Adaptado.....	41
Figura 2.6 – Modelos de lâmpadas fluorescente – [47] – Adaptado.....	42
Figura 2.7 – Classificação quanto ao IRC [18] - Adaptada.....	42
Figura 2.8 – Classificação quanto ao IRC, vida útil e eficiência energética por tipos de lâmpadas [18] .....	43
Figura 2.9 – Comparativo sobre o direcionamento da luz (a) Lâmpada Fluorescente, (b) Lâmpada LED [48] – Adaptado .....	43
Figura 2.10 – Efeito do <i>binning</i> – [48] .....	45
Figura 4.1 - Luxímetro utilizado para as medições .....	56
Figura 5.1 – Planta baixa do Bloco Administrativo do CT .....	62
Figura 5.2 – (a) Luminária adotada, (b) Lâmpada fluorescente adotada, (c) Lâmpada LED adotada.....	64
Figura 5.3 – Valores de iluminância por pontos da situação atual – (a) Sala 4, (b) Sala 7, (c) BM, (d) Sala 21 .....	65
Figura 5.4 – Vistas do Bloco Administrativo feitas no Dialux Evo .....	66
Figura 5.5 – Vista superior do Bloco Administrativo feitas no Dialux Evo .....	66
Figura 5.6 – Fotografia das salas inspecionadas. (a) Iluminação do Banheiro Masculino, (b) Luminária utilizada no hall de entrada, (c) Iluminação Sala 4, (d) Luminária utilizada na Sala 5 .....	67
Figura 5.7 – Simulação das salas estudadas - (a) Sala 4, (b) Sala 7, (c) BM, (d) Sala 21.....	69
Figura 5.8 - Resultado da simulação das salas estudadas (CASO 1) - (a) Sala 4, (b) Sala 7, (c) BM, (d) Sala 21 .....	70
Figura 5.9 - Resultado da simulação das salas estudadas (CASO 2) - (a) Sala 4, (b) Sala 7, (c) BM, (d) Sala 21 .....	72
Figura 5.10 – Resultado da simulação das salas estudadas (CASO 3) - (a) Sala 4, (b) Sala 7, (c) BM, (d) Sala 21 .....	74

Figura 5.11 – Resultado da simulação das salas estudadas (CASO 4) - (a) Sala 4, (b) Sala 7, (c) BM, (d) Sala 21 .....76

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Capacidade instalada de geração elétrica: 10 maiores países [13] - Adaptado ...	26
Tabela 2.2 – Capacidade instalada de fontes alternativas no mundo – 10 maiores [13] - Adaptado.....	27
Tabela 2.3 – Geração de Energia Elétrica por Fontes (2012) [13] - Adaptado .....	29
Tabela 2.4 – Consumo de Energia Elétrica no mundo – 10 maiores (2012) [13] - Adaptado .	29
Tabela 2.5 - Geração Elétrica por Fonte no Brasil (2014) [13] - Adaptado .....	30
Tabela 2.6 – Carga de Energia e Consumo (2014) [13] - Adaptado .....	31
Tabela 2.7 – Valores de durabilidade das lâmpadas.....	44
Tabela 2.8 – Emissões de Gases Efeito Estufa na Geração Elétrica – 10 maiores (2012) [13]	48
Tabela 2.9 – Fator médio de Emissão de GEE – Ano 2016 [37] .....	49
Tabela 3.1 – Valores de iluminância mantida para tipos de ambientes ou atividades [42] - Adaptado.....	53
Tabela 5.1 – Situação das iluminância das salas estudadas.....	65
Tabela 5.2 - Cálculo luminotécnico da situação atual – CASO1 .....	68
Tabela 5.3 – Comparação dos resultados obtidos (CASO 1) .....	70
Tabela 5.4 – Cálculo luminotécnico da proposta fluorescente – CASO 2 .....	71
Tabela 5.5 – Cálculo luminotécnico da proposta LED – CASO 3 .....	73
Tabela 5.6 – Cálculo luminotécnico da proposta LED – CASO 4.....	75
Tabela 5.7 – Cálculo do Consumo energético dos casos estudados.....	77
Tabela 5.8 - Características das propostas.....	78
Tabela 5.9 - Investimento inicial .....	79
Tabela 5.10 – Gastos totais para os três casos propostos .....	79
Tabela 5.11 - Gastos totais para os três casos propostos – Considerando impostos .....	80
Tabela 5.12 - Cálculo da pegada de carbono para os 4 casos.....	82

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 2.1 - Capacidade Instalada por tipos de fontes no mundo [13] - Adaptado .....	25
Gráfico 2.2 – Geração de Energia Elétrica por Fontes (2012) [13] - Adaptado.....	28
Gráfico 2.3 – Geração de Energia Elétrica – 10 Maiores (2012) [13] – Adaptado .....	28
Gráfico 2.4 - Geração de Energia Elétrica - Participação Regional no Brasil em 2014 [13] – Adaptado.....	31
Gráfico 5.1 - Payback Caso 2 e Caso 4 para tarifa de \$0,2208 .....	81
Gráfico 5.2 - Payback Caso 2 e Caso 4 para tarifa de \$0,2849 .....	81

## LISTA DE ABREVIACOES

ONU	Organização das Nações Unidas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AIE	Agência Internacional de Energia
BM	Banheiro Masculino
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econmico e Social
BRICS	Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética
COFINS	Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
CT	Centro de Tecnologia
ELCF	<i>European Lighting Companies Federation</i>
ELETRORAS	Centrais Elétricas Brasileiras
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ESCO	Empresa de Serviços de Conservação de Energia
FNDCT	Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
GEE	Gases de Efeito Estufa
ICMS	Imposto sobre a Circulação de Mercadorias e Serviços
IRC	Índice de Reprodução de Cores
ISSO	<i>International Organization for Standardization</i>
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
NBR	Norma Brasileira
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
OPEP	Organização dos Países Exportadores de Petróleo
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PIS	Programas de Integração Social
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PROCEL EPP	Eficiência Energética em Prédios Públicos
PROESCO	Programa de Apoio a Projetos de Eficiência Energética
ROL	Receita Operacional Líquida
SIN	Sistema Interligado Nacional.
UFPB	Universidade Federal da Paraiba

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
1.1	Objetivos.....	18
1.1.1	Objetivos Gerais .....	18
1.1.2	Objetivos Específicos .....	19
1.2	Organização do trabalho .....	20
<b>2</b>	<b>EFICIÊNCIA ENERGÉTICA .....</b>	<b>21</b>
2.1	Diferença Entre Consumo e Demanda .....	23
2.2	Capacidade Instalada de Geração Elétrica.....	24
2.3	Geração de Energia Elétrica .....	27
2.4	Consumo de Energia Elétrica .....	29
2.5	Panorama Nacional da Energia Elétrica no Brasil.....	30
2.6	Eficiência Energética no Brasil .....	32
2.6.1	LEI Nº 9.478, DE 6 DE AGOSTO DE 1997 .....	32
2.6.2	LEI Nº 9.991, DE 24 DE JULHO DE 2000.....	33
2.6.3	LEI Nº 10.295, DE 17 DE OUTUBRO DE 2001 E O DECRETO Nº 4.059, DE 19 DE DEZEMBRO DE 2001 .....	33
2.6.4	PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA – PROCEL.....	34
2.6.5	PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM .....	35
2.6.6	PROESCO .....	36
2.7	Eficiência Energética na Iluminação .....	37
2.7.1	Lâmpada Fluorescentes Tubular.....	38
2.7.2	Lâmpada LED Tubular .....	40
2.8	Impactos Ambientais .....	45
2.8.1	Poluição do ar urbano .....	45
2.8.2	Chuva ácida .....	46
2.8.3	Efeito estufa e mudanças climáticas .....	46
2.8.4	Alagamento.....	46
2.8.5	Contaminação radioativa .....	47

2.9	Emissão de Gás Efeito Estufa na Geração Elétrica .....	47
<b>3</b>	<b>ILUMINAÇÃO DE INTERIORES .....</b>	<b>50</b>
3.1	Características da Iluminação .....	50
3.2	Normas de Iluminância.....	52
<b>4</b>	<b>PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS.....</b>	<b>54</b>
4.1	Simulação com o Dialux .....	54
4.2	Medições com o Luxímetro .....	55
4.3	Cálculo de gastos e <i>Payback</i> .....	56
4.3.1	Estrutura tarifária.....	59
4.4	Cálculo da Pegada de Carbono.....	60
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>62</b>
5.1	Simulação com o Dialux Evo .....	66
5.1.1	(Caso 1) Situação Atual.....	67
5.1.2	(Caso 2) Proposta Fluorescente: Adequação da Iluminância .....	71
5.1.3	(Caso 3) Proposta LED: Utilizando a equivalência.....	73
5.1.4	(Caso 4) Proposta LED: Adequação da Iluminância.....	75
5.2	Cálculo de Gasto e <i>Payback</i> .....	77
5.2.1	Situação atual (Caso 1).....	77
5.2.2	Proposta fluorescente (Caso 2) e propostas LED (Casos 3 e 4).....	77
5.3	Cálculo da Pegada de Carbono .....	82
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>83</b>
6.1	Propostas de Trabalhos Futuros.....	84
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>85</b>
	<b>APÊNDICE A .....</b>	<b>89</b>

# 1 INTRODUÇÃO

A muito tempo, o homem descobriu a possibilidade de se transformar a energia, possibilitando a utilização deste recurso em atividades que agregassem valor. Com o tempo, técnicas de transformação foram sendo aperfeiçoadas tornando o homem moderno altamente dependente da energia tanto na indústria, para a produção de bens, como no comércio e nas nossas casas. A energia é a matéria prima para se obter um resultado final, que pode ser material, como um produto, ou ainda abstrato, como conforto térmico [1].

A energia está presente em todas as áreas e atividades humanas, inclusive a sobrevivência [2]. Desde muito tempo atrás, com a descoberta do fogo, considerado a primeira fonte de luz e calor artificial criada pelo homem, já se utiliza a transformação da energia para atividades vitais [3]. Assim como nos tempos atuais, a energia é um bem básico e necessário à integração do ser humano no desenvolvimento, isso porque ela possibilita uma variedade de alternativas para sua utilização, seja no coletivo, em comunidade, ou até mesmo no âmbito individual [2].

No processo de transformação da energia, destaca-se um outro tipo, a energia elétrica. Hoje, ela é considerada um requisito básico de cidadania e um indivíduo que não a possui fica marginalizado no âmbito do desenvolvimento social [4]. De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU), apesar de todos os avanços tecnológicos, dados de 2015 mostram que cerca de 1,5 bilhão de pessoas não têm acesso à eletricidade ao redor do mundo [5]. No Brasil, dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), em 2012 o número de lares sem energia ainda era de 1 milhão [6]. Em pleno século XXI, ainda existe uma distância das condições ideais de sustentabilidade.

Com o avanço da tecnologia a humanidade vem pautando sua existência no uso desenfreado de aparatos eletroeletrônicos dependentes de energia elétrica. Porém, o aumento populacional reflete diretamente no consumo de energia, causando impactos negativos na demanda energética disponibilizada, mesmo para os países desenvolvidos [7]. O aumento da população e da ampla economia mundial exige um significativo aumento da demanda de energia elétrica [8]. Sabe-se que em 1980 o mundo consumia cerca de 5.710TWh. Em 2010 esse número cresceu para 16.819TWh e a expectativa é de quem em 2035 esse valor chegue a expressivos 30.329TWh [7,9,10].

A desestabilização econômica do mundo na década de 1970, mais precisamente em outubro de 1973, causada pelo aumento exacerbado do valor do barril de petróleo, aumentando quase 4 vezes mais, levou a conclusão de que havia uma dependência do petróleo [2,11]. Nesse contexto iniciou-se a busca por alternativas de diminuir esta dependência. Uma consequência importante dessa crise foi a criação da Agência Internacional de Energia (AIE), em 1974, com o objetivo inicial de tratar de questões relacionadas ao petróleo, as quais posteriormente se expandiram para outras fontes de energia [2].

Visto esses padrões de consumo elevados e em constante crescimento, em 1972 na conferência de Estocolmo para o Meio Ambiente Humano, começou-se a se introduzir conceitos de sustentabilidade, sendo popularizados com a Eco-92, na cidade do Rio de Janeiro. A partir daí a ideia de eficiência energética, assim como sua importância, começa a ser introduzida e a ganhar força no cenário mundial. Um exemplo disto foi a criação, pela AIE, dos primeiros regulamentos com restrições ao consumo de energia, apoiados por lei.

Por definição, a Eficiência Energética é uma filosofia que busca a otimização da energia elétrica por meios de orientações e ações, diminuindo os índices globais e específicos de quantidade de energia necessária para a obtenção do mesmo produto [15]. Os projetos de Eficiência Energética ocorrem em virtude da necessidade em se atender a demanda energética aliadas ao combate ao desperdício, resultando em economias e benefícios direto para o consumidor, com ações de uso racional da energia e da modernização de instalações e processos. Além disso, contribui diretamente com o meio ambiente, como na diminuição da emissão de dióxido de carbono na atmosfera [15-17].

O consumo energético proveniente da iluminação, nos dias de hoje, corresponde a cerca de 20% de toda a energia consumida no mundo [12]. A maior parte desta energia vem do uso não residencial, onde se enquadram o uso industrial, comercial, de iluminação pública e principalmente de serviços, como nas universidades [13]. Logo, investir em projetos de eficiência da área de iluminação terá uma resposta positiva na diminuição do consumo e da demanda geral. No Brasil, desde julho de 2016 é proibida a venda de lâmpadas incandescentes, em virtude de sua baixa eficiência contribuindo assim com o elevado consumo de energia elétrica [14]. Por outro lado, fluorescentes compactas e tubulares vêm ganhando mais espaço no mercado de iluminação por terem uma eficiência muito maior. Atualmente, os estudos de viabilidade estão voltados para as lâmpadas de LED, do inglês Light Emitting Diode (Diodo Emissor de Luz), cuja potência é menor, no entanto os preços ainda são mais elevados. Elas já têm entrado no mercado, principalmente no residencial.

O uso de lâmpadas, reatores e luminárias eficientes é o processo mais conhecido e empregado de efficientização, que consiste na troca por equipamentos (retrofit) que proporcionarão o mesmo ou maior índice luminotécnico, com menor gasto de energia elétrica. Uma das principais atividades feitas, para tal, é a substituição das lâmpadas atuais por LED, que têm características benéficas ao meio ambiente e menor potência elétrica. Na última década, com o aprimoramento dos LEDs na área de iluminação, os brasileiros, inclusive profissionais da área, tem dificuldade em perceber as vantagens desta tecnologia e, principalmente, em acreditar que o alto investimento feito ao adquirir este equipamento pode se pagar em pouco tempo [18].

Este trabalho tem como objetivo apresentar a viabilidade econômica e benefícios da substituição de lâmpadas fluorescentes com potência que variam entre 32W e 40W por lâmpadas LED de menor potência, no caso 18W. A Universidade Federal da Paraíba possui em sua instalação uma quantidade expressiva de lâmpadas fluorescentes adotadas para iluminação interna. Elas possuem baixa durabilidade em relação ao LED. Realizou-se a análise do projeto na instituição, o que tornou possível um estudo do consumo de energia elétrica, com o objetivo de diminuir os custos.

Outra análise relevante é o iluminamento dos recintos de trabalho da Universidade. A norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 [19], que regula os valores de iluminância de ambientes interiores, como também a maneira que as medições devem ser executadas, nem sempre é considerada nos projetos de iluminação. Logo, é comum observar valores de iluminância abaixo da norma. Os valores de iluminamento devem ser conferidos, pois uma iluminância abaixo da norma indica que o local não está adequado para certas atividades, e se mesmo assim isto continuar, pode trazer malefícios tanto à saúde dos trabalhadores, quando a qualidade do trabalho será inferior.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivos Gerais**

Desenvolver um projeto para substituição do sistema de iluminação atual das salas do Bloco Administrativo do Centro de Tecnologia (CT) da Universidade Federal da Paraíba por um novo sistema que possa primeiramente estar adequado segundo a norma de iluminação

ABNT NBR ISO/CIE 8995-1, quanto aos valores de iluminância média, assim como visando uma melhor eficiência energética. Para isso, será feita a relação custo benefício dos projetos com lâmpadas fluorescentes tubulares, que são as utilizadas na universidade, assim como com as de tecnologia LED.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

Os objetivos específicos do trabalho são:

- I. Levantamento da situação atual das salas a serem estudadas, abordando a quantidade e tipos de lâmpadas e luminárias. Simulação com o software Dialux Evo para o cálculo da iluminância média e aferição com o instrumento de medição fotônica, o luxímetro, onde também serão mensurados os valores de iluminância. A verificação será feita com base da norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1.
- II. Estudo a respeito das lâmpadas disponível no mercado, tanto fluorescente quanto LED, analisando as características essenciais para o estudo, como por exemplo: Custo, Potência, Fluxo luminoso e Eficiência.
- III. Elaborar três novas propostas de projetos de iluminação, uma utilizando lâmpadas fluorescentes e as outras duas, lâmpadas LED, adequando às normas. Estas propostas serão simuladas no Dialux Evo para se ter conhecimento dos valores alcançados.
- IV. Realizar levantamento das tarifas elétricas do local, do consumo de energia pela iluminação e outras características para realização dos cálculos do custo da implantação dos novos sistemas, assim como do novo consumo energético.
- V. Análise dos resultados e verificação da viabilidade das novas propostas, considerando custo benefício, Payback e impacto ambiental. E estudo da viabilidade da tecnologia LED.

## **1.2 Organização do trabalho**

Para a adequada consecução do estudo, este trabalho foi fundamentado em seis capítulos, de modo a facilitar o entendimento de seu desenvolvimento, etapas e resultados.

O capítulo 1 apresentou uma breve introdução acerca do tema, tendo como objetivo a organização do trabalho.

O capítulo 2 apresenta uma fundamentação teórica acerca do tema central da pesquisa, que é a iluminação eficiente.

No capítulo 3 haverá uma importante análise conceitual acerca de iluminação, abordando algumas das características mais relevantes deste tema.

O capítulo 4 descreve os procedimentos experimentais utilizados na pesquisa, descrevendo em detalhes os passos que serão dados.

O capítulo 5 descreve os dados colhidos e a discussão acerca dos resultados alcançados, havendo o estudo de quatro situações.

O capítulo 6 apresenta as conclusões obtidas neste trabalho, apontando as vantagens, desvantagens e viabilidade da melhor proposta.

## 2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A evolução tecnológica trouxe inúmeros benefícios a humanidade, que vão desde o conforto oferecido por um ar condicionado para regiões quentes ou um aquecedor elétrico para regiões frias, passando pelo entretenimento dos smartphones. Acessibilidade para os deficientes e a contribuição na saúde, como também a possibilidade das grandes obras. Tudo isto depende da energia elétrica. Hoje o homem moderno é completamente dependente dela, se tornando essencial a sobrevivência da humana.

Para se suprir esta demanda energética que já começava a crescer desde o século XX, a fonte de energia predominante no mundo eram as de combustíveis fósseis, petróleo e carvão mineral [7]. Elas contribuíram e muito no desenvolvimento econômico mundial. Entretanto, já a partir do final do século passado a ideia de um desenvolvimento energético sustentável começa a surgir, sendo amplamente defendida e desenvolvida nos dias de hoje.

Em outubro de 1973, com o aumento do preço dos barris de petróleo e a diminuição da produção do mesmo, ocasionada pela OPEP (Organização dos Países Exportadores de Petróleo), instaurou-se uma crise do petróleo [2, 16]. Desde a queda da bolsa de Nova York o mundo não havia presenciado uma crise econômica tão drástica [21]. O preço do barril aumentou de US\$ 2,90 para US\$ 11,65 em apenas 90 dias. Até aqueles dias não havia preocupação mundial com a energia, muito menos políticas públicas que visassem seu uso racional. Nos Estados Unidos, por exemplo, os grandes edifícios do setor comercial consumiam até 100 kWh/m<sup>2</sup> ao mês, ou seja, valores 8 a 10 vezes superiores aos praticados atualmente [2].

Como citado anteriormente, uma consequência importante dessa crise, no ano de 1974, foi a fundação da Agência Internacional de Energia. Inicialmente, tinha o papel de tratar questões relacionadas ao petróleo, mas posteriormente voltou-se para outras fontes de energia. Entre seus objetivos principais, destacam-se as políticas racionais do uso de energia no contexto global, melhoria no abastecimento mundial de energia e o auxílio na integração de políticas ambientais e energéticas.

Deste período turbulento de crise mundial, na década de 1970, surge então a preocupação em relação a eficiência energética. Fontes de energia renovável e projeto de eficiência passam a ganhar a atenção e o investimento das grandes potências da indústria mundial. Contudo, com a estabilização do petróleo, estas políticas passam a diminuir. Os fundos

para financiamento deste tipo de atividade são minimizados de forma considerável. É aí que outro tipo de crise começa a vir à tona, a ambiental.

No final da década de 1980, o relatório “Nosso Futuro Comum” (*Our Common Future*), evidenciou na Comissão Mundial para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (*World Commission on Environment and Development*), a recusa de países em desenvolvimento de tratar questões ambientais. Foi então que em 1992, no Rio de Janeiro, foi estabelecida a Resolução n. 44/228, reconhecendo que os problemas relacionados a poluição são de responsabilidade dos países desenvolvidos, assim como a responsabilidade de combatê-los. Sugere também que os recursos e tecnologias devem ser colocados à disposição destes países para auxiliar neste combate [22].

Diversas outras reuniões foram realizadas, entre elas a de 1997, no Japão, que deu origem ao Protocolo de Quioto, que estabelecia metas de redução de gases do efeito estufa, entre eles o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Nesse contexto, destaca-se a atitude negativa dos Estados Unidos, negando-se a assinar com o argumento de que a implementação do Protocolo poderia comprometer seu crescimento econômico, fortemente baseado na utilização de combustíveis fósseis [22].

Portanto, a eficiência energética nasceu em um contexto de crise econômica, na década de 1970, e se fortaleceu em um contexto de crise ambiental, na década de 1990. Ela vem permanecendo e crescendo nas últimas décadas em razão do sucesso do avanço tecnológico proporcionado pelas ferramentas legais criadas para o combate principalmente dos impactos ambientais [2].

Por definição, a Eficiência Energética é uma filosofia que busca a otimização da energia elétrica por meios de orientações e ações, diminuindo os índices globais e específicos de quantidade de energia necessária para a obtenção do mesmo produto[15]. É uma atividade que procura obter o melhor desempenho na produção de um serviço com o menor gasto de energia [23]. Os projetos de Eficiência Energética ocorrem em virtude da necessidade em se atender a demanda energética aliadas ao combate ao desperdício, resultando em economias e benefícios direto para o consumidor, com ações de uso racional da energia e da modernização de instalações e processos. Além disso, contribui diretamente com o meio ambiente, como na diminuição da emissão de dióxido de carbono na atmosfera [15-17].

Como ações que visam a eficiência energética, pode-se considerar duas direções a se seguir [23]:

- Humana: voltada para a educação do cidadão sobre o consumo racional e consciente, incentivando a mudança de hábitos, atitudes e comportamentos.

- Tecnológica modernização de equipamentos e processos, seja na geração ou no produto final, reduzindo o consumo de forma significativa, sem perder a qualidade na realização da tarefa.

Já é amplamente divulgado várias possibilidades de se realizar a eficiência energética. Podem-se destacar oportunidades de economia de energia elétrica em seu uso final, como por exemplo nos sistemas de iluminação, refrigeração, climatização, motores e em aspectos gerais de fábricas [15].

A escolha da lâmpada, como também da luminária ou refletor, contribui para a economia. A verificação do fator de potência e do fluxo luminoso também têm um destaque especial. Além disso, as boas práticas de consumo racional devem sempre ser consideradas. Quanto a refrigeração e a climatização, ações como a escolha de equipamentos mais eficientes assim como a manutenção constante são práticas importantes. O mesmo ocorre para os motores, onde dimensionar e escolher adequadamente contribuirá para a redução do consumo. Por fim, o cuidado com a instalação elétrica, transformadores e com os materiais de escritórios também devem ser considerados [15].

## 2.1 Diferença Entre Consumo e Demanda

Diferenciar o consumo da demanda é de fundamental importância para o entendimento dos dados que serão mostrados nas próximas seções. Estes dois termos são mal interpretados por muitos, muitas vezes são considerados sinônimos, mas não são. Dois outros conceitos importantes para o entendimento são o de potência e o de energia. De forma simplificada, potência é a capacidade de consumo de um aparelho elétrico, dada em watts (W). Energia é a quantidade de eletricidade utilizada por um aparelho enquanto este fica ligado [15].

O consumo de energia elétrica, por definição, é a energia gasta durante o tempo de utilização. Sua equação fundamental é consumo = potência x tempo. É por essa mesma razão que sua unidade de medida é o W.h [Watt.hora] ou seus múltiplos kWh, MWh etc. Já a demanda é a medida das potências instantâneas solicitadas à concessionária de energia pelo consumidor e integradas em determinado intervalo de tempo, que se chama período de integração, e no Brasil é igual há 15 minutos. Ele varia em relação a outros países entre cinco e 30 minutos.

Para melhor entendimento, considere o exemplo em que uma lâmpada de 100 W foi ligada às 18h, uma segunda às 19h e, finalmente, outra às 20h. Às 21h tudo foi desligado. O

consumo total no período (três horas) foi de 600 Wh ( $1 \text{ h} \times 100 \text{ W} + 1 \text{ h} \times 200 \text{ W} + 1 \text{ h} \times 300 \text{ W}$ ). A demanda foi igual a 300 W (máximo valor exigido), como é mostrado na Figura 2.1

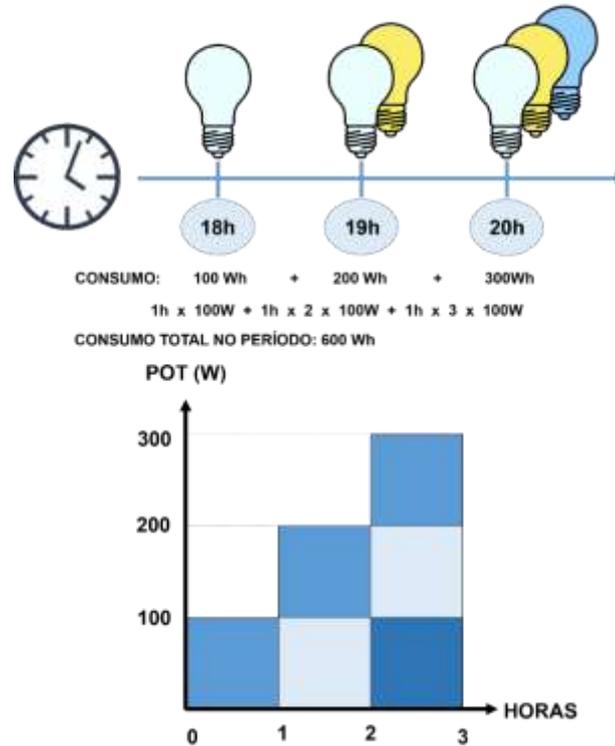


Figura 2.1 - Comparação entre consumo e Demanda [15]

## 2.2 Capacidade Instalada de Geração Elétrica

Segundo o “Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2015 - ano base 2014” [13], produzido pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), em 2012 a capacidade instalada de geração elétrica do mundo era de 5.449,6 GW. A análise desta tabela mostra que a maior fonte de geração de energia elétrica no mundo são as fontes térmicas, totalizando 3.605,70 GW, representando cerca de 67% da totalidade, como mostra o Gráfico 2.1(a). Estas fontes são também chamadas de termelétricas.

O Gráfico 2.1(a) ainda mostra que a segunda maior fonte é a hidrelétrica, correspondendo a 18% do total e vem seguido pelas fontes renováveis e pela nuclear. As fontes renováveis são representadas pelas fontes: geotérmica, eólica, solar, das marés, das ondas, biomassa e resíduos.

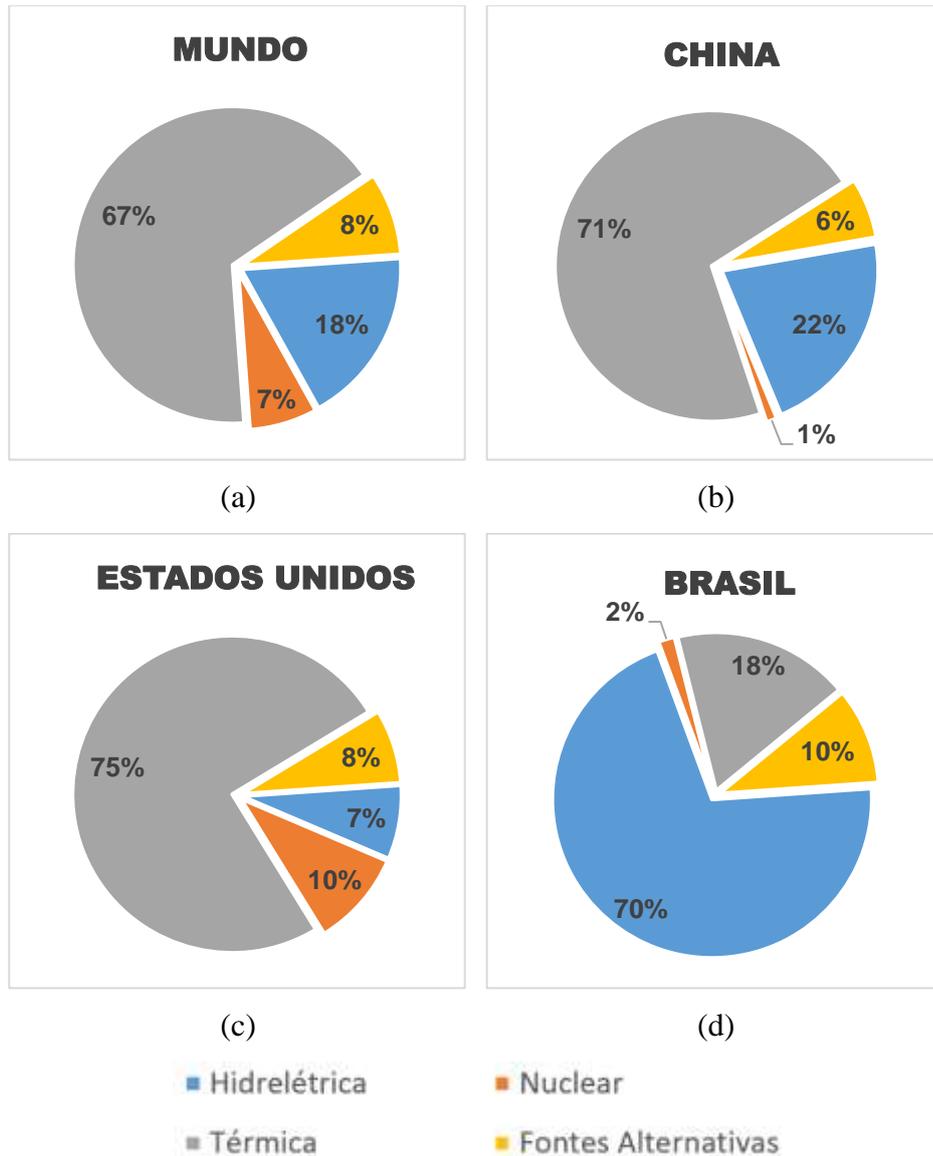


Gráfico 2.1 - Capacidade Instalada por tipos de fontes no mundo [13] - Adaptado

\*Geotérmica, eólica, solar, das marés, das ondas, biomassa e resíduos

Analisando individualmente a capacidade instalada foi feito o ranking dos 10 maiores países, como mostra a Tabela 2.1. Observa-se a China, no topo do ranking, ultrapassando os Estados Unidos, assim como o crescimento da Índia. O Brasil é considerado o décimo maior país em capacidade instalada. Ressalta-se que, juntamente com a Rússia, estes países fazem parte do BRICS, grupo de países cuja economia é considerada emergente. Isto ratifica a relação entre o desenvolvimento econômico e social e a disponibilidade de energia

Tabela 2.1 – Capacidade instalada de geração elétrica: 10 maiores países [13] - Adaptado

<b>Capacidade instalada de geração elétrica no mundo</b>			
<b>10 maiores países em 2012 (GW)</b>			
<b>Pos</b>	<b>País</b>	<b>2012</b>	<b>Participação %</b>
-	Mundo	5550,518	100
1º	China	1174,31	21,16
2º	Estados Unidos	1063,033	19,15
3º	Japão	293,314	5,28
4º	Índia	254,684	4,59
5º	Rússia	234,432	4,22
6º	Alemanha	177,072	3,19
7º	Canadá	135,037	2,43
8º	França	129,326	2,33
9º	Itália	124,212	2,24
10º	Brasil	120,973	2,18
-	Outros	1844,125	33,22

A geração Térmica, composta pela queima do Petróleo, carvão mineral e gás natural, é responsável diretamente pela poluição da atmosfera, assim como o aumento do efeito estufa. China e Estados Unidos são responsáveis por quase 50% de toda geração térmica mundial [13]. Os Gráfico 2.1(b) e (c) mostram que as termelétricas representam 71% da produção chinesa e 75% da americana, respectivamente, comprovando que as iniciativas ambientais não são predominantes nestes países.

É notado que dos países do BRICS comentados anteriormente, o Brasil não se encontra na lista dos 10 maiores. Sua posição é a vigésima nona, representando apenas 0,6 % de toda a participação na produção do mundo. Isso confirma que, mesmo o Brasil sendo considerado um país emergente, ele se destaca no pensamento ambiental perante os outros. O Gráfico 2.1(d) mostra que apenas 18% da capacidade instalada do Brasil é térmica, mostrando um compromisso bem maior que os principais países desenvolvidos.

Com relação à capacidade instalada de geração hidrelétrica, ressalta-se o poderio da China, com uma capacidade de 249GW, representando 25,4% do mundo, ela é considerada o país com o maior potencial hídrico mundial. O segundo país é o Brasil, que possui 70% da sua capacidade gerada pelas hidrelétricas, como mostra o Gráfico 2.1(c). Entretanto, em comparação com os países do mundo, ele representa 8,6% da capacidade mundial, produzindo 84,3GW [13]. Ressalta-se que este tipo de geração é considerado renovável.

Com relação a capacidade instalada das outras fontes renováveis, com valores próximos a 460GW, o destaque é para os países europeus, que correspondem a quase metade

de todo o mundo [13]. A Europa foi uma das pioneiras no investimento em fontes renováveis e a cultura deste continente é investirem neste tipo de energia.

Na análise dos maiores países, observa-se que cinco países da Europa estão nesta lista. A Alemanha, que está na segunda posição, como mostrado na Tabela 2.2, é considerada um dos principais países na tecnologia renovável. O Brasil aparece em nono nesta lista. É importante ressaltar que esses 10 países representam 78 % de toda a capacidade mundial de geração por fontes renováveis, desconsiderando as hidrelétricas.

Tabela 2.2 – Capacidade instalada de fontes alternativas no mundo – 10 maiores [13] - Adaptado

<b>Capacidade instalada de fontes alternativas no mundo</b>		
<b>10 maiores em 2012 (GW)</b>		
	2012	Participação %
<b>Mundo</b>	459,68	100
<b>Estados Unidos</b>	78,88	17,16
<b>Alemanha</b>	72,87	15,85
<b>China</b>	72,45	15,76
<b>Espanha</b>	30,56	6,65
<b>Itália</b>	29,11	6,33
<b>Índia</b>	23,21	5,05
<b>França</b>	14,51	3,16
<b>Reino Unido</b>	13,80	3,00
<b>Brasil</b>	11,82	2,57
<b>Canadá</b>	11,24	2,45
<b>Outros</b>	101,21	22,02

Nota: Fontes alternativas: geotérmica, eólica, solar, das marés, das ondas, biomassa e resíduos

Esta análise, considerando apenas a geração Térmica, Hidrelétrica e as renováveis, foi feita de forma a associar as principais ideias deste trabalho, que é falar da eficiência energética, levantando pontos de questões ambientais.

### 2.3 Geração de Energia Elétrica

O Anuário Estatístico de Energia Elétrica faz também um levantamento quantitativo e qualitativo da geração de energia elétrica. Em 2012 foram produzidos aproximadamente 21.532,00 TWh de energia no mundo e mais de 67% é proveniente da queima de combustíveis fósseis. O Gráfico 2.2 faz este detalhamento, assim como os outros tipos de fontes e suas porcentagens no cenário mundial.

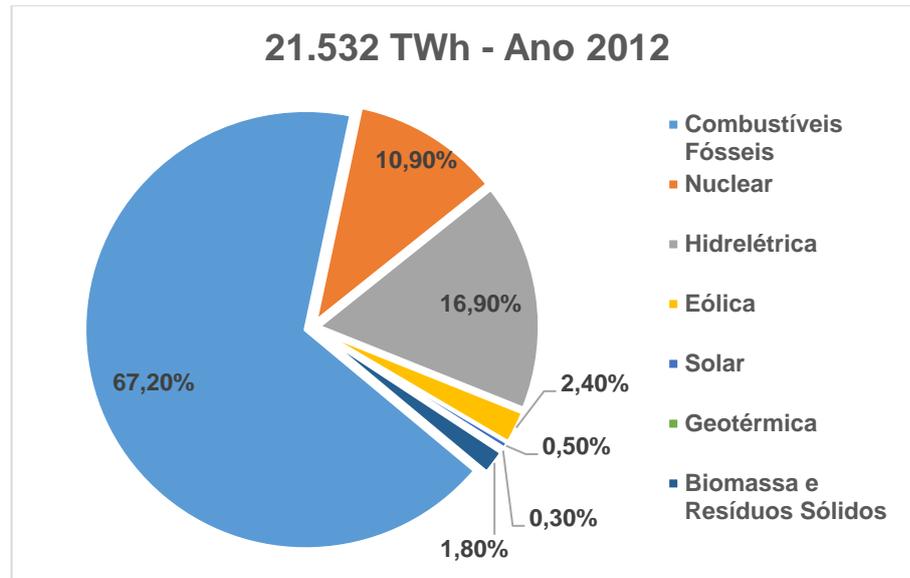


Gráfico 2.2 – Geração de Energia Elétrica por Fontes (2012) [13] - Adaptado

A China e os Estados Unidos somaram juntos 8806,59 TWh de energia produzida, isso equivale a quase 41% de toda energia produzida no mundo. O Brasil produziu cerca de 2,6% da energia mundial, ou seja, aproximadamente 560 TWh em 2012, como mostra o Gráfico 2.3, que exhibe a participação dos dez maiores do mundo.

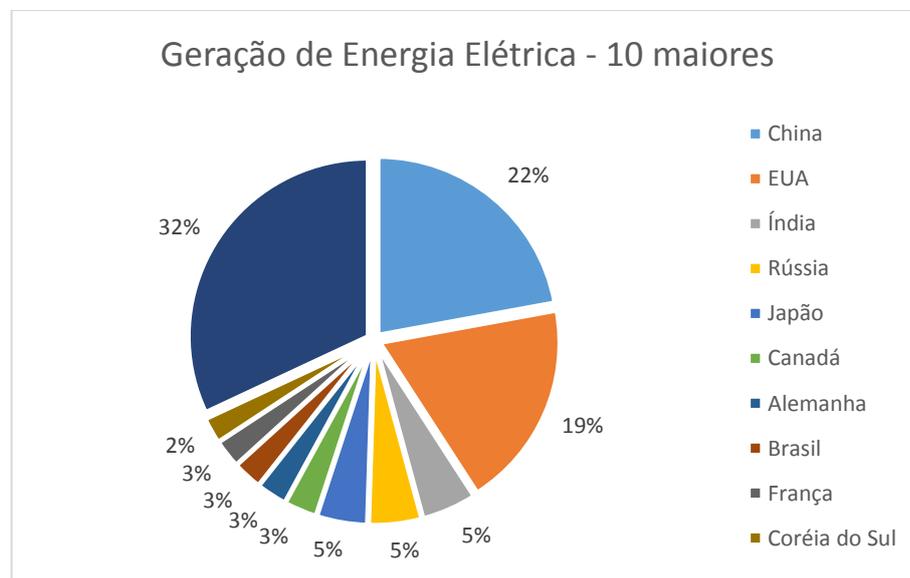


Gráfico 2.3 – Geração de Energia Elétrica – 10 Maiores (2012) [13] – Adaptado

A Tabela 2.3 apresenta uma análise, semelhante a seção anterior, dos valores de geração de energia elétrica e a divisão por fontes das duas principais economias mundial, do Brasil e os valores do mundo.

Tabela 2.3 – Geração de Energia Elétrica por Fontes (2012) [13] - Adaptado

<b>Geração de Energia Elétrica (TWh)</b>					
-	Hidrelétrica	Nuclear	Térmica	Fontes Alternativas*	Total
<b>Mundo</b>	3646,064	2344,8	14497,71	1068,763	21557,33
<b>China</b>	856,35	92,7	3675	232,1202	4856,17
<b>Estados Unidos</b>	276,24	769,3	2775,025	147,165	3967,73
<b>Brasil</b>	411,467	16	75,971	40,346	543,784

Nota: Fontes alternativas: geotérmica, eólica, solar, das marés, das ondas, biomassa e resíduos

## 2.4 Consumo de Energia Elétrica

Após o levantamento quantitativo da produção de energia elétrica, pode-se destacar o consumo de energia elétrica em cada continente, ou seja, a quantidade total de energia que é consumida pela população, em todos os setores, sejam residencial ou industrial, por exemplo.

A Tabela 2.4 exibe que foi consumido em 2012 19710,4TWh de energia em todo o mundo. Este valor é equivalente a quase 92% de toda a energia produzida neste mesmo período. Como já era de se esperar China e Estados Unidos se destacam entre os demais com 4.467,9TWh e 3.832,3TWh, respectivamente.

O Brasil é o sétimo consumidor de energia elétrica mundial com quase 500TWh em 2012. Dados recentes mostram que este valor tem diminuído. Segundo a EPE, em 2016 o país consumiu 460,38TWh.

Tabela 2.4 – Consumo de Energia Elétrica no mundo – 10 maiores (2012) [13] - Adaptado

<b>Consumo de Energia Elétrica no mundo 10 maiores 2012 (TWh)</b>		
	2012	Participação %
<b>Mundo</b>	19.710,40	100
<b>China</b>	4.467,90	22,7
<b>Estados Unidos</b>	3.832,30	19,4
<b>Japão</b>	921,00	4,7
<b>Rússia</b>	889,30	4,5
<b>Índia</b>	864,70	4,4
<b>Alemanha</b>	540,10	2,7
<b>Canadá</b>	524,80	2,7
<b>Brasil</b>	498,40	2,6
<b>Coreia do Sul</b>	482,40	2,4
<b>França</b>	451,10	2,3
<b>Outros</b>	6.253,10	31,7

## 2.5 Panorama Nacional da Energia Elétrica no Brasil

Nesta seção, será descrito com mais detalhes o panorama energético do Brasil. O próprio Anuário Estatístico [13] possui um levantamento mais atualizado do panorama brasileiro. A capacidade instalada em 2014 era de aproximadamente 134.000,00 MW.

No Brasil, permanece o domínio das Usinas hidrelétricas com 62,8% da participação da capacidade instalada. Logo em seguida encontra-se as usinas termelétricas, com 28,2%. As renováveis ainda possuem um valor inexpressível diante do enorme potencial brasileiro, tanto de ventos, mas principalmente de energia solar.

Considerando a geração elétrica em GWh, em 2014 o Brasil produziu 590.479,00 GWh. É possível perceber que a geração hídrica continua sendo o carro chefe nacional, entretanto de 2012 a 2014 houve uma queda, muito disso em virtude do período de seca intensificado nestes anos. A Tabela 2.5 mostra estes resultados.

Tabela 2.5 - Geração Elétrica por Fonte no Brasil (2014) [13] - Adaptado

<b>Geração Elétrica por Fonte no Brasil (GWh)</b>		
	2014	Participação %
<b>Total</b>	590,48	100
<b>Gás Natural</b>	81,075	13,7
<b>Hidráulica</b>	373,44	63,2
<b>Derivados de Petróleo</b>	31,668	5,4
<b>Carvão</b>	18,385	3,1
<b>Nuclear</b>	15,378	2,6
<b>Biomassa</b>	44,733	7,6
<b>Eólica</b>	12,21	2,1
<b>Outras</b>	13,59	2,3

Considerando a participação regional da geração de energia elétrica no país, o Gráfico 2.4 mostra que a geração se concentra no eixo sul-sudeste com quase 60% de toda a produção. O Nordeste possui 16,3% de participação aproximadamente 25% deste valor vem da Bahia. A Paraíba é o segundo menor produtor do Nordeste, com uma participação de 0,58% nacionalmente.

A região Sudeste juntamente com a Centro-Oeste, produziram 251.037,00 MWh no ano de 2014. Em contrapartida, como mostra a Tabela 2.6, o consumo das duas juntas ultrapassa

este valor, chegando a 281.027,00 MWh, ou seja, consomem mais do que geram. Isto é possível devido ao SIN – Sistema Interligado Nacional.

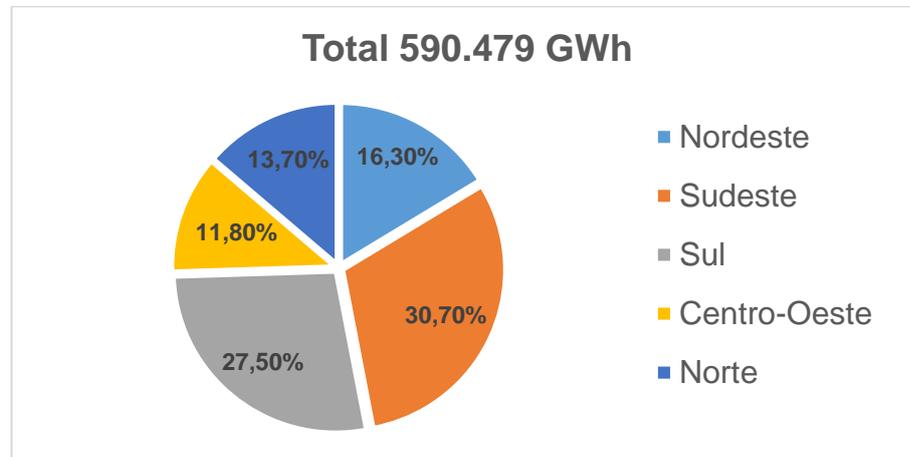


Gráfico 2.4 - Geração de Energia Elétrica - Participação Regional no Brasil em 2014 [13] – Adaptado

O SIN é um sistema de produção e transmissão de energia elétrica hidro-térmico-eólico de grande porte. Ele interliga as regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e parte do Norte. É uma interconexão dos sistemas elétricos e uma integração dos recursos de geração e transmissão para atender ao mercado energético brasileiro, gerenciado pelo ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico). O SIN permite que regiões com menor capacidade de geração recebam energia de outras localidades. A parte da região Norte que não está conectada ao SIN, possui sistemas isolados de geração e transmissão [23].

Tabela 2.6 – Carga de Energia e Consumo (2014) [13] - Adaptado

<b>Carga de Energia e Consumo - Brasil e Subsistemas Elétricos (2014)</b>						
	SIN	Sistemas Isolados	Norte	Nordeste	Sudeste/ Centro-Oeste	Sul
<b>Carga de Energia (MWmédio)</b>	65202	1219	5188	10071	38736	11207
<b>Consumo (GWh)</b>	471663	3769	33787	72031	281027	84819

Ao analisar estes dados estatísticos, percebe-se o elevado consumo de energia elétrica no Brasil e tendo em vista o avanço tecnológico e a facilidade no acesso à energia, como por meio de programas sociais, a exemplo do Programa Luz Para Todos, que até 2018 tem a meta de levar energia elétrica a 228 mil famílias do meio rural [24], o consumo tende a aumentar.

Para combater este aumento, projetos de eficiência energética estão sendo feitos, nos vários setores do Brasil. Dados atuais da EPE, não documentados em relatórios, mostram que

até 2014 o consumo estava em crescente, mas que de 2014 a 2016, houve uma queda de quase 3,6% do total consumido no ano. O Brasil tem incentivado as iniciativas eficientes no uso e na produção de energia.

## **2.6 Eficiência Energética no Brasil**

Em 2001, uma grave crise de abastecimento hídrico assolou o Brasil, e como a maior parte da geração elétrica brasileira é por meio das hidrelétricas, a geração de energia foi comprometida, trazendo à tona a conhecida “Crise do Apagão”, onde cortes obrigatórios de energia foram realizados, para contornar a falta de planejamento e investimentos na geração.

O Brasil, desde 1985, tem apoiado as iniciativas de melhorias no uso final da energia desde a criação do Programa de Conservação de Energia Elétrica [25]. A seguir, serão apresentadas algumas dessas iniciativas.

### **2.6.1 LEI N° 9.478, DE 6 DE AGOSTO DE 1997**

A Lei n° 9.478 dispõe sobre a realização de investimentos em pesquisa e desenvolvimento e em eficiência energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica. Esta Lei determina que pelo menos 0,5% do montante da Receita Operacional Líquida – ROL – destas empresas deverão ser aplicados em programas de eficiência energética. Também determina percentuais mínimos para investimento em P&D – Pesquisa e Desenvolvimento – no setor elétrico. Esta Lei contempla empresas de Geração, Transmissão e Distribuição de energia elétrica. Estes investimentos são feitos por meio de ações das próprias empresas, sejam em áreas urbanas, mas principalmente em rurais, assim como por meio do Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – FNDCT. O principal objetivo desta lei é divulgar à sociedade a importância e a viabilidade de ações que combatem o desperdício de energia.

### **2.6.2 LEI N° 9.991, DE 24 DE JULHO DE 2000**

A Lei nº 9.991 Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo. Esta Lei busca a preservação do interesse nacional promovendo o desenvolvimento e valorizando os recursos energéticos do país. Visa também proteger o meio ambiente e promover a conservação de energia, identificar as soluções mais adequadas para o suprimento de energia elétrica nas diversas regiões do País e utilizar fontes alternativas de energia, mediante o aproveitamento econômico dos insumos disponíveis e das tecnologias aplicáveis. Assim como fomentar a pesquisa e o desenvolvimento relacionados à energia renovável e mitigar as emissões de gases causadores de efeito estufa e de poluentes nos setores de energia.

Fica criado o Conselho Nacional de Política Energética - CNPE, vinculado à Presidência da República e presidido pelo Ministro de Estado de Minas e Energia, com a atribuição de propor ao Presidente da República políticas nacionais e medidas específicas destinadas a promover o aproveitamento racional dos recursos energéticos do País assim como sugerir a adoção de medidas necessárias para garantir o atendimento à demanda nacional de energia elétrica, considerando o planejamento de longo, médio e curto prazos.

### **2.6.3 LEI N° 10.295, DE 17 DE OUTUBRO DE 2001 E O DECRETO N° 4.059, DE 19 DE DEZEMBRO DE 2001**

A Lei nº 9.991 dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e outras providências. Conhecida como a “Lei da Eficiência Energética”, visa a alocação eficiente de recursos energéticos e a preservação do meio ambiente, assim como estabelece limites máximos de consumo específico de energia ou níveis mínimos de eficiência energética de aparelhos consumidores de energia. Os fabricantes e importadores de aparelhos consumidores são obrigados a adotar as medidas necessárias para estar dentro dos valores máximos e mínimos exigidos. Além disso, o poder executivo desenvolverá iniciativas de eficiência em edificações construídas no País.

O processo de definição dos parâmetros necessários para a regulamentação dos equipamentos se fundamenta em metodologias e regulamentos específicos, estudos de impacto

e priorização, critérios de avaliação de conformidade, e conta com laboratórios credenciados para ensaios e testes do Programa Brasileiro de Etiquetagem, do Selo Procel Eletrobras e do Selo Conpet. Logo, a Lei de Eficiência Energética é um dos principais componentes do marco legal da política de eficiência energética no Brasil, constituindo-se num instrumento eficaz e efetivo de política pública. Por outro lado, a sua implementação demanda, por parte do poder executivo, um importante esforço para a elaboração das regulamentações específicas e dos programas de metas, bem como de planos para a fiscalização e estudos de impacto para o acompanhamento sistemático de todo o processo [26].

#### **2.6.4 PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA – PROCEL**

Criado em 1985, o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) tem desenvolvido atividades e projetos que visam a conservação da energia e o combate ao desperdício, com o uso racional da eletricidade. Para alcançar estes objetivos, são consideradas duas vertentes: a primeira está relacionada à mudança de hábitos, a outra ao aumento de eficiência nos sistemas elétricos em geral. O PROCEL, coordenado pelo Ministério de Minas e Energia, com sua secretaria mantida pelas Centrais Elétricas Brasileiras S.A (ELETROBRAS), tem realizado trabalhos educativos que promovem o desenvolvimento de tecnologias atuando na participação de leis. As principais áreas de atuação do PROCEL são:

- Setor residencial.
- Setor comercial e de serviços.
- Setor industrial.
- Edificações.
- Serviços públicos, na iluminação pública, em prédios públicos, no saneamento e em gestão energética municipal.
- Área educacional, por meio de capacitação de educadores e do Procel nas escolas. Atua no ensino básico (infantil, fundamental e médio), com foco nas mudanças de hábitos, e nas escolas técnicas e universidades, com foco na eficiência energética.
- Etiquetagem de equipamento eficientes, por meio do Selo Procel.
- Prêmio Procel para projetos e ações de combate ao desperdício e uso racional da eletricidade.

O Selo Procel de Economia de Energia, ou simplesmente Selo Procel, tem como finalidade ser uma ferramenta simples e eficaz que permite ao consumidor conhecer, entre os equipamentos e eletrodomésticos à disposição no mercado, os mais eficientes e que consomem menos energia. Foi instituído por Decreto Presidencial em 8 de dezembro de 1993. A Figura 2.2 exibe o selo.



Figura 2.2 – Selo Procel de Economia de Energia [28]

Um dos programas do Procel é o Programa de Eficiência Energética em Prédios Públicos (Procel EPP), que foi instituído em 1997 pela ELETROBRÁS / PROCEL a fim de promover a eficiência energética nos prédios públicos nos níveis federal, estadual e municipal. Este programa busca implementar medidas de eficiência energética e a difusão da informação junto aos agentes envolvidos com a administração pública [28]. Para tanto, os prédios públicos devem promover:

- A economia de energia;
- A melhoria na qualidade nos sistemas de iluminação, refrigeração, forças-motrizes e demais sistemas relevantes que visem à redução dos gastos com energia elétrica;
- A atualização tecnológica em laboratórios de pesquisa voltados para este segmento.

### **2.6.5 PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM**

O Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), coordenado pelo Inmetro, visa auxiliar os consumidores com informações sobre consumo de energia de equipamentos elétricos. Assim, de maneira simples, é possível classificar os equipamentos quanto a sua eficiência energética, possibilitando assim uma economia nos custos da energia. Ele também estimula a competitividade da indústria, que deverá fabricar produtos cada vez mais eficientes. A forma

que o PBE atua é por meio de etiquetas informativas, como mostrada na Figura 2.3, a fim de alertar o consumidor quanto a eficiência. Os produtos são ensaiados em laboratórios e recebem etiquetas com faixas coloridas que os diferenciam. No caso da eficiência energética, a classificação vai da mais eficiente (A) à menos eficiente (de C até G, dependendo do produto) [27].



Figura 2.3 – Etiqueta do Programa Brasileiro de Etiquetagem [27]

O PBE, que se iniciou em 1984, é muito importante porque o conteúdo das etiquetas ajuda a equilibrar a relação de consumo, diminuindo a assimetria de informação existente entre quem compra e quem vende. Afinal, os consumidores geralmente não têm conhecimento especializado sobre os produtos que adquirem e muitas vezes têm dificuldade de identificar aqueles que são os mais econômicos. No caso específico dos programas de etiquetagem com foco na classificação de eficiência energética, sua importância está ligada às metas brasileiras de economia de energia.

## 2.6.6 PROESCO

Em 19 de maio de 2006, o BNDES aprovou o PROESCO, programa destinado a financiar projetos de eficiência energética. Este programa tem por objetivo apoiar de eficiência energética. Os beneficiários deste programa são as Empresas de Serviços de Conservação de

Energia – ESCOs e os usuários finais de energia. Os principais alvo das ações são nas seguintes áreas: Iluminação, motores, otimização de processos, ar comprimido bombeamento, ar condicionado e ventilação, refrigeração e resfriamento, produção e distribuição de vapor, aquecimento, automação e controle, distribuição de energia e gerenciamento energético.

## **2.7 Eficiência Energética na Iluminação**

Para contribuir com a eficiência energética por meio da iluminação, existem várias práticas possíveis e de fácil execução. São exemplo as seguintes boas práticas de consumo:

- Verifique a possibilidade de instalação de sensores de presença em ambientes como halls, banheiros, corredores, almoxarifados etc.
- Analise a possibilidade de instalação de interruptores temporizados (timer) para controle da iluminação externa, letreiros, vitrines e luminosos.
- Utilize a quantidade de iluminância (Lux) necessária para cada tipo de ambiente de trabalho
- Setorização: adote interruptores independentes. Eles tornam possível o desligamento de lâmpadas em alguns locais, mantendo outros iluminados.
- Desligue as lâmpadas ao ausentar-se da sala ou local de trabalho.
- O uso de cores claras nas paredes e tetos permite reduzir a quantidade de lâmpadas.
- Estude a viabilidade de substituir as lâmpadas pelas fluorescentes ou LED, que são mais econômicas.
- Limpe as lâmpadas e luminárias periodicamente.
- Substitua reatores magnéticos por eletrônicos com alto fator de potência (maior ou igual a 0,92).
- O simples rebaixamento da altura das luminárias melhora a iluminação.
- Use luminárias espelhadas para aumentar a eficiência da iluminação.

Um dos métodos mais utilizados nos recintos, em favor da eficiência energética na iluminação é o chamado Retrofit, que é a substituição do sistema existente. Um tipo de retrofit muito realizado recentemente era a troca de incandescentes por fluorescentes compactas. São medidas de Retrofit: alterar a quantidade e a disposição das luminárias; substituir o tipo de lâmpada e reator; substituir os projetores ou luminárias. Atualmente, dois tipos de lâmpadas são considerados para a substituição visando economia, principalmente quando se fala nos setores

industriais, comerciais ou de serviços: São as lâmpadas fluorescentes tubulares, mais eficientes, e as lâmpadas LEDs. A seguir, uma breve descrição destes dois tipos de lâmpadas

### 2.7.1 Lâmpada Fluorescentes Tubular

A lâmpada fluorescente, que pode ser do tipo tubular ou compacta, é o tipo mais utilizado para economia na iluminação. Ela substitui as obsoletas incandescentes e são consideradas eficientes e duráveis. Diferentemente das compactas, as tubulares não possuem reator incorporado. Elas necessitam de um reator externo para garantir o funcionamento [1]. Comercialmente estão disponíveis em bulbos de vidro tubulares, designados por uma letra T, de tubular, seguida de um número que indica o seu diâmetro máximo em oitavos de polegada. Por exemplo, T12 significa um bulbo tubular com diâmetro de 12/8 polegadas. Os outros tipos são T10, T8 e a mais atual e eficiente, a T5.

A lâmpada fluorescente é do tipo de descarga de vapor de mercúrio em baixa pressão. A passagem da corrente elétrica gera uma radiação ultravioleta. Em seguida, o pó fluorescente que reveste a superfície interna do tubo converte essa radiação em luz visível. A maioria delas é alimentada por corrente alternada na frequência de 60Hz ou 50Hz. A Figura 2.4 representa um modelo de uma lâmpada fluorescente em funcionamento. Possuem em média, eficiência energética entre 65 lm/W e 104 lm/W, com IRC de 85% e vida mediana de 7500 horas para T8 e 16000 para T5 [15].

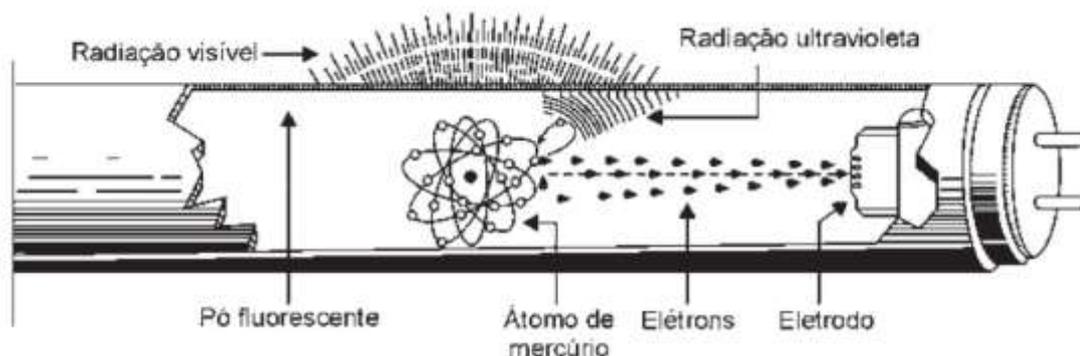


Figura 2.4 – Representação do funcionamento da lâmpada fluorescente tubular[4]

De forma conjunta com a lâmpada, é utilizado um reator tanto para sua ignição, quanto para limitar a corrente elétrica no valor nominal de operação. Existem três tipos de reatores, que serão descritos a seguir.

O eletromagnético com preaquecimento, pouco utilizado na atualidade, são simples indutores que operam juntamente com um dispositivo de chaveamento, que pode ser mecânico ou térmico (starter). Este preaquecimento dos filamentos serve para reduzir a capacidade de isolar a tensão (rigidez dielétrica) da coluna gasosa que há entre os eletrodos, com isso a tensão necessária para a ignição se torna menor, sendo compatível com a fornecida pelas concessionárias.

Os reatores de partida rápida não necessitam do starter, pois eles utilizam um transformador cujos enrolamentos são acoplados magneticamente com um indutor para realizar o aquecimento. Assim é possível reduzir a tensão de ignição.

O Reator eletrônico, mais eficiente e recomendado para utilização, converte a tensão da rede (50Hz ou 60 Hz), em uma tensão de frequência superior a 18.000Hz. Ele possui um conversor CA/CC, que transforma a tensão alternada da rede em contínua, como também um inversor que converte esta tensão gerada em uma tensão CA de alta frequência. Além disso, possui circuitos que realizam a ignição e a estabilização da corrente na lâmpada.

As lâmpadas fluorescentes representaram um grande avanço na eficiência energética, principalmente quando relacionado com as incandescentes. Entretanto, existe uma enorme desvantagem que é referente às questões ambientais. Existem pelo menos doze elementos que são utilizados em lâmpadas que podem originar impactos ambientais negativos. Estas substâncias são as seguintes: mercúrio, antimônio, bário, chumbo, cádmio, índio, sódio, estrôncio, tálio, vanádio, ítrio e elementos de terras raras ETR). O mercúrio é o que possui maior relevância quantitativa [32].

O mercúrio é o que apresenta o maior potencial de perigo, pois em condições ambientes se encontra em um estado de alta volatilidade. É considerado por fabricantes de lâmpadas e pelo ELC (European Lighting Companies Federation) como a única substância de relevância ecológica representando altos riscos ambientais. São utilizados cerca de dez toneladas por ano de mercúrio para produzir esses tipos de lâmpadas. As fluorescentes tubulares de 15 a 110w possuem em média de 0,008 a 0,025g de mercúrio [32].

Ao final da vida útil, essas lâmpadas são na maioria das vezes descartadas em aterros sanitários, contaminando o solo, e posteriormente o curso dos rios, representando um enorme problema ecológico, pois a concentração de mercúrio aumenta nos seres vivos, no processo da cadeia alimentar. A via respiratória é a principal via de absorção nos seres humanos. A toxicidade se manifesta principalmente nas células nervosas, originando tremores e comportamento anormal introvertido [32].

## 2.7.2 Lâmpada LED Tubular

O avanço tecnológico do segmento de iluminação dos últimos anos apresentou ao mundo o LED (*Light Emitting Diode*), ou Diodo Emissor de Luz. São componentes semicondutores que convertem a energia elétrica em luz visível, propondo vantagens que vão desde a redução da conta de energia a benefícios ambientais.

Os diodos emissores de luz surgiram na década de 60, criados pelo engenheiro da General Electric Nick Holoniak Jr. Como os diodos tradicionais, o LED permite a passagem da corrente elétrica em apenas um sentido, sendo assim polarizado e emitindo luz visível.

Os primeiros LEDs emitiam apenas luz vermelha, verde ou amarela. Mas foi a partir da década de 90 que surge o primeiro diodo emissor de luz azul, criado pelos ganhadores do Prêmio Nobel de Física Isamu Akasaki, Hiroshi Amano e Shuji Nakamura. Assim, com LEDs nas cores verde, vermelho e azul foi possível a criação da luz branca.

O diodo é um material semicondutor, que é a base de qualquer dispositivo eletrônico. Sua condutividade é controlada por meio de um processo conhecido como dopagem eletrônica, em que impurezas químicas elementares (índio ou fósforo) são adicionadas ao semicondutor com a finalidade de dotá-lo de propriedades de condução controlada [11].

O LED é formado pela junção de dois materiais semicondutores diferentes, um tipo P que contém majoritariamente lacunas, que recebem este nome pois representa a falta de elétrons (carga positiva), e um tipo N, que contém essencialmente cargas negativas, ou seja, excesso de elétrons. Por isso, o LED é conhecido como uma junção P-N.

A união destes dois semicondutores faz com que os elétrons próximos da área da junção se difundirem partindo do cátodo (N) para o ânodo (P) e as lacunas no sentido de P para N. Na recombinação de lacunas e elétrons, forma-se uma região chamada de zona de depleção, onde não há portadores de cargas. Esta recombinação gera a emissão de energia luminosa, como é mostrado na Figura 2.5.

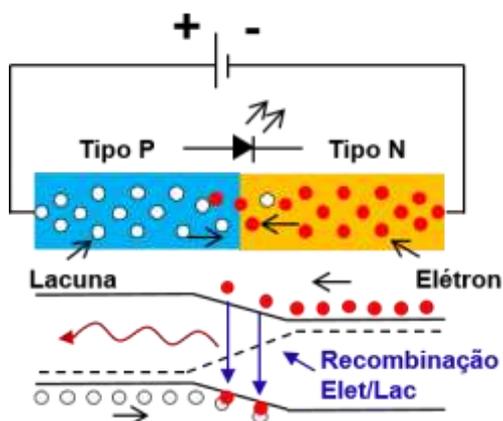


Figura 2.5 – Funcionamento do LED [33] – Adaptado

A cor emitida pelo LED é função da composição dos semicondutores. A cor vermelha é associada ao composto Arsenieto de gálio e alumínio. A verde ao Fosfato de gálio. Já o LED azul é composto por Nitreto de gálio. Para a obtenção de luz na cor branca existem 3 métodos [25]:

- 1º - Misturar diretamente luzes de três fontes monocromáticas, vermelhas, verdes e azuis para reproduzir uma fonte de luz branca através da combinação das três cores no olho humano;
- 2º - Usar um LED ultravioleta para excitar uma combinação de fósforos (material depositado próximo ao material semicondutor) vermelhos, verdes e azuis.
- 3º - Utilizar um LED azul para excitar um ou mais fósforos emissores de luz visível

As Lâmpadas LED têm se tornado populares devido sua elevada eficiência energética e seu alto tempo de vida útil, superando as lâmpadas fluorescentes. Já existem no mercado diversos modelos disponíveis. São exemplos as LED compactas, com base E-27 e as tubulares, como é representada na Figura 2.6.



Figura 2.6 – Modelos de lâmpadas fluorescente – [47] – Adaptado

As Lâmpadas LED são conceituadas como uma fonte de iluminação artificial limpa, pois não possui mercúrio nem outros metais em sua composição, diferente do que ocorre com as fluorescentes. Por isso, não precisam de nenhum tipo de tratamento antes de sua reciclagem. Ela é composta por 98% de material reciclável, podendo ser descartada com vidros comum.

Atualmente, a maioria dos recintos como escritórios, escolas e hospitais, utilizam em sua iluminação interna as lâmpadas fluorescentes. As lâmpadas LED destacam-se por diversas características. A seguir, elas serão descritas.

- **Índice de Reprodução de Cores (IRC):** O IRC é um índice utilizado para mensurar a qualidade de reprodução de cores de um objeto sob a incidência de uma fonte de luz artificial, comparada a uma situação determinada por um estudo que seria de aproximadamente um dia claro de verão por volta do meio-dia. A Figura 2.7 mostra como a lâmpada é classificada quanto ao IRC.

ÍNDICE DE REPRODUÇÃO DE CORES			
Excelente	Nível 1	1a - Ra 90 a 100	Testes de cor, floricultura, escritórios, residências, lojas
Muito Bom		1b - Ra 80 a 89	
Bom	Nível 2	2a - Ra 70 a 79	Áreas de circulação, escadas, oficinas, ginásios esportivos
Razoável		2b - Ra 60 a 69	
Regular	Nível 3	Ra 40 a 59	Depósitos, postos de gasolina, pátio de montagem industrial
Insuficiente	Nível 4	Ra 20 a 39	Vias de tráfego, canteiros de obras, estacionamentos

Figura 2.7 – Classificação quanto ao IRC [18] - Adaptada

Conforme pode ser observado na Figura 2.8, cada tipo de lâmpada possui IRC específico e os LEDs atingem um IRC próximo ao ideal, já sendo considerado muito bom.

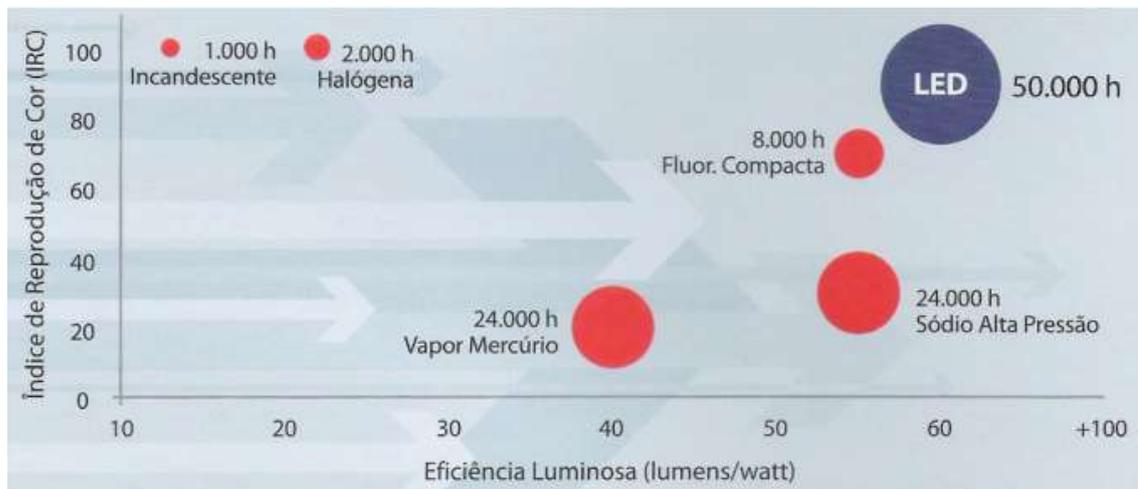


Figura 2.8 – Classificação quanto ao IRC, vida útil e eficiência energética por tipos de lâmpadas [18]

- **Eficiência Luminosa (lm/W):** compreende a relação entre fluxo luminoso e potência (lúmens/watt). Como se observa na Figura 2.8, o LED tem uma eficiência energética muito boa.

- **Direcionamento direto da Luz:** é a direção que a luz tem considerando como ponto inicial a lâmpada e como ponto final o local a ser iluminado. A Figura 2.9 faz um comparativo entre dois tipos de lâmpadas. As luminárias fluorescentes têm como desvantagens perdas devido à baixa refletividade; perdas devido ao sombreamento pela própria lâmpada, já o LED tem um direcionamento mais pontual, sendo melhor para iluminação específica.

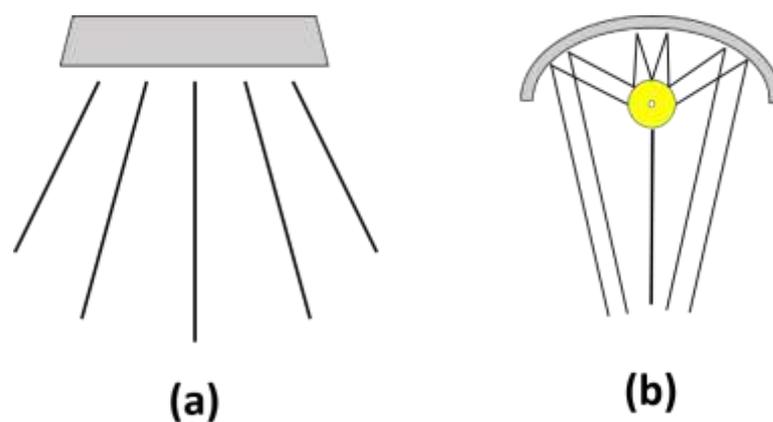


Figura 2.9 – Comparativo sobre o direcionamento da luz (a) Lâmpada Fluorescente, (b) Lâmpada LED [48] –

Adaptado

- **Emissão de Infravermelho (IR) e Ultravioleta (UV):** Os raios infravermelhos e ultravioletas não são visíveis a olho nu. Os IR são percebidos na forma de calor e os UV são responsáveis pelo desbotamento de cores e prejudiciais ao ser humano. Os LEDs não emitem IR nem UV no fecho luminoso.

- **Durabilidade:** Uma das principais vantagens dos LEDs em relação às lâmpadas convencionais é a sua durabilidade. Como consequência da alta durabilidade tem-se uma baixa frequência de manutenção e descarte, gerando ainda mais economia além daquela gerada pela grande eficiência energética. A Tabela 2.7exibe a durabilidade dos principais tipos de lâmpadas.

Tabela 2.7 – Valores de durabilidade das lâmpadas

<b>Lâmpadas</b>	<b>Durabilidade</b>
<b>Incandescentes comuns</b>	750 a 1000 horas
<b>Halógenas</b>	2000 a 5000 horas
<b>Descargas fluorescentes</b>	7500 a 18000 horas
<b>Descarga de alta pressão</b>	10000 a 32000 horas
<b>LEDs</b>	Até mais de 30000 horas

- **Resistência mecânica:** Os LEDs são componentes de estado sólido, não possuem vidro nem filamento, portanto são mais resistentes a impactos e vibrações.

- **Dimerização:** LEDs não variam a temperatura de cor quando dimerizados.

- **Binning:** Na fabricação dos LEDs existe uma variação de desempenho fazendo com que se produzam LEDs com diferentes fluxos luminosos, temperaturas de cor e tensões. Esta diferença é pequena, porém perceptível. Portanto, é necessário que seja feita uma separação minuciosa desses LEDs de acordo com suas características, fazendo com que os mais semelhantes façam parte de um mesmo lote. Essa é uma das desvantagens do LED. A Figura 2.10 exemplifica o efeito do *Binning* do LED.



Figura 2.10 – Efeito do *binning* – [48]

## 2.8 Impactos Ambientais

Com relação ao meio ambiente, o setor energético produz impactos ambientais em toda sua cadeia de desenvolvimento, desde a captura de recursos naturais básicos para seus processos de produção até seus usos finais por diversos tipos de consumidores. Do ponto de vista global, a energia tem participação significativa nos principais problemas ambientais da atualidade, como se discute sucintamente a seguir.

### 2.8.1 Poluição do ar urbano

A poluição é um dos problemas atuais mais perceptíveis. A maior parte da poluição relacionada ao uso de energia é proveniente do transporte e da indústria. A produção de eletricidade a partir de combustíveis fósseis é uma fonte de emissão de óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) e monóxido de carbono (CO), em quantidades que dependem de cada usina e do tipo de combustível utilizado – seja gás natural, carvão, óleo, madeira, energia nuclear etc.) [2].

### **2.8.2 Chuva ácida**

É resultado do efeito da poluição; causada por reações ocorridas na atmosfera com o dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) e os óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), que levam à concentração de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) e ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) na chuva. Esses ácidos têm efeitos bastante negativos na vegetação e nos ecossistemas. A geração de energia elétrica a partir do carvão mineral, por exemplo, é um dos grandes causadores de chuva ácida no mundo [2].

### **2.8.3 Efeito estufa e mudanças climáticas**

São problemas que estão em grande evidência em todo o mundo há algumas décadas e, por isso, possuem grande destaque em discussões sobre os impactos dos padrões energéticos, embora façam parte de um conjunto maior de problemas. Os problemas relacionados ao efeito estufa, e conseqüentemente ao aquecimento global, devem-se à modificação na intensidade da radiação térmica emitida pela superfície da Terra em razão do aumento da concentração dos gases-de efeito estufa (GEE) na atmosfera. O CO<sub>2</sub> é o mais significativo e preocupante entre os gases emitidos por ações humanas causadas pelas quantidades e pela longa duração de seus efeitos na atmosfera. Suas emissões estão ligadas principalmente ao uso de combustíveis fósseis. Outros gases são o CH<sub>4</sub> (cujo impacto unitário é maior que o do CO<sub>2</sub>, mas a produção é muito menor), o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) e os clorofluorcarbonetos. Este tema será abordado mais profundamente na próxima seção [2].

### **2.8.4 Alagamento**

O alagamento ou a perda de área de terras produtivas ou de valor histórico, cultural e biológico estão relacionados principalmente com o desenvolvimento de barragens e reservatórios, os quais, muitas vezes, são criados para a geração de eletricidade. Hidrelétricas inundam áreas de terra e trazem problemas sociais relacionados com reassentamento de populações [2].

### 2.8.5 Contaminação radioativa

Está associada à energia nuclear e à disposição de resíduos dos reatores nucleares. Ela é causada por meio da destinação incorreta ou por meio de vazamento de resíduos radioativos. Este lixo gerado, necessita de acompanhamento constante e além disso, ele permanece ativo durante milhares de anos [2].

## 2.9 Emissão de Gás Efeito Estufa na Geração Elétrica

A redução das emissões de gases do efeito estufa está diretamente associada a uma análise da situação energética, pois aproximadamente 70% destas emissões está relacionada com o setor energético. Destes, 38% é proveniente do setor elétrico [34]. É possível analisar quantitativamente a emissão de GEE em relação à geração de eletricidade por meio da quantidade de Dióxido de Carbono Equivalente ( $\text{CO}_{2\text{eq}}$ ).

Dióxido de carbono equivalente é uma unidade métrica que converte o potencial de aquecimento global de gases que provocam o efeito estufa, (chamados de GEE) em termos equivalentes a toneladas de  $\text{CO}_2$  [35]. Os GEE não influenciam da mesma maneira o aquecimento do sistema climático, um dos motivos é que possuem tempos de permanência na atmosfera diferentes. Sendo assim, para que exista uma comparação entre as emissões de diversos GEE, suas emissões devem ser contabilizadas em uma unidade comum:  $\text{tCO}_{2\text{eq}}$  (toneladas de dióxido de carbono equivalente) e suas variações (quilogramas ou gramas de  $\text{CO}_2$ ) [36].

O  $\text{CO}_2$  foi escolhido como gás de referência devido ao fato de ser a substância cuja emissão é afetada pelas emissões antrópicas que mais contribui para o aquecimento global bem como por ser a mais emitida dentre os GEE. Essa unidade mede a massa de  $\text{CO}_2$  que, se fosse emitida, causaria o mesmo impacto no aumento da temperatura global, em um determinado intervalo de tempo, que a emissão de outro GEE [36].

Dados de 2012 classificou o Brasil como o 33º maior emissor de GEE na geração elétrica, com cerca de 47 milhões  $\text{tCO}_{2\text{eq}}$ . A Tabela 2.8 lista os 10 maiores países em emissão de GEE. A emissão de  $\text{CO}_2$  sempre está associada a geração térmica, entretanto, como a maior parte da matriz elétrica brasileira são as hidrelétricas, então elas contribuem muito mais para esta emissão.

Tabela 2.8 – Emissões de Gases Efeito Estufa na Geração Elétrica – 10 maiores (2012) [13]

<b>Emissões de GEE na Geração Elétrica em 2012 - 10 Maiores</b>			
	População (milhões)	Emissões (MtCO <sub>2</sub> eq)	Emissões Per capita (tCO <sub>2</sub> /hab)
<b>Mundo</b>	7.464	14.327	1,9
<b>China</b>	1.351	4.104	3
<b>Estados Unidos</b>	314	2.087	6,6
<b>União Europeia*</b>	506	1.314	2,6
<b>Índia</b>	1.237	1.044	0,8
<b>Rússia</b>	144	932	6,5
<b>Japão</b>	128	566	4,4
<b>Coréia do Sul</b>	50	305	6,1
<b>África do Sul</b>	52	233	4,5
<b>Austrália</b>	28	201	7,1
<b>Arábia Saudita</b>	23	199	8,6
<b>Brasil (33°)</b>	200	47	0,2
<b>Outros</b>	3.430	3.288	1

(28) \* Alemanha, Reino Unido, Polônia, Itália, Espanha, Holanda, República Tcheca, França, Grécia, Romênia, Bulgária, Bélgica, Finlândia, Áustria, Portugal, Dinamarca, Irlanda, Eslováquia, Estônia, Suécia, Eslovênia, Croácia. Lituânia, Chipre, Malta, Letônia, Luxemburgo

Para compreender melhor como se dá a participação das hidrelétricas, como das outras fontes de eletricidade, é necessário entender alguns conceitos. De forma simplificada, os impactos ambientais relacionados aos sistemas de energia são geralmente divididos em [36]:

- Impactos upstream: ocorrem antes da geração de energia, por exemplo, nas etapas de exploração e processamento dos materiais e combustíveis, de fabricação dos componentes, da construção da usina e do transporte entre todas as outras etapas;
- Impactos diretos: gerados pela operação e manutenção da usina; e
- Impactos downstream: ocorrem após a geração da energia, por exemplo, nas etapas de desativação da usina de energia e de gestão dos resíduos.

De maneira geral, a geração por meio de queima de combustíveis fósseis, como carvão, petróleo e gás natural, está principalmente atrelada a fase da operação da usina. Cerca de 80% das emissões, para este tipo de matriz, ocorre nesta etapa. Por outro lado, para as tecnologias renováveis e não fósseis, como as hidrelétricas e eólicas, 90% das emissões ocorrem nas fases upstream e downstream.

Para quantificar a emissão de GEE na geração de energia elétrica, resultando na quantidade de dióxido de carbono equivalente, existe o fator de emissão de CO<sub>2</sub> pelo consumo

de energia elétrica FE. A unidade deste fator é dada em KgCO<sub>2</sub>/KWh, e suas variações (tCO<sub>2</sub>/MWh). O Ministério da Ciência Tecnologia e Inovação (MCTI) disponibiliza estes valores para o cálculo médio de emissão no Brasil [37].

Os fatores de emissão médios de CO<sub>2</sub> para energia elétrica têm como objetivo estimar a quantidade de CO<sub>2</sub> associada a uma geração de energia elétrica determinada. Ele calcula a média das emissões da geração, levando em consideração todas as usinas que estão gerando energia e não somente aquelas que estejam funcionando na margem. Se todos os consumidores de energia elétrica do SIN calculassem as suas emissões multiplicando a energia consumida por esse fator de emissão, o somatório corresponderia às emissões do SIN. Nesse sentido, ele deve ser usado quando o objetivo for quantificar as emissões da energia elétrica que está sendo gerada em determinado momento [37].

A Tabela 2.9, disponibilizada pelo MCTI, dispõe os fatores adotados no ano de 2016, para cada mês, e a média anual utilizada.

Tabela 2.9 – Fator médio de Emissão de GEE – Ano 2016 [37]

<b>Fator Médio Mensal (tCO<sub>2</sub>/MWh) - Ano 2016</b>						
<b>2016</b>	<b>JAN</b>	<b>FEV</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAI</b>	<b>JUN</b>
<b>MÊS</b>	0,0960	0,0815	0,0710	0,0757	0,0701	0,0760
<b>2016</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SET</b>	<b>OUT</b>	<b>NOV</b>	<b>DEZ</b>
<b>MÊS</b>	0,0725	0,0836	0,0897	0,0925	0,1002	0,0714
<b>Fator Médio Anual (tCO<sub>2</sub>/MWh) - Ano 2016</b>						
<b>2016</b>	0,0817					

### 3 ILUMINAÇÃO DE INTERIORES

O conceito mais coerente sobre iluminação é aquele que diz que iluminar é fornecer a quantidade de luz necessária para que atividades sejam desenvolvidas de forma mais eficiente e confortável [11]. Por isso a necessidade de se projetar o sistema luminotécnico de um ambiente, de forma que este seja eficiente, ou seja, cumpra com seu objetivo com o menor gasto de energia possível. É possível observar que existe uma intensa busca em se reduzir a conta de luz, entretanto a qualidade de iluminação tem sido esquecida.

Muitas vezes os sistemas de iluminação de um ambiente encontram-se com valores abaixo dos padrões adotados por normas técnicas. Em geral, a luminosidade de recintos não tem sido suficiente para os locais de trabalho. Outras vezes, disposições erradas de luminárias causam regiões de sombra e ofuscamento no posto de trabalho, comprometendo o desempenho dos funcionários [39].

Nos ambientes industriais, condições favoráveis de iluminação contribuem para um ambiente de trabalho de qualidade e com trabalhadores mais satisfeitos. A qualidade do sistema de iluminação empregado está diretamente relacionada à disponibilidade de luz para o desempenho da tarefa visual [39]. Em contrapartida, falta de iluminação uniforme e de manutenção na iluminação, assim como excesso de brilho ou ofuscamento trazem insatisfação e baixa produtividade.

Para se realizar projetos luminotécnico que satisfaçam as condições necessárias para uma iluminação eficiente, é necessário a compreensão de certos conceitos e características luminosas, assim como o conhecimento das normas técnicas sobre o tema. A seguir, serão apresentadas estas definições.

#### 3.1 Características da Iluminação

##### **Fluxo Luminoso**

Representa a quantidade de luz emitida por uma fonte luminosa em todas as direções. A unidade de medida do fluxo luminoso é o lúmen [40,41].

**Iluminância**

A iluminância corresponde ao fluxo luminoso que incide em uma superfície por unidade de área [ $\text{m}^2$ ]. Também pode-se chamar de iluminamento ou nível de iluminação. Sua unidade de medida é o lux e é medido pelo aparelho denominado luxímetro. Na prática, é a quantidade de luz de um ambiente [40,41].

**Intensidade Luminosa**

É a parcela do fluxo luminoso de uma fonte luminosa, contida em um ângulo sólido, numa dada direção. Sua unidade é a candela (cd). Portanto é o fluxo irradiado na direção de um determinado ponto [40,41].

**Luminância**

É a Intensidade Luminosa que emana, ou seja, é refletida de uma superfície e atinge o observador. Na prática, é o brilho de um objeto que pode ser percebido pelo olho humano. Sua unidade é candela por metro quadrado [ $\text{cd}/\text{m}^2$ ] [40,41].

**Temperatura de Cor**

Expressa a aparência de cor da luz emitida pela fonte de luz. A sua unidade de medida é o Kelvin (K). Quanto mais alta a temperatura de cor, mais clara é a tonalidade de cor da luz. É importante destacar que a cor da luz em nada interfere na Eficiência Energética da lâmpada, não sendo válida a impressão de que quanto mais clara, mais potente é a lâmpada [40,41].

**Ofuscamento**

O ofuscamento é o prejuízo na função visual causado pela presença de uma fonte de luz localizada no campo visual. É um desconforto visual causado pela distribuição inadequada de luz, brilhos e contrastes excessivos, reduzindo a capacidade de diferenciar os objetos. Ele pode ser um ofuscamento direto (visualização direta da lâmpada) ou um ofuscamento indireto (refletido através de superfícies refletoras ou brilhantes) [40,41].

**Refletância**

Representa a relação entre o fluxo luminoso refletido e o fluxo luminoso incidente de uma superfície, e seus valores são em função das cores e dos materiais utilizados. A refletância é dada em porcentagens [40,41].

**Eficiência Luminosa**

É a razão entre o fluxo luminoso e a potência elétrica consumida por uma fonte de luz. É a quantidade de lúmens emitida pela fonte luminosa para o consumo de um watt. Sua unidade é [lúmens/W] [40,41].

### **Vida Útil**

A vida útil de uma fonte luminosa artificial está relacionada com a durabilidade em horas da mesma. Ela deve ser levada em consideração do ponto de vista econômico [40,41].

## **3.2 Normas de Iluminância**

Normas são documentos elaborados por organismos competentes que têm o objetivo de estabelecer um padrão para a produção de um determinado produto, ou para a prestação de um serviço. A utilização de normas técnicas pode ser justificada por diversos fatores. Dentre eles a melhoria contínua do produto ou serviço, propiciada pela contínua avaliação da conformidade ao padrão relacionado. Isso implica em um aumento da confiabilidade e da segurança do produto/serviço, uma vez que o atendimento aos requisitos normativos protege o consumidor de eventuais riscos [38].

A principal norma brasileira referente à iluminância de interiores é a ABNT ISSO/CIE 8995-1 de 2013. Esta norma cancela e substitui a NBR 5413, de 1992, tradicional e utilizada anteriormente para os mesmos fins.

“Esta Norma especifica os requisitos de iluminação para locais de trabalho internos e os requisitos para que as pessoas desempenhem tarefas visuais de maneira eficiente, com conforto e segurança durante todo o período de trabalho.” [42]

Com base nesta norma, uma boa iluminação, além de fornecer uma boa visualização da tarefa, é essencial que as tarefas sejam realizadas com conforto e facilidade. Logo, ela assegura: conforto, desempenho e segurança visual [42].

A fim de alcançar estes resultados, a norma requer que seja dada atenção a todos os parâmetros luminosos, principalmente a distribuição da iluminância, a iluminância, o ofuscamento, direcionamento da luz, aspectos da cor da luz e superfície, cintilação ou efeito estroboscópico, aproveitamento da luz natural e a manutenção do sistema [42].

É conveniente que a iluminação do recinto atenda aos requisitos da norma de maneira que não haja desperdício de energia. Entretanto é importante não haver o comprometimento das características visuais simplesmente para se reduzir o consumo energético [42].

Este trabalho tem suas atenções voltadas para o estudo da iluminância média. A Tabela 3.1 exhibe alguns valores da iluminância mantida, segundo a ABNT 8995-1, para tipos de

ambiente, tarefas ou atividades. A iluminância mantida é o menor valor que a iluminância média pode atingir para estar conforme a norma.

Tabela 3.1 – Valores de iluminância mantida para tipos de ambientes ou atividades [42] - Adaptado

	<b>Tipo de ambiente, tarefa ou atividade</b>	<b>Iluminância mantida (lux)</b>
<b>Áreas gerais da edificação</b>	Saguão de entrada	100
	Áreas de circulação e corredores	100
	Banheiros e toaletes	200
<b>Escritórios</b>	Arquivamento, cópia, circulação etc	300
	Escrever, teclar, ler, processar dados	500
	Desenho técnico	750
	Estações de projeto assistido por computadores	500
	Salas de reunião e conferência	500
	Recepção	300
	Arquivos	200

## 4 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

O objetivo deste trabalho é a proposta de um projeto de eficiência energética de retrofit na iluminação das salas do Bloco Administrativo do Centro de Tecnologia da UFPB, de forma que os valores de iluminância média estejam de acordo com as normas brasileiras. Serão feitos projetos tanto com lâmpada fluorescente, quanto com LED, tendo como objetivo alcançar o *Payback* e a viabilidade para os dois tipos de lâmpadas.

A primeira etapa do estudo foi a simulação com o software Dialux Evo, quanto a iluminância dos recintos. Em seguida foram feitas simulações com o Luxímetro, para se comparar com os resultados do Dialux Evo e verificar a concordância dos mesmos. A terceira etapa consiste nos cálculos de *Payback*, analisando o valor do investimento e os gastos com o consumo de energia. Para finalizar, será feito um cálculo simples da quantidade de GEE emitidos a atmosfera pelo uso da energia.

### 4.1 Simulação com o Dialux

O Dialux é software livre utilizado para projetar, calcular e visualizar a iluminação de maneira profissional, simulando ambientes como quartos, edifícios e até ambientes a céu aberto. Ele é usado como uma ferramenta de planejamento por mais de 600.000 designers de iluminação em todo o mundo e constantemente passa por desenvolvimento, cumprindo os requisitos de design de iluminação moderna e cálculo de iluminação. Com ele, é possível planejar e projetar usando os catálogos de luminárias eletrônicas dos fabricantes mais importantes do mundo.

Uma versão mais atualizada deste software é o Dialux Evo, que apresenta melhoras para o cálculo. Ele permite criar projetos de iluminação eficazes e profissionais de forma simples. Possui dados atualizados dos principais fabricantes do mundo. O Dialux Evo foi a versão escolhida para se fazer a simulação dos ambientes estudados [43].

Com o auxílio do software, foi possível simular quatro situações diferentes, para se verificar os valores da iluminância. A primeira situação, chamada de Caso 1, foi a simulação da situação atual, considerando o número de lâmpadas, tipo e valores conforme identificadas em levantamento realizado para este trabalho. O Caso 2 consistiu em um projeto de lâmpadas

fluorescente de forma que atendesse a norma de iluminância. Os casos 3 e 4 são projetos utilizando lâmpadas LED. O Caso 3 é um projeto feito conforme os valores de equivalência entre LED e fluorescente fornecidos pelos fabricantes. O Caso 4 é um projeto utilizando lâmpadas LED, mas com o intuito de atender a iluminância exigida NBR 8995-1.

## 4.2 Medições com o Luxímetro

A iluminância é medida com um aparelho chamado Luxímetro e sua unidade é o LUX. Um luxímetro consiste em um mini amperímetro ligado a uma célula fotoelétrica. Quando a luz incide sobre ela, uma corrente é formada, carregando positivamente o semicondutor da célula, enquanto a parte metálica do sensor fica carregada negativamente, gerando assim uma diferença de corrente. Essa corrente é lida pelo aparelho e convertida para o valor equivalente em lux (unidade de iluminância) nos luxímetros digitais, enquanto nos analógicos, o mesmo é indicado através de uma escala graduada.

O Luxímetro utilizado para as medições, representado na Figura 4.1 foi o modelo MLM-1011 da Minipa. Ele possui as seguintes características [44]:

- Display: LCD 3 ½ dígitos com leitura máxima de 1999, indicação x10 e x100;
- Sobrefaixa: O dígito “1” é mostrado para as faixas 2000, 20000. OVER é mostrado na faixa 100000;
- Calibrado com o padrão de lâmpada incandescente 2856K;
- Taxa de Medida: 0.2 vezes por segundo (nominal);
- Sensor: Foto diodo de silício;
- Resposta Espectral: Fotópica CIE (Padrão internacional para a resposta a cor da média dos olhos humanos);
- Resolução: 1 lux, 10 lux, 100 lux;
- Coeficiente de Temperatura:  $\pm 0.1\%$  / °C;
- Ambiente de Operação: -10°C a 40°C (32°F a 104°F) com umidade relativa < 70%;
- Dimensões: Instrumento: 230(A) x 72(L) x 30(P)mm. Sensor: 106(A) x 57(L) x 26(P)mm. Comprimento do Cabo: Aprox. 1,5 m;
- Peso: 190g (incluindo bateria).



Figura 4.1 - Luxímetro utilizado para as medições

As medições foram realizadas por volta das 17 horas feitas a uma altura de 0,75m do chão, segunda a norma, e vários pontos foram captados, de forma que pudessem formar uma matriz de pontos e assim se calcular a média. Deve-se ressaltar que, devido a quantidade de móveis no local, o acesso foi dificultado de tal forma que o número de pontos medidos variou entre as salas, não atingindo uma quantidade maior. Logo, houve diferenças na quantidade de pontos aferidos entre a simulação e a medição. Isto não se configurou um problema, pois o objetivo era comparar os resultados e isso foi possível na comparação da posição e valores dos pontos.

### 4.3 Cálculo de gastos e *Payback*

O *Payback* que em português significa “retorno” é uma técnica muito utilizada nas empresas para análise do prazo de retorno do investimento em um projeto. Ele é um cálculo simples do tempo que levará para um investimento se pagar. Em palavras mais técnicas, *Payback* é o tempo de retorno desde o investimento inicial até aquele momento em que os rendimentos acumulados tornam-se iguais ao valor desse investimento [29-30]. A metodologia aplicada foi o *Payback* simples, que não considera o valor do dinheiro no decorrer do tempo, os fluxos de caixa depois do período de *Payback* e o custo de capital da empresa. Não leva em

consideração a taxa de juros, nem a inflação do período. Porém, é possível se obter ótimos resultados no caso estudado.

Os fabricantes dos dois tipos de lâmpadas utilizadas fornecem os dados necessários para este cálculo, como potência, fluxo luminoso, custo unitário das lâmpadas e dos reatores, consumo energético em R\$/kWh, vida útil em horas. Dados secundários podem ser calculados com estes. As lâmpadas fluorescentes consideradas são tubulares de 40W, pois são os padrões de uso da UFPB. As LEDs utilizadas para o estudo são tubulares de 20W. Foi considerado que elas permaneciam acesas 12 horas por dia, durante 260 dias no ano – 5 dias na semana, em um total de 52 semanas por ano.

Baseado no trabalho “ESTUDO COMPARATIVO ENTRE LÂMPADAS FLUORESCENTES TUBULARES T8 E TUBULARES DE LED” [11] e em outras bibliografias, foi possível equacionar o cálculo do *Payback* para os projetos luminotécnico escolhidos. A equação (1) é a base deste cálculo, pois o retorno financeiro acontece quando a soma do investimento mais o gasto com lâmpadas fluorescentes iguala-se ao do LED.

$$I_{flu} + G_{flu} = I_{LED} + G_{LED} \quad (1)$$

Onde,

$I$  → Investimento

$G$  → Gasto

$FLU$  → Lâmpada Fluorescente

$LED$  → Lâmpada LED

O investimento e o gasto são calculados a partir das equações (2) e (3), respectivamente.

$$I = N_0 \cdot C_0 + N_0 \cdot N_1 \cdot C_1 + N_2 \cdot C_2 \quad (2)$$

$$G = E \cdot N_0 \cdot N_1 \cdot t + S \cdot N_0 \cdot N_1 \cdot C_1 \cdot t \quad (3)$$

Onde,

$N_0$  → Número de Luminárias

$N_1$  → Número de Lâmpadas por Luminárias

$N_2$  → Número de Reatores

- $C_0$  → Custo por Luminária [R\$]  
 $C_1$  → Custo por Lâmpada [R\$]  
 $C_2$  → Custo por Reator [R\$]  
 $E$  → Consumo Energético por ano de uma Lâmpada [R\$/ano]  
 $t$  → Tempo [anos]  
 $S$  → Fator de Substituição ou Manutenção das Lâmpadas Considerando a Vida Útil Fornecida pelo Fabricante (Troca por ano)

O consumo de energia e o fator de substituição podem ser calculados pelas equações (4) e (5), respectivamente. A equação (6) é para o cálculo do valor de horas acesas no ano.

$$E = \frac{D \cdot h \cdot P_1 \cdot Te}{1000} \quad (4)$$

Onde,

- $D$  → Quantidade de dias considerados no ano [dias]  
 $h$  → Horas por dia consideradas [horas]  
 $P_1$  → Potência de um conjunto lâmpada+reator [W]  
 $Te$  → Tarifa energética [R\$/KWh]

$$S = \left( \frac{V}{H} \right)^{-1} \quad (5)$$

$$H = h \cdot D \quad (6)$$

Onde,

- $V$  → Vida útil da lâmpada [horas]  
 $H$  → Horas acesas no ano [horas]

Outra equação que será utilizada será a do cálculo do tempo de *payback*. Para isso, deve-se substituir as equações (2) e (3) na equação (1), encontrando-se a equação (7).

$$\begin{aligned}
 & (N_0 \cdot N_1 \cdot C_1 + N_2 \cdot C_2)_{flu} + (E \cdot N_0 \cdot N_1 \cdot t + S \cdot N_0 \cdot N_1 \cdot C_1 \cdot t)_{flu} = \\
 & = (N_0 \cdot N_1 \cdot C_1 + N_2 \cdot C_2)_{LED} + (E \cdot N_0 \cdot N_1 \cdot t + S \cdot N_0 \cdot N_1 \cdot C_1 \cdot t)_{LED}
 \end{aligned} \quad (7)$$

Colocando a variável  $t$  em evidência, encontra-se a equação (8).

$$\begin{aligned}
& (N_0 \cdot N_1 \cdot C_1 + N_2 \cdot C_2)_{flu} + (E \cdot N_0 \cdot N_1 + S \cdot N_0 \cdot N_1 \cdot C_1)_{flu} \cdot t = \\
& = (N_0 \cdot N_1 \cdot C_1 + N_2 \cdot C_2)_{LED} + (E \cdot N_0 \cdot N_1 + S \cdot N_0 \cdot N_1 \cdot C_1)_{LED} \cdot t
\end{aligned} \tag{8}$$

O próximo passo é isolar em um dos lados da equação tudo o que possui a variável  $t$ , e o restante isolar do outro lado da equação, como mostra a equação (9).

$$\begin{aligned}
& (E \cdot N_0 \cdot N_1 + S \cdot N_0 \cdot N_1 \cdot C_1)_{flu} \cdot t - (E \cdot N_0 \cdot N_1 + S \cdot N_0 \cdot N_1 \cdot C_1)_{LED} \cdot t = \\
& = (N_0 \cdot N_1 \cdot C_1 + N_2 \cdot C_2)_{LED} - (N_0 \cdot N_1 \cdot C_1 + N_2 \cdot C_2)_{flu}
\end{aligned} \tag{9}$$

Feito isso, é possível mais uma vez colocar a o tempo em evidência, pois ela é uma grandeza comum tanto as variáveis correspondentes a fluorescente, quanto ao LED. Chega-se então à equação (10).

$$\begin{aligned}
& [(E \cdot N_0 \cdot N_1 + S \cdot N_0 \cdot N_1 \cdot C_1)_{flu} - (E \cdot N_0 \cdot N_1 + S \cdot N_0 \cdot N_1 \cdot C_1)_{LED}] \cdot t = \\
& = (N_0 \cdot N_1 \cdot C_1 + N_2 \cdot C_2)_{LED} - (N_0 \cdot N_1 \cdot C_1 + N_2 \cdot C_2)_{flu}
\end{aligned} \tag{10}$$

Finalizando esta demonstração, é possível isolar a variável  $t$ , que é o tempo de *payback*. Encontra-se este tempo pela relação dos termos dos dois tipos de lâmpadas, como mostra a equação (11).

$$t = \frac{(N_0 \cdot N_1 \cdot C_1 + N_2 \cdot C_2)_{LED} - (N_0 \cdot N_1 \cdot C_1 + N_2 \cdot C_2)_{flu}}{[(E \cdot N_0 \cdot N_1 + S \cdot N_0 \cdot N_1 \cdot C_1)_{flu} - (E \cdot N_0 \cdot N_1 + S \cdot N_0 \cdot N_1 \cdot C_1)_{LED}]} \tag{11}$$

### 4.3.1 Estrutura tarifária

Outra consideração feita para o cálculo do *Payback* foi em relação à estrutura tarifária considerada. Existem dois tipos de consumidores: os de baixa tensão (Grupo B), geralmente com tensões de 127V ou 220V, com valores superiores a 2300V e os de alta tensão (Grupo A). A UFPB se enquadra como consumidor de alta tensão. O Grupo A possui subgrupos, no qual a universidade faz parte do subgrupo A4, pois seu nível de tensão está entre 2,3 e 25kV. Este grupo possui três possíveis estruturas tarifárias: Convencional, Horo-Sazonal Verde e Horo-Sazonal Azul. A UFPB se enquadra na estrutura tarifária horo-sazonal azul.

Essa modalidade tarifária exige um contrato específico com a concessionária, no qual se pactua tanto o valor da demanda pretendida pelo consumidor no horário de ponta (Demanda

Contratada na Ponta) quanto o valor pretendido nas horas fora de ponta (Demanda Contratada fora de Ponta). Logo, a fatura de energia elétrica desses consumidores é composta pela soma de parcelas referentes ao consumo (em ponta e fora de ponta), à demanda (em ponta e fora de ponta) e, caso exista, à ultrapassagem. O horário de ponta é período composto por 3 (três) horas diárias consecutivas definidas pela distribuidora considerando a curva de carga de seu sistema elétrico. Na Paraíba é das 17h30 às 20h29.

Para os cálculos de gastos e *Payback* deste trabalho, será considerado apenas o consumo energético. O gasto com a demanda não será considerado, pois o valor pago por ela é feito com antecedência, por contrato, daí este valor é fixo. O que pode alterar é caso haja a ultrapassagem da demanda, algo que no período de junho/2015 a maio/2016 só aconteceu uma vez. Outra observação é que não será considerado os cálculos para hora ponta, para simplificar os cálculos.

Com base nas contas de energia da Universidade Federal da Paraíba de junho/2015 a maio/2016, disponibilizada pela Prefeitura Universitária, foram retirados os dados a serem utilizados nos cálculos. A tarifa considerada foi de 0,22078 R\$/KWh. A conta do mês de maio obteve uma carga de impostos sobre o consumo de demanda de aproximadamente 29%. Destes, 25% de ICMS, 0,7193% de PIS e 3,3032% de CONFINS. São tributos federais: PIS (Programas de Integração Social) e COFINS (Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social). É tributo estadual o ICMS (Imposto sobre a Circulação de Mercadoria e Serviços).

#### **4.4 Cálculo da Pegada de Carbono**

Será quantificada uma estimativa da quantidade de GEE lançados na atmosfera por meio da chamada Pegada de Carbono. Ela consiste em uma metodologia de contabilidade ambiental que avalia a emissão de Gases de Efeito Estufa a partir de uma atividade ou processo produtivo (medida do impacto das atividades humanas sobre o total das emissões de GEE) correspondendo à quantidade de CO<sub>2eq</sub> liberada na atmosfera, por um determinado período (normalmente anual). A Pegada de carbono é consistente com padrões de contabilidade econômica e ambiental. Desta forma, esta metodologia é o indicador que informa os impactos que a humanidade exerce na atmosfera [35].

Para este cálculo, será utilizado o Fator médio de emissão de GEE do ano de 2016, disponível na Tabela 2.9, que é  $F_e=0,0817 \text{ tCO}_{2eq}/\text{MWh}$ . Será calculado a energia consumida

pelas lâmpadas fluorescentes, no Caso 2, e pelas LEDs, nos casos 3 e 4. A economia de energia encontrada será multiplicada por este fator encontrando-se a quantidade de CO<sub>2eq</sub> que foi evitada de ser lançada por ano.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O Bloco Administrativo do CT da Universidade Federal da Paraíba é o prédio onde centraliza a maior parte das coordenações e departamentos dos cursos de graduação e pós-graduação do Centro de Tecnologia. Em geral, estão alocados Arquitetura e Urbanismo e algumas engenharias. A Figura 5.1 mostra a planta baixa do prédio, cedida pela Prefeitura Universitária. Além das salas administrativas, também é possível observar banheiros, salas de aula, um auditório e salas de manutenção. Na imagem, as salas estão enumeradas para facilitar a identificação neste trabalho.

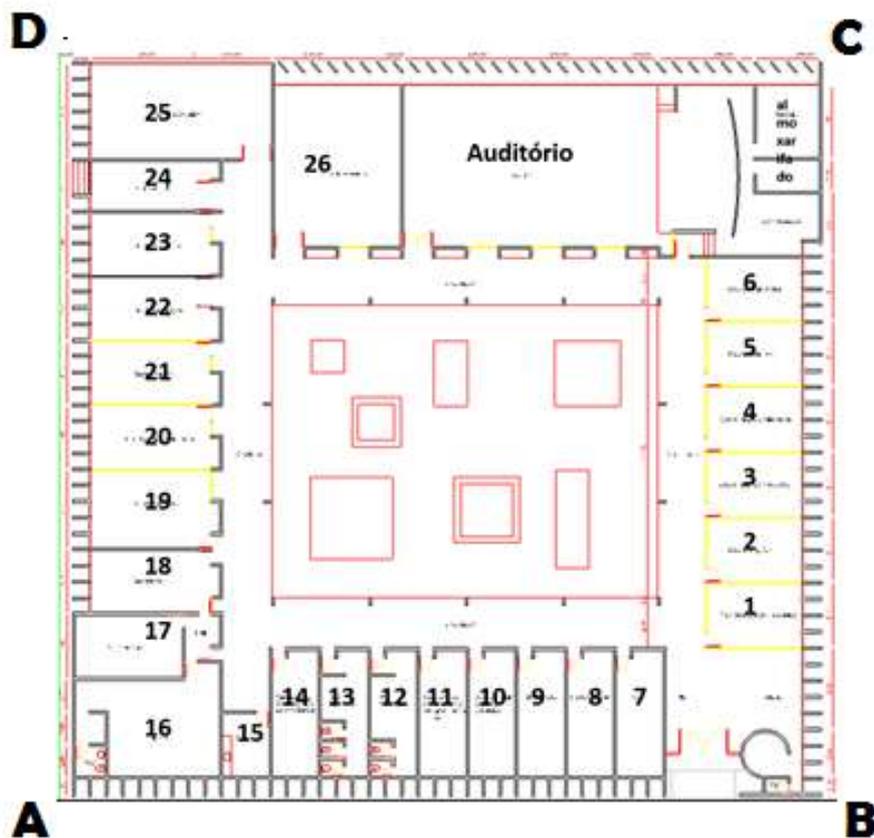


Figura 5.1 – Planta baixa do Bloco Administrativo do CT

Este estudo vai se concentrar nas vinte e seis salas mostradas, pois são as salas mais utilizadas e que já resultam em bons dados. Algumas observações e considerações importantes devem ser feitas, visando o entendimento do que foi feito.

- 1- As salas de 1 a 6 têm dimensões semelhantes, logo será considerado um ensaio no Dialux para as seis.
- 2- As salas de 7 a 11 e a sala 14 têm dimensões semelhantes, logo será considerado um ensaio no Dialux para as seis.
- 3- As salas 12 e 13 são os banheiros masculinos e femininos, respectivamente, logo será considerado um ensaio no Dialux e um ensaio fotométrico para as duas.
- 4- As salas de 18 a 23 têm dimensões semelhantes, logo será considerado um ensaio no Dialux para as seis.
- 5- Foram realizados o ensaio fotométrico em quatro salas diferentes, para se comparar com a simulação do Dialux, referente à situação atual.
- 6- Não serão apresentados ensaios e simulações das outras salas, para não estender o trabalho nem torná-lo repetitivo.
- 7- O cálculo do *Payback* será feito considerando as 26 salas.

Foram utilizados os seguintes elementos para os projetos luminotécnicos:

- Luminária tipo calha de sobrepôr (Figura 5.2 (a)), pois é a que mais se assemelha com as utilizadas na UFPB. Este modelo está disponível no Dialux e possui uma eficiência de 93,33%, ou seja, se a lâmpada possui um fluxo luminoso de 100 lúmens, a luminária terá 93,33 lúmens.
- Lâmpada fluorescente tubular Holofosfato da Ourolux (Figura 5.2(b)), de 40W. Tipo T10 e temperatura de cor de 6.400K. Possui IRC de 65% e um fluxo luminoso de 2600lm. Sua eficiência é de 65lm/W. Sua base é G13 e possui 1214mm de comprimento. Sua vida útil é de 10.000 horas [45]. Este modelo é uma das principais lâmpadas utilizadas na Universidade.
- Lâmpada Super LED Tube Glass da Ourolux (Figura 5.2(c)), de 18W. Tipo T8 e temperatura de cor 6.500K. Possui IRC de 80% e um fluxo luminoso de 1850lm. Sua eficiência é de 102lm/W. Sua base é G13 e possui 1198 mm de comprimento. Sua vida útil é de 25.000 horas [46]. Este modelo foi escolhido por ser da mesma marca que a fluorescente adotada e por possuir um bom valor de mercado.

O ensaio fotométrico foi realizado com o luxímetro para verificar se o valor médio de iluminância está de acordo com a NBR 8995-1. Para isso, foram escolhidas quatro salas e nelas efetuou-se a medição em vários pontos. Não se seguiu um padrão de posição para a medição, devido a disposição de móveis no local impedir o acesso em alguns pontos. Apesar desta

dificuldade, foi possível fazer uma matriz de valores em cada ponto, como mostrado na Figura 5.3.

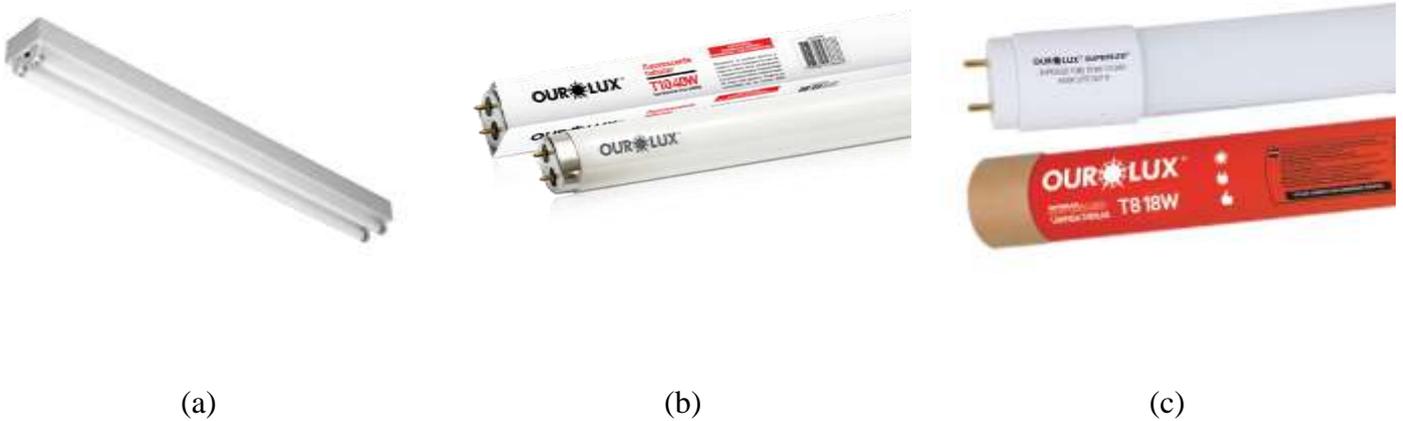


Figura 5.2 – (a) Luminária adotada, (b) Lâmpada fluorescente adotada, (c) Lâmpada LED adotada

As salas escolhidas foram 4, 7, 21 e 12 (banheiro) sendo elas ilustradas na Figura 5.3. Os valores presentes nas figuras representam a intensidade de iluminação em lux, medida neste ponto. Destaca-se que muitas das salas analisadas não possuem padrão de montagem, como o mostrado na Figura 5.3(c). As melhores salas do bloco são as 21, 22 e 23, que possuem seis luminárias em uma disposição 2x3, como mostra a Figura 5.3(d). Foi observado que mesmo nestas últimas salas, não havia um padrão de lâmpadas, pois em uma mesma luminária foi possível observar modelos diferentes de lâmpadas, como também potência diferentes. Por exemplo, em uma mesma luminária observou-se uma lâmpada de 32W e outra de 40W.

A partir dos valores mensurados, realizou-se uma média aritmética destes, para se comparar com os valores da norma. Segundo a Tabela 5.1, para as salas de escritórios, o valor exigido pela norma é de 500lux. Já para o banheiro, 200lux. Pode-se perceber que todas as salas estão com iluminância abaixo da norma, devido aos valores baixos de iluminação. Como mostra a Tabela 5.1, a Sala 21 foi a que mais se aproximou, mas estando um pouco abaixo. O provável motivo desta sala não ter alcançado o valor já foi mencionado no parágrafo anterior.

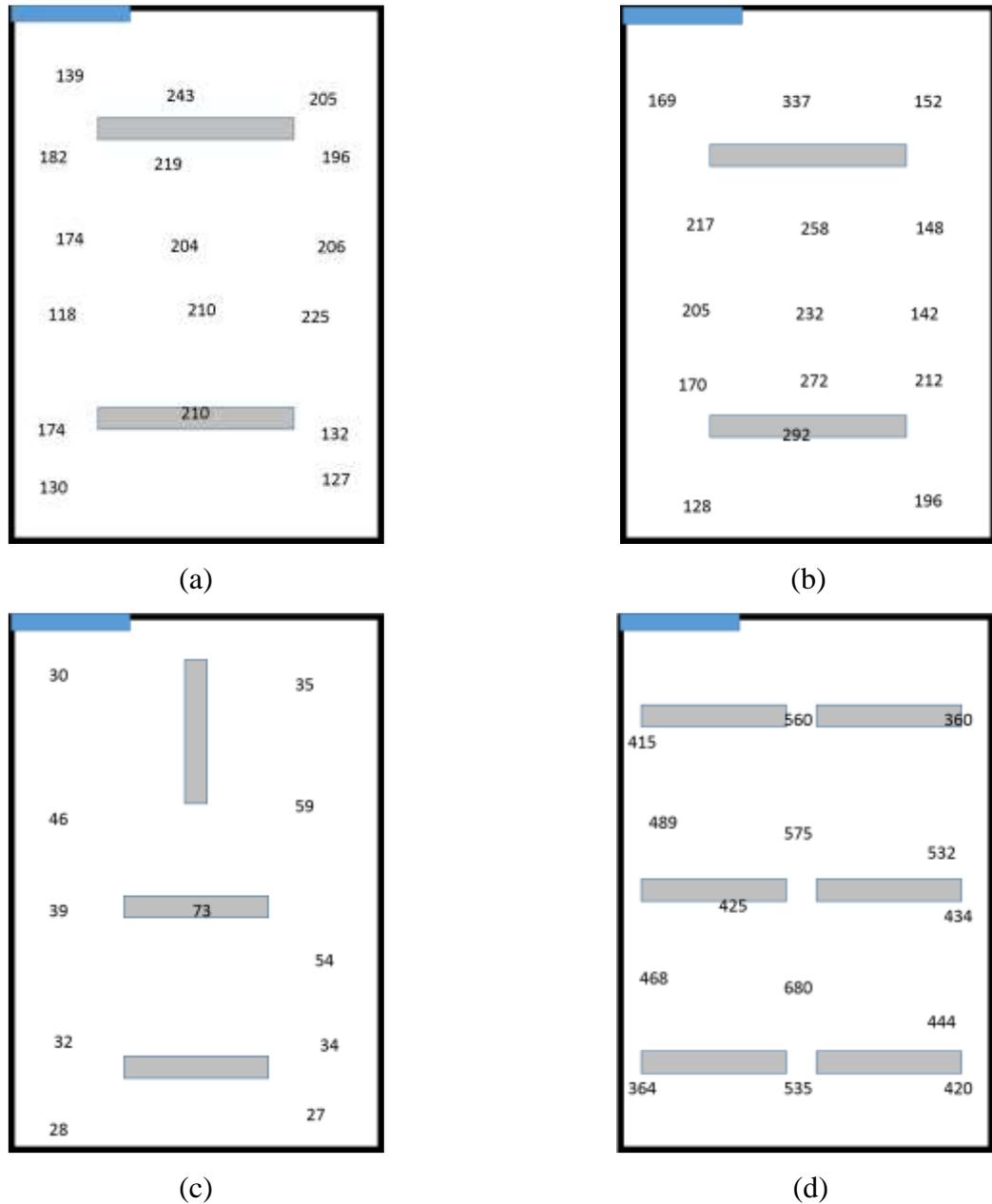


Figura 5.3 – Valores de iluminância por pontos da situação atual – (a) Sala 4, (b) Sala 7, (c) BM, (d) Sala 21

Tabela 5.1 – Situação das iluminâncias das salas estudadas

Recinto	Média das iluminâncias (LUX)		Situação
	Norma	Luxímetro	
Sala 4	500	182	Abaixo da norma
Sala 7	500	209	Abaixo da norma
Sala 21	500	479	Abaixo da norma
Sala 12 (BM)	200	42	Abaixo da norma

## 5.1 Simulação com o Dialux Evo

Para este trabalho, a simulação com o Dialux Evo tem duas finalidades. A primeira é comparar os resultados gerados pelo software com os resultados fotométricos obtidos na medição com o luxímetro. Isto acontece no Caso 1, simulando situação atual. A segunda é comparar a iluminação utilizando lâmpadas LEDs e Fluorescentes em situações que atendam os índices de iluminância previstos na norma (Casos 2, 3 e 4).

Para um resultado mais eficiente, a partir da planta baixa do Bloco Administrativo do CT (Figura 5.1), foi construída virtualmente uma maquete 3D de toda a construção. A Figura 5.4 exibe este modelo, destacando a vista por quatro ângulos diferentes. Além disso, a Figura 5.5 situa a representação das salas.

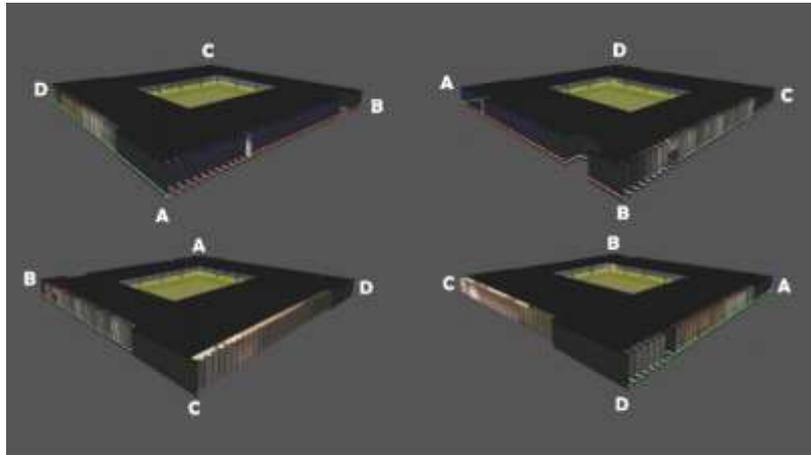


Figura 5.4 – Vistas do Bloco Administrativo feitas no Dialux Evo

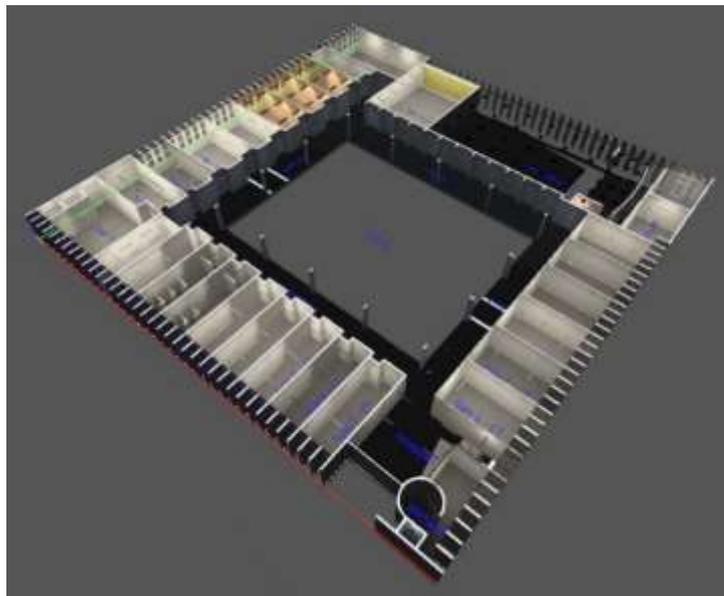


Figura 5.5 – Vista superior do Bloco Administrativo feitas no Dialux Evo

### 5.1.1 (Caso 1) Situação Atual

A situação luminotécnica do bloco como um todo se apresenta de forma relapsa, não cumprindo com a norma. É possível ver que não há padrão de projetos, pois muitas luminárias se encontram em disposições aleatórias e diferentes de uma sala para outra. Observou-se que em salas semelhantes, a disposição e quantidade de luminárias mudam, além disso verificou-se que por mais que todas as lâmpadas fossem fluorescentes tubular, existiam marcas de fabricantes e valores de potências diferentes na mesma sala e até na mesma luminária, visto que existiam luminárias que comportavam de uma a quatro lâmpadas. A partir desta primeira análise, já se esperava um baixo índice de iluminação.

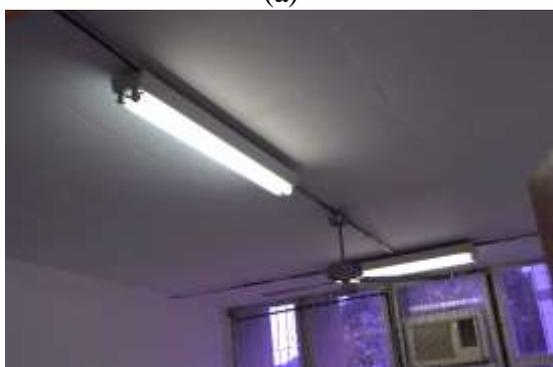
No banheiro masculino, como mostra a Figura 5.6(a), encontra-se luminárias de tipos diferentes e em disposições diferentes, ou seja, duas estão na horizontal e uma na vertical. A Figura 5.6(b) mostra que a luminária utilizada no hall de entrada do prédio só comporta uma lâmpada tipo T8, de 32W, e que ela está atravessada. Na Figura 5.6(c), é possível observar que as luminárias da sala 5 foram alocadas sem nenhum padrão e que uma das luminárias, como retrata a Figura 5.6(d), possui dois tipos de lâmpadas: um modelo T10, com um diâmetro maior, de 40W e outro com um diâmetro menor, tipo T8, de 32W.



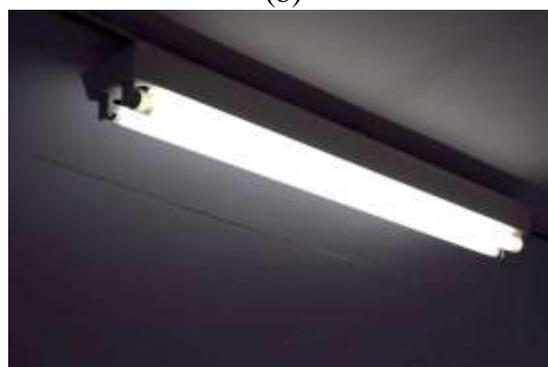
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 5.6 – Fotografia das salas inspecionadas. (a) Iluminação do Banheiro Masculino, (b) Luminária utilizada no hall de entrada, (c) Iluminação Sala 4, (d) Luminária utilizada na Sala 5

Um levantamento da situação atual apresentou um total de 192 lâmpadas nas vinte e seis salas consideradas. A Tabela 5.2 indica a quantidade de luminárias, de lâmpadas e da potência consumida por cada sala. Esta análise tem um valor aproximado, pois como mencionado anteriormente, algumas luminárias possuíam lâmpadas de potências diferentes. Algumas puderam ser identificadas, outras não, devido à dificuldade de acesso, portanto foi considerado todas as lâmpadas como sendo de 40W, por ser o padrão adotado.

Tabela 5.2 - Cálculo luminotécnico da situação atual – CASO1

Sala	Luminárias	Lâmpada por luminárias	Potência (W)	Total Lâmpadas	Total Potência
1	3	2	40	6	240
2	2	2	40	4	160
3	2	2	40	4	160
4	1	2	40	2	80
	1	3	40	3	120
5	2	2	40	4	160
6	3	2	40	6	240
7	2	2	40	4	160
	1	1	40	1	40
8	2	1	40	2	80
	1	1	40	1	40
9	3	2	40	6	240
10	3	2	40	6	240
11	3	2	40	6	240
12 (BM)	3	1	40	3	120
13 (BF)	3	1	40	3	120
14	3	2	40	6	240
15	4	1	40	4	160
	2	2	40	4	160
16	10	1	40	10	400
	3	1	40	3	120
17	10	1	40	10	400
18	3	2	40	6	240
19	4	2	40	8	320
20	4	2	40	8	320
21	6	2	40	12	480
22	6	2	40	12	480
23	6	2	40	12	480
24	2	2	40	4	160
25	6	2	40	12	480
26	20	1	40	20	800
<b>Total</b>	124	-	-	192	7680

Após o levantamento, estes dados foram inseridos no programa computacional. A Figura 5.7 representa a simulação das quatro salas escolhidas, em três dimensões, apresentando portas e janelas e as cores do teto, parede e piso conforme a realidade, para se alcançar resultados mais próximos. Optou-se por não utilizar de objetos na simulação, considerando um ambiente vazio, mesmo o Dialux possibilitando este cálculo.

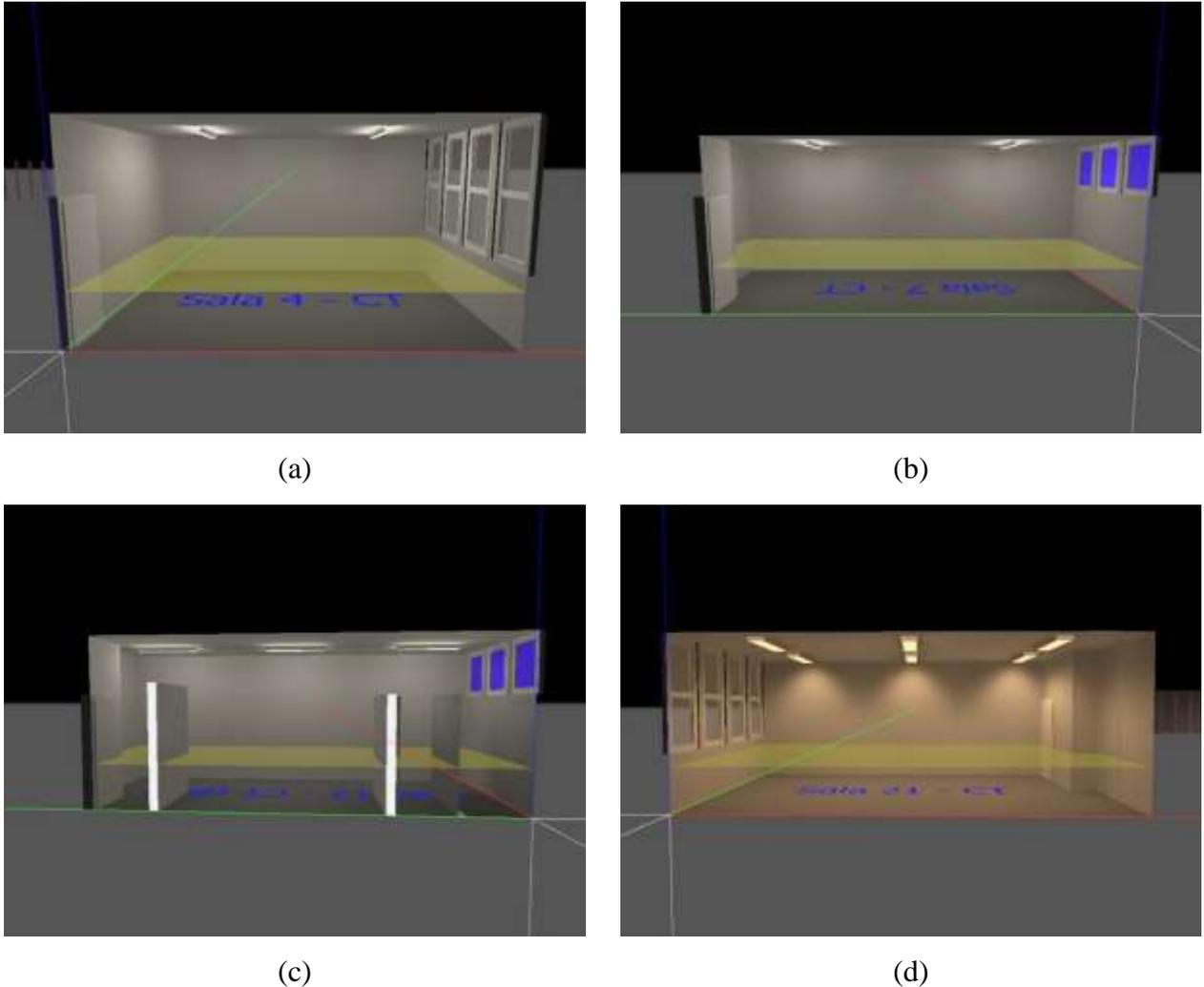


Figura 5.7 – Simulação das salas estudadas - (a) Sala 4, (b) Sala 7, (c) BM, (d) Sala 21

Como resultado da simulação, é gerado um gráfico de valores de iluminância em vários pontos do recinto, considerando o plano de trabalho adotado, que foi de 0,75m. Esta análise reproduz o resultado que deve ser obtido com a aferição do luxímetro. A Figura 5.8 registra este resultado.

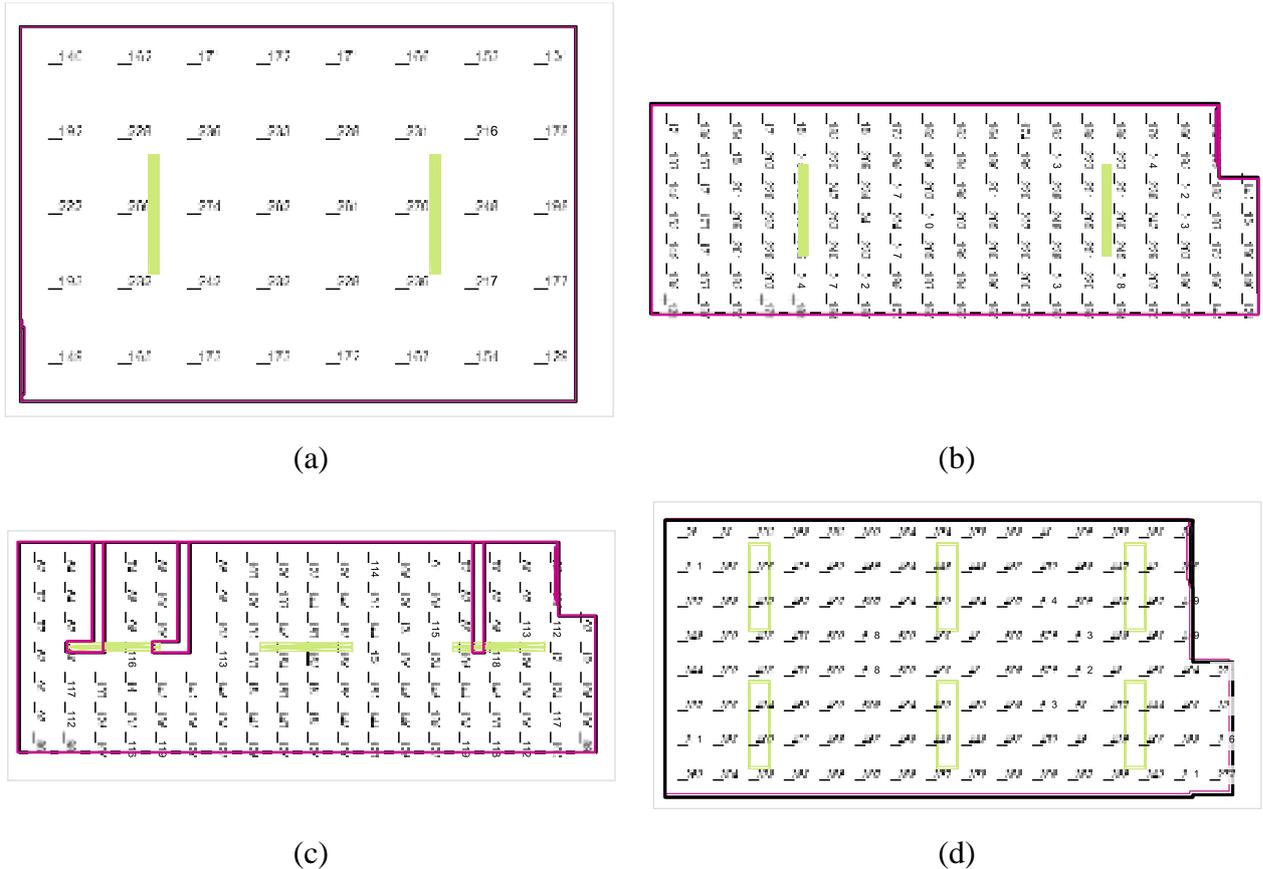


Figura 5.8 - Resultado da simulação das salas estudadas (CASO 1) - (a) Sala 4, (b) Sala 7, (c) BM, (d) Sala 21

Outro resultado gerado pelo software é o valor médio de iluminância obtido no recinto. O resultado obtido possui valores próximos ao do ensaio fotométrico. Esta diferença se tornaria menor se fossem medidos mais pontos com o luxímetro e com uma simulação mais próxima da realidade ainda com o Dialux, como por exemplo, com a alocação de objetos como mesas, cadeiras e estantes, presentes na hora da medição. Os resultados do Dialux também indicam uma situação abaixo da norma. A Tabela 5.3 faz a comparação dos valores da norma e os obtidos na medição, como também na simulação.

Tabela 5.3 – Comparação dos resultados obtidos (CASO 1)

Recinto	Média das Iluminâncias (LUX)			Situação
	Norma	Luxímetro	Dialux	
<b>Sala 4</b>	500	182	201	Abaixo da norma
<b>Sala 7</b>	500	209	201	Abaixo da norma
<b>Sala 21</b>	500	479	426	Abaixo da norma
<b>Sala 12 (BM)</b>	200	42	51	Abaixo da norma

### 5.1.2 (Caso 2) Proposta Fluorescente: Adequação da Iluminância

A segunda situação analisada seria uma proposta de um projeto de lâmpadas fluorescente cuja iluminação produzida fosse condizente com as normas técnicas de iluminação. Assim, a quantidade de lâmpadas por recinto escolhidas se baseou na eficiência luminosa da lâmpada escolhida e, com o auxílio do Dialux Evo foi feito o cálculo desta quantidade. Para isso, utilizou-se lâmpadas de 40W e luminárias com capacidade para duas lâmpadas. Para cada luminária é utilizado um reator eletrônico para duas lâmpadas, e foi considerado que sua potência consumida seria de 3W, logo a potência por luminária é de 83 W. A Tabela 5.4 expõe o levantamento de o bloco Administrativo, mostrando o número de luminárias, lâmpadas e os valores de potência. Além disso, nesta mesma tabela encontra-se os valores de iluminância alcançado em cada sala com o Dialux Evo. A potência total consumida apenas por iluminação nestas salas é de 10541W.

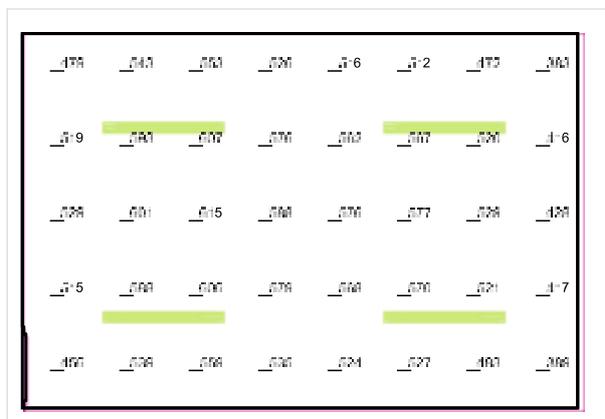
Tabela 5.4 – Cálculo luminotécnico da proposta fluorescente – CASO 2

	<b>Luminárias</b>	<b>Lâmpadas</b>	<b>Potência por luminária (W)</b>	<b>Potência total (W)</b>	<b>Iluminância (lux)</b>	<b>Vida útil (horas)</b>
<b>SALA 1</b>	4	8	83	332	541	10000
<b>SALA 2</b>	4	8	83	332	525	10000
<b>SALA 3</b>	4	8	83	332	527	10000
<b>SALA 4</b>	4	8	83	332	531	10000
<b>SALA 5</b>	4	8	83	332	525	10000
<b>SALA 6</b>	4	8	83	332	521	10000
<b>SALA 7</b>	4	8	83	332	585	10000
<b>SALA 8</b>	4	8	83	332	578	10000
<b>SALA 9</b>	4	8	83	332	585	10000
<b>SALA 10</b>	4	8	83	332	588	10000
<b>SALA 11</b>	4	8	83	332	583	10000
<b>SALA 12 (BM)</b>	2	4	83	166	252	10000
<b>SALA 13 (BF)</b>	2	4	83	166	238	10000
<b>SALA 14</b>	4	8	83	332	586	10000
<b>SALA 15</b>	4	8	83	332	619	10000
<b>SALA 16</b>	8	16	83	664	509	10000
<b>SALA 17</b>	5	10	83	415	534	10000
<b>SALA 18</b>	5	10	83	415	534	10000
<b>SALA 19</b>	6	12	83	498	537	10000
<b>SALA 20</b>	5	10	83	415	531	10000
<b>SALA 21</b>	5	10	83	415	530	10000
<b>SALA 22</b>	5	10	83	415	524	10000
<b>SALA 23</b>	5	10	83	415	537	10000
<b>SALA 24</b>	4	8	83	332	570	10000

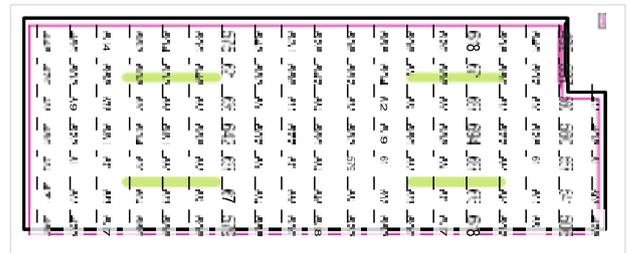
(Continuação)

	Luminárias	Lâmpadas	Potência por luminária (W)	Potência total (W)	Iluminância (lux)	Vida útil (horas)
<b>SALA 25</b>	11	22	83	913	608	10000
<b>SALA 26</b>	12	24	83	996	520	10000
<b>Total</b>	127	254	-	10541	-	-

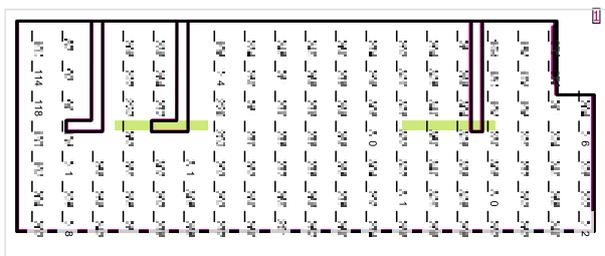
A Figura 5.9 relata os gráficos de valores de iluminância nos pontos das quatro salas trabalhadas, gerado pelo software. Cada valor representa a iluminância neste ponto, como se estivesse sendo medido com o luxímetro. A partir destes valores, é tirado uma média e encontra-se o valor que deve ser comparado com a norma.



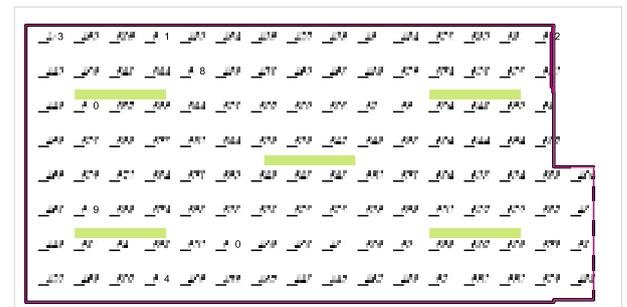
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 5.9 - Resultado da simulação das salas estudadas (CASO 2) - (a) Sala 4, (b) Sala 7, (c) BM, (d) Sala 21

Com este resultado é possível observar que em algumas salas é necessário o dobro da quantidade de lâmpadas existentes atualmente, como exemplo cita-se as salas 4 e 7, que atualmente só recebem duas luminárias totalizando 4 lâmpadas, e a simulação mostrou que para se adequar com a norma seriam necessárias 4 luminárias num total de 8 lâmpadas.

### 5.1.3 (Caso 3) Proposta LED: Utilizando a equivalência

Esta proposta consiste em apenas substituir o projeto anterior, com lâmpadas fluorescentes tubulares, por lâmpadas LED tubulares. Isto foi feito em virtude de todos os fabricantes pesquisados apresentarem as chamadas tabelas de equivalência entre fluorescente e LED. Seguindo estas tabelas, que podem ser encontradas em qualquer site de fabricante, as lâmpadas fluorescentes de 40W podem ser trocadas por lâmpadas de 18W ou de 20W. A escolhida foi a de 18W.

Analisando o valor da potência consumida para esta situação, o valor baixou para 4572W, isso equivale a uma queda de aproximadamente 56,6%. Isso significa que a conta de luz reduzirá um pouco mais que a metade, mas ainda há o valor investido na lâmpada LED, que é mais cara. Isso será conferido no cálculo do *Payback*. A Tabela 5.5 mostra o valor total de luminária, lâmpadas, potência por luminária e Total das salas.

Tabela 5.5 – Cálculo luminotécnico da proposta LED – CASO 3

	Luminárias	Lâmpadas	Potência por luminária (W)	Potência total (W)	Iluminância (lux)	Vida útil (horas)
<b>SALA 1</b>	4	8	36	144	384	25000
<b>SALA 2</b>	4	8	36	144	372	25000
<b>SALA 3</b>	4	8	36	144	373	25000
<b>SALA 4</b>	4	8	36	144	378	25000
<b>SALA 5</b>	4	8	36	144	374	25000
<b>SALA 6</b>	4	8	36	144	370	25000
<b>SALA 7</b>	4	8	36	144	417	25000
<b>SALA 8</b>	4	8	36	144	403	25000
<b>SALA 9</b>	4	8	36	144	409	25000
<b>SALA 10</b>	4	8	36	144	408	25000
<b>SALA 11</b>	4	8	36	144	417	25000
<b>SALA 12 (BM)</b>	2	4	36	72	179	25000
<b>SALA 13 (BF)</b>	2	4	36	72	170	25000
<b>SALA 14</b>	4	8	36	144	417	25000
<b>SALA 15</b>	4	8	36	144	443	25000
<b>SALA 16</b>	8	16	36	288	364	25000
<b>SALA 17</b>	5	10	36	180	381	25000
<b>SALA 18</b>	5	10	36	180	459	25000
<b>SALA 19</b>	6	12	36	216	381	25000
<b>SALA 20</b>	5	10	36	180	455	25000
<b>SALA 21</b>	5	10	36	180	456	25000
<b>SALA 22</b>	5	10	36	180	452	25000

(Continuação)

	Luminárias	Lâmpadas	Potência por luminária (W)	Potência total (W)	Iluminância (lux)	Vida útil (horas)
<b>SALA 23</b>	5	10	36	180	462	25000
<b>SALA 24</b>	4	8	36	144	407	25000
<b>SALA 25</b>	11	24	36	396	467	25000
<b>SALA 26</b>	12	24	36	432	370	25000
<b>Total</b>	127	254	-	4572	-	-

Apesar do resultado positivo quanto à potência consumida para essa situação, ainda existe a observação quanto a iluminância dos recintos. A simulação do Dialux revelou que essa substituição direta da lâmpada LED pela fluorescente não é ideal, pois não está de acordo com os valores mínimos da ABNT 8995-1. De acordo com a Figura 5.10, muitos dos pontos de iluminância vertical estão abaixo da norma, logo a média, que é o que é considerado, também estará abaixo.

Os valores médios encontrados para as salas foram de 378lux para a Sala 4, 417lux para a Sala 7, e 456lux para a Sala 21. Estas salas deveriam ter o valor médio mínimo de 500lux. O banheiro masculino resultou em um iluminamento médio de 179lux, quando deveria se obter 200lux. Isto prova que por mais que seja feita a substituição de lâmpadas equivalentes, como divulgam os fabricantes, haverá uma queda considerável do fluxo luminoso do local.

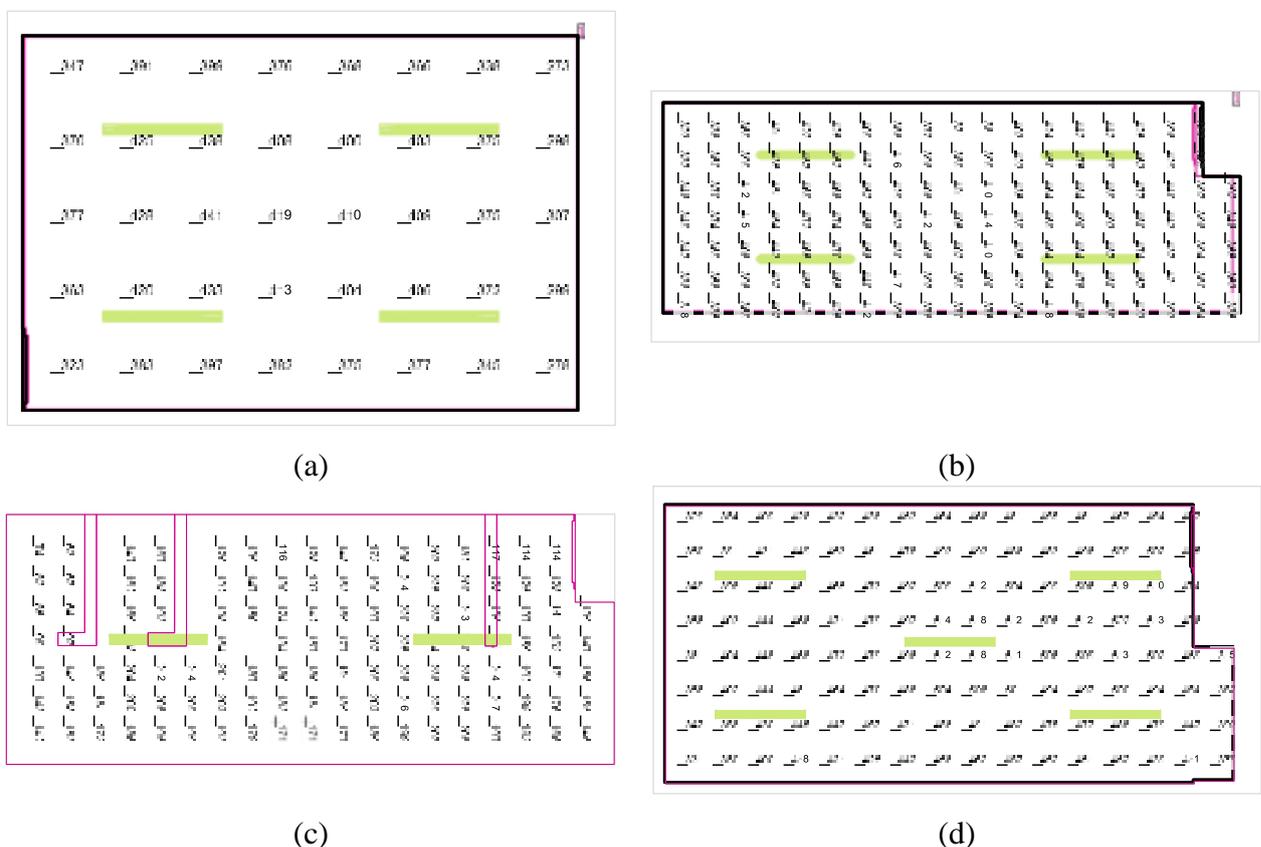


Figura 5.10 – Resultado da simulação das salas estudadas (CASO 3) - (a) Sala 4, (b) Sala 7, (c) BM, (d) Sala 21

### 5.1.4 (Caso 4) Proposta LED: Adequação da Iluminância

Após verificar que a proposta Led para o Caso 3, por mais que seja econômica como divulgam os fabricantes, acarreta em uma redução nos índices de iluminância do local, estando em desacordo com a ABNT 8995-1. Com isso, um novo projeto utilizando-se o LED foi realizado.

O Caso 4 consiste em um projeto luminotécnico com LED de forma que a iluminância dos locais projetados esteja de acordo com a norma. Para tal, encontrou-se a relação de que para cada duas lâmpadas fluorescentes são necessárias 3 lâmpadas de LED. Este resultado foi alcançado relacionando o valor do fluxo luminoso das duas lâmpadas, fluorescente e LED, e comprovado em simulação. Alguns casos essa relação foi menor, como por exemplo na Sala 7, que 4 luminárias fluorescentes foram substituídas por 5 LED.

A Tabela 5.6 detalha os resultados encontrados por cada sala. Serão utilizados um total de 178 luminárias e 354 lâmpadas. Este valor é superior aos casos anteriores, entretanto a potência total consumida é de 6372W, ou seja, uma redução de aproximadamente 40%. Daí o cálculo do *Payback* vai indicar se vale ou não a substituição. Isso porque, por mais que o LED seja mais caro, sua vida útil é maior que a fluorescente.

Tabela 5.6 – Cálculo luminotécnico da proposta LED – CASO 4

	Luminárias	Lâmpadas	Potência por luminária (W)	Potência total (W)	Iluminância (lux)	Vida útil (horas)
<b>SALA 1</b>	6	12	36	216	536	25000
<b>SALA 2</b>	6	12	36	216	536	25000
<b>SALA 3</b>	6	12	36	216	536	25000
<b>SALA 4</b>	6	12	36	216	536	25000
<b>SALA 5</b>	6	12	36	216	536	25000
<b>SALA 6</b>	6	12	36	216	536	25000
<b>SALA 7</b>	5	10	36	180	507	25000
<b>SALA 8</b>	5	10	36	180	500	25000
<b>SALA 9</b>	5	10	36	180	509	25000
<b>SALA 10</b>	5	10	36	180	501	25000
<b>SALA 11</b>	5	10	36	180	500	25000
<b>SALA 12 (BM)</b>	3	6	36	108	242	25000
<b>SALA 13 (BF)</b>	3	6	36	108	242	25000
<b>SALA 14</b>	5	10	36	180	501	25000
<b>SALA 15</b>	5	10	36	180	538	25000
<b>SALA 16</b>	11	22	36	396	500	25000
<b>SALA 17</b>	7	14	36	252	526	25000

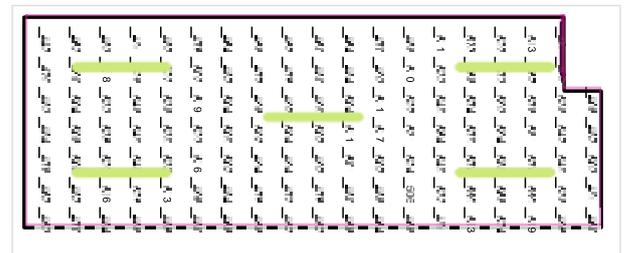
(Continuação)

	Luminárias	Lâmpadas	Potência por luminária (W)	Potência total (W)	Iluminância (lux)	Vida útil (horas)
<b>SALA 18</b>	7	14	36	252	537	25000
<b>SALA 19</b>	9	18	36	324	549	25000
<b>SALA 20</b>	8	16	36	288	584	25000
<b>SALA 21</b>	7	14	36	252	535	25000
<b>SALA 22</b>	7	14	36	252	529	25000
<b>SALA 23</b>	7	14	36	252	534	25000
<b>SALA 24</b>	6	12	36	216	586	25000
<b>SALA 25</b>	14	28	36	504	536	25000
<b>SALA 26</b>	17	34	36	612	538	25000
<b>Total</b>	178	354	-	6372	-	

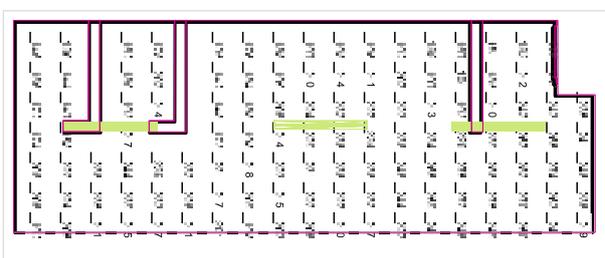
Este retrofit está de acordo com a norma. Para visualizar a distribuição luminosa, a Figura 5.11 exibe estes valores para as quatro salas analisadas. Como dito no anteriormente, cada valor na imagem representa a iluminância naquele ponto, como se estivesse sendo medido com o luxímetro. A média de todos estes valores representa o valor considerado pela norma.



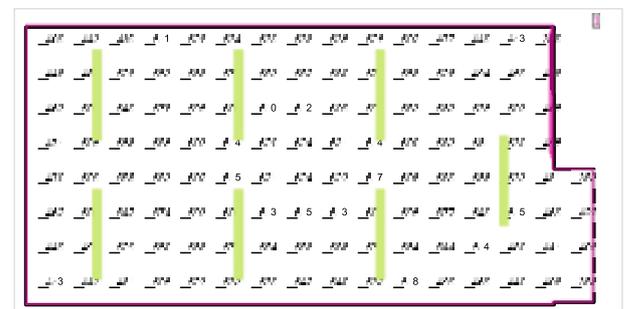
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 5.11 – Resultado da simulação das salas estudadas (CASO 4) - (a) Sala 4, (b) Sala 7, (c) BM, (d) Sala 21

## 5.2 Cálculo de Gasto e *Payback*

Nesta seção será exposto o valor gasto com o consumo de energia pela iluminação para os quatro casos estudados. Será realizado também o estudo da viabilidade dos novos projetos luminotécnicos, tanto para lâmpadas fluorescentes, quanto para LED. Isto será feito por meio do cálculo de *Payback*.

### 5.2.1 Situação atual (Caso 1)

O levantamento de carga realizado indicou que as vinte e seis salas escolhidas possuíam juntas um total de 192 lâmpadas fluorescentes, como mostra a Tabela 5.7. Considerando que as salas funcionam por 12 horas, das 7:00h às 19:00h, esta quantidade gera uma demanda energética de 7680W e um consumo anual de 23961,6KWh. O valor de energia pago, por ano, pelo uso dessas lâmpadas corresponde a R\$ 5290,24. O Apêndice A exibe como se chegou nestes resultados.

Tabela 5.7 – Cálculo do Consumo energético dos casos estudados

	Potência (W)	Total de Lâmpadas	Potência Total (W)	Consumo energético anual (KWh)	Tarifa fora de ponta (R\$/KWh)	Valor (R\$)
<b>Caso 1</b>	40	192	7680	23961,6	0,22078	5290,24
<b>Caso 2</b>	40	254	10541	32887,9	0,22078	7260,99
<b>Caso 3</b>	18	254	4572	14264,6	0,22078	3149,35
<b>Caso 4</b>	18	354	6372	19880,6	0,22078	4389,25

### 5.2.2 Proposta fluorescente (Caso 2) e propostas LED (Casos 3 e 4)

A Tabela 5.8 a seguir busca comparar as três propostas de projetos luminotécnicos apresentadas neste trabalho. A tabela mostra que a fluorescente tem um menor preço que a LED, porém o consumo é maior. Além disso, mesmo emitindo um fluxo luminoso maior, sua eficiência é de apenas 65 lúmens/watt, contra 102 lúmens/watt da LED. Pode-se observar que o número de lâmpadas e luminárias no caso 2 é menor que no caso 4, porém, como a vida útil da LED é maior, menos lâmpadas serão substituídas.

Tabela 5.8 - Características das propostas

	<b>Caso 2</b>	<b>Caso 3</b>	<b>Caso 4</b>
<b>Tipo de Lâmpada</b>	Fluorescente	LED	LED
<b>Potência [W]</b>	40	18	18
<b>Fluxo Luminoso [lm]</b>	2600	1850	1850
<b>Eficiência da Lâmpada [lm/W]</b>	65	102	102
<b>Vida útil [horas]</b>	10000	25000	25000
<b>Nº de luminárias (N0)</b>	127	127	178
<b>Nº de Lâmpadas por luminária (N1)</b>	2	2	2
<b>Nº de reator por luminária (N2)</b>	1	0	0
<b>Preço Unitário da Luminária [R\$]</b>	19,90	19,90	19,90
<b>Preço Unitário da Lâmpada (C1) [R\$]</b>	10,93	29,92	29,92
<b>Preço Unitário do reator (C2) [R\$]</b>	22	0	0
<b>Horas acesas por ano</b>	3120	3120	3120
<b>Tarifa Energética (Te) [R\$]</b>	0,2208	0,2208	0,2208
<b>Expectativa de vida útil [ano]</b>	3,205128205	5,707762557	5,707762557
<b>Número de trocas por ano (S) [1/ano]</b>	0,312	0,1248	0,1248

A partir da equação (1), é possível encontrar o valor do *Payback* comparando-se o Caso 3 com o Caso 2, como também na comparação do Caso 4 com o Caso 2.

Fazendo a comparação entre o Caso 2 e o Caso 4, considerando os dados da Tabela 5.8, é possível encontrar em quantos anos a Iluminação LED se torna viável. Para isso, basta, a partir de manipulações na equação (1), isolar a variável tempo (t), como mostra a equação (11). Fazendo isso, encontra-se um valor de  $t=2,49$  anos, ou seja, em aproximadamente 2 anos e 6 meses o projeto de LED, para o Caso 4, se torna viável.

O investimento inicial (Tabela 5.9) é calculado a partir da equação (2). Para o projeto de fluorescentes, o investimento inicial é o menor, porém é necessário um valor considerável

devido à necessidade dos reatores. O total investido para o Caso 4 é o maior de todos, visto que a quantidade de lâmpadas e luminárias utilizadas também é maior.

Tabela 5.9 - Investimento inicial

<b>Investimento Inicial</b>			
	Fluorescente (Caso 2)	LED (Caso 3)	LED (Caso 4)
<b>Luminárias</b>	R\$ 2.527,30	R\$ 2.527,30	R\$ 3.522,20
<b>Reatores</b>	R\$ 2.794,00	-	-
<b>Lâmpadas</b>	R\$ 2.776,22	R\$ 7.599,68	R\$ 10.591,68
<b>TOTAL</b>	R\$ 8.097,52	R\$ 10.126,98	R\$ 14.133,88

Para melhor entendimento, a Tabela 5.10 contém os valores do gasto total por período de tempo em anos, ou seja, o investimento inicial mais os gastos, onde estão envolvidos o consumo com energia e as despesas com troca de lâmpadas. Tudo isso foi obtido por meio das equações (1) – (6) da seção 4.3, para as três propostas. Entende-se que a partir de 2,5 anos a proposta de LED torna-se mais viável do que a fluorescente. Isso significa que, por exemplo se existissem dois projetos, o primeiro para o caso 2 e o segundo para o caso 4, em dois anos e meio o valor total gasto seria maior com a fluorescente do que com o LED. Já em três anos, haveria uma economia de R\$ 1.231,80.

Considerando o Caso 3, em que apenas é substituído a mesma quantidade de lâmpadas fluorescente por LED, em menos de um ano este projeto já se torna viável. Entretanto, pelo que foi apresentado até agora neste trabalho, a iluminância do local não satisfaz a norma, por isso não está sendo considerado esta situação.

Tabela 5.10 – Gastos totais para os três casos propostos

Tempo (em anos)	Gastos Totais	Gastos Totais	Gastos Totais
	CASO 2	CASO 3	CASO 4
0,5	R\$ 12.161,11	R\$ 12.175,87	R\$ 16.969,52
1,0	R\$ 16.224,70	R\$ 14.224,77	R\$ 19.825,07
1,5	R\$ 20.288,28	R\$ 16.273,66	R\$ 22.680,61
2,0	R\$ 24.351,87	R\$ 18.322,55	R\$ 25.536,16
2,5	R\$ 28.415,46	R\$ 20.371,45	R\$ 28.391,70
3,0	R\$ 32.479,05	R\$ 22.420,34	R\$ 31.247,25

Ainda analisando o projeto de LED que condiz com a ABNT, uma nova consideração pode ser feita. É sabido que uma carga de impostos é cobrada sobre o consumo de energia. Os impostos são o ICMS, PIS/PASEP e CONFINS. Considerando que na conta de energia da

UFPB do mês de maio de 2016 a soma destes impostos chega a aproximados 29% sobre a base de cálculo considerada.

Uma maneira de se considerar este imposto é atribuindo-o à tarifa. Logo, considerando este valor de imposto na tarifa de 0,2208 R\$/KWh, encontra-se o valor de 0,2849 R\$/KWh. Realizando os mesmos cálculos anteriores, o tempo de *Payback* passa a ser de 1,85 anos. A Tabela 5.11 exhibe estes resultados.

Tabela 5.11 - Gastos totais para os três casos propostos – Considerando impostos

Tempo (em anos)	Gastos Totais - CASO 2	Gastos Totais - CASO 3	Gastos Totais - CASO 4
0,5	R\$ 13.214,77	R\$ 12.632,88	R\$ 17.605,36
1,0	R\$ 18.332,02	R\$ 15.138,79	R\$ 21.098,83
1,5	R\$ 23.449,27	R\$ 17.644,69	R\$ 24.591,31
2,0	R\$ 28.566,52	R\$ 20.150,59	R\$ 28.084,79

É possível observar que o tempo de *Payback* reduziu em 0,6 anos. Isto significa que o valor gasto com o investimento e o consumo de energia vai aumentar, entretanto a partir de 1 anos e 11 meses é possível obter lucro escolhendo o LED.

Essa situação mostrada anteriormente, em que com o aumento da tarifa de energia o tempo de *Payback* diminuiu permite outras observações. É possível, a partir da variação de alguns dados envolvidos, presumir a resposta deste tempo. Isto porque as equações para este cálculo graficamente representam uma reta.

É possível observar no Gráfico 5.1 que o ponto de interseção entre as duas curvas acontece para o tempo de aproximadamente 2,5 anos. Este ponto representa o ano de retorno financeiro. Este gráfico representa os cálculos realizados anteriormente para uma tarifa de R\$ 0,2208.

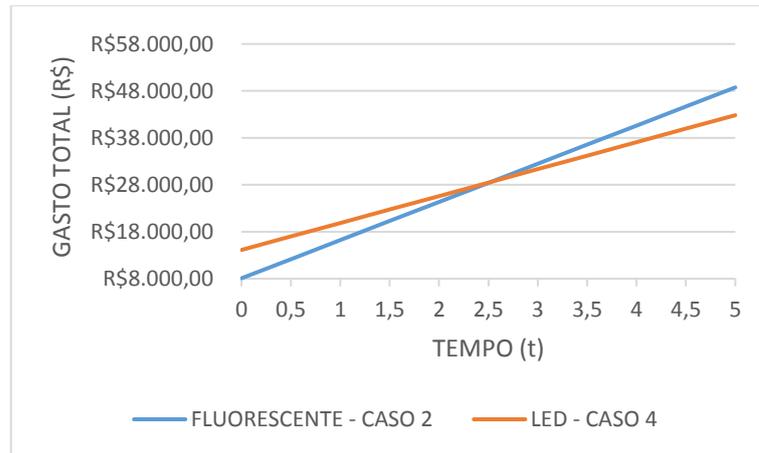


Gráfico 5.1 - Payback Caso 2 e Caso 4 para tarifa de \$0,2208

O Gráfico 5.2 representa os cálculos para uma tarifa de R\$ 0,2849. Percebe-se que os valores iniciais da curva, ou seja, o investimento não é alterado, porém o ano de *Payback* diminui para 1,85 anos. Nota-se também que, apesar de cinco anos depois o gasto ser maior, a diferença entre os valores da lâmpada fluorescente e LED também é maior. Confirmando que para esta situação é mais viável o LED.

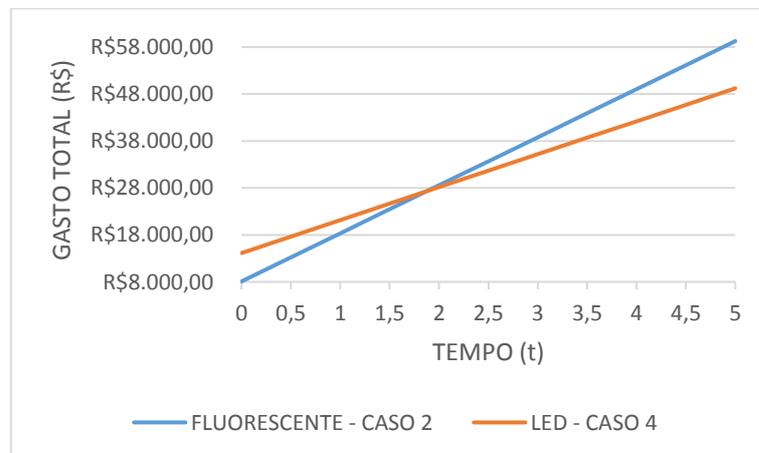


Gráfico 5.2 - Payback Caso 2 e Caso 4 para tarifa de \$0,2849

Outras situações que tendem a diminuir o tempo de *Payback*, são:

- Diferença entre preços das lâmpadas: Quanto menor a diferença entre a LED e a Fluorescente, mais rápido é o tempo de retorno;
- Tempo de lâmpadas acesas: Quanto mais tempo as lâmpadas permanecem acesas, mais rápido será a troca das lâmpadas e mais rápido é o tempo de retorno;
- Número de dias considerados no ano: Quanto mais dias do ano as lâmpadas estão acesas, mais rápido será a troca das lâmpadas e mais rápido é o tempo de retorno;

- Vida útil da lâmpada: Quanto menor o tempo de vida útil da lâmpada fluorescente utilizada, ou maior o da LED, mais rápido será o *Payback*;

Outra observação é que na prática, as lâmpadas fluorescentes duram bem menos do que seus dados de fábrica. Muitas vezes não chegam nem a metade do tempo proposto e logo são substituídas. Isto acarreta em um gasto maior na compra de lâmpadas, logo o tempo de *Payback* também será menor, aumentando a viabilidade da LED.

### 5.3 Cálculo da Pegada de Carbono

Para o cálculo da quantidade média de gases do efeito estufa emitidos na atmosfera, utilizou-se o fator médio mensal do ano de 2016, assim como a energia consumida por ano nos 4 casos considerados. A Tabela 5.12 exibe esses resultados.

Tabela 5.12 - Cálculo da pegada de carbono para os 4 casos

	<b>Energia Total (KWh)</b>	<b>Fator Médio (KgCO<sub>2eq</sub>/KWh)</b>	<b>KgCO<sub>2eq</sub> emitidos</b>
<b>CASO 1</b>	23961,6	0,0817	1957,663
<b>CASO 2</b>	32887,9	0,0817	2686,941
<b>CASO 3</b>	14264,6	0,0817	1165,418
<b>CASO 4</b>	19880,6	0,0817	1624,24

Atualmente, considerando apenas a iluminação do Bloco Administrativo do CT, são emitidas cerca de 1,9 toneladas de CO<sub>2eq</sub> para a geração de energia elétrica. Para o novo projeto de iluminação com lâmpadas fluorescentes (Caso 2), a quantidade de CO<sub>2eq</sub> chega a 2,68 toneladas por ano.

As duas propostas LED reduzem tanto a quantidade de emissão do Caso 1, quanto a do Caso 2. A proposta de Led, que está de acordo com a norma (Caso 4), reduz em 324,24 Kg de CO<sub>2eq</sub> anuais. E considerando a nova proposta de fluorescentes, o valor da redução chega a 1,053 toneladas, ou seja, uma redução de 40% de emissão.

## 6 CONCLUSÃO

A busca por propostas que visam a eficiência energética são ações necessárias em todo o mundo, visto que a população tende a aumentar, juntamente com as tecnologias, assim como o acesso as mesmas. A consequência disto é o aumento do consumo energético e da demanda de energia necessária para absorver este crescimento. Atualmente, no mundo, a maior parte da energia gerada é proveniente das fontes térmicas, que emitem uma grande quantidade de gases do efeito estufa na atmosfera. Logo, a tendência é a construção de mais fontes como estas, aumento a poluição. Uma alternativa a estas fontes, são as fontes renováveis, como eólica e solar, assim como as hidrelétricas, que é a mais abundante no Brasil.

A ação de eficiência energética mais comum visa a redução do consumo energético por meio das práticas eficientes, que buscam a um menor desperdício. Para reduzir o consumo na iluminação, têm-se proposto a tecnologia LED, que é considerada mais eficiente que as atuais, e ainda é benéfica ao ambiente ao se descartá-las. Entretanto, o seu alto preço ainda traz dúvidas quanto a viabilidade em relação a lâmpadas fluorescentes, por exemplo. Outro detalhe que deve ser considerado é o fluxo luminoso emitido pelas lâmpadas e os índices de iluminância nos locais analisados.

O presente trabalho propôs um estudo de viabilidade econômica para projetos de iluminação de um prédio da Universidade Federal da Paraíba. Para tal, um dos pré-requisitos considerados foi que a média dos valores de iluminância nas salas estivessem de acordo com a norma ABNT NBR ISSO/CIE 8995-1, condição esta que não estava em conformidade na situação atual projetada no Bloco Administrativo (Caso 1). Os estudos confirmaram a necessidade de um novo projeto luminotécnico para as salas do prédio, pois os índices de iluminância não estavam de acordo com a norma.

Realizou-se o estudo de três projetos luminotécnicos: iluminação fluorescente de acordo com a iluminância (Caso 2), Iluminação LED, de acordo com tabelas de equivalências (Caso 3) e por último, iluminação LED de acordo com a iluminância (Caso 3). Destes, observou-se que o Caso 3 tem os melhores resultados financeiros, com um investimento um pouco mais alto, consumo bem menor e o tempo de *retrofit* menor que um ano. Entretanto, essa proposta tem uma iluminação inadequada, de acordo com a norma, devido a seus baixos índices de iluminância. Logo, a melhor proposta de iluminação encontrada foi a do Caso 4.

A proposta LED do Caso 4 está de acordo com a ISO 8995-1, possui um investimento alto, entretanto em 2,56 anos este o investimento se torna mais acessível, e a partir daí se tem mais economia com o LED do que com a fluorescente.

Outra vantagem de se utilizar o LED é quanto as questões ambientais. As lâmpadas fluorescentes, ao serem removidas, devido a presença de metais pesados em sua composição, necessitam de um processo de descarte oneroso, entretanto com o LED isso não é necessário pois ele é feito de materiais recicláveis, que não degradam a natureza. Outra consideração ambiental feita foi em relação à emissão de gases do efeito estufa, pois para se produzir energia uma grande quantidade de CO<sub>2</sub> é lançada na atmosfera. A proposta LED preferida representa uma redução de 40% da emissão de GEE.

## 6.1 Propostas de Trabalhos Futuros

Como propostas de trabalhos futuros, pode-se sugerir as seguintes linhas de estudos:

- Proposta de eficiência energética de climatização, realizando o estudo da substituição eficiente dos condicionadores de ar assim como o *payback* desta ação.
- Cálculo do *payback* descontado, em substituição ao *payback* simples, que foi utilizado neste trabalho. Esta metodologia considera fluxos de caixa futuros, taxas de desconto. Em geral, ele considera o valor do dinheiro ao longo do tempo.
- Utilização do Dialux Evo acrescentando mais variáveis à simulação, equiparando ao máximo com a situação real.
- Estudo mais específico da iluminação das lâmpadas fluorescentes e LED, com construção de bancadas para simulação e medição das características da luz emitidas por ela. Além disso, neste teste pode-se incluir o estudo da qualidade da energia destas lâmpadas assim como o teste de vida útil.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BARROS, Benjamim de, BORELLI, Reinaldo, GEDRA, Ricardo Luis. Eficiência Energética - Técnicas de Aproveitamento, Gestão de Recursos e Fundamentos. Érica, 06/2015.
- [2] ROMÉRO, Marcelo Andrade, REIS, Lineu dos. Eficiência Energética em Edifícios. Manole, 01/2012.
- [3] PINTO, Rafael Adaime. Projeto e implementação de lâmpadas para iluminação de interiores empregando diodos emissores de luz (LED).
- [4] REIS, Lineu dos, SANTOS, Eldis Camargo. Energia Elétrica e Sustentabilidade: Aspectos Tecnológicos, Socioambientais e Legais, 2nd edição. Manole, 01/2014.
- [5] CARDOSO, Armando. 1,5 bilhão de pessoas vive sem energia elétrica no mundo. Disponível em: <<http://exame.abril.com.br/mundo/1-5-bilhao-de-pessoas-vive-sem-energia-eletrica-no-mundo/>>. Acesso em: 22 mar. 2017.
- [6] FARIELLO, DANILO. Um milhão de lares brasileiros não têm energia elétrica. Disponível em: <<http://oglobo.globo.com/economia/um-milhao-de-lares-brasileiros-nao-tem-energia-eletrica>>. Acesso em: 22 mar. 2017.
- [7] Avaliação da eficiência energética em escolas públicas municipais e estaduais de Maceió – Alagoas
- [8] KWANG, T.; MASRI, S. Single Phase Grid Tie Inverter for Photovoltaic Application IEEE Conference on Sustainable Utilization and Development in Engineering and Technology. Kuala Lumpur, Malaysia: 2010.
- [9] XUE, Y. et al. Topologies of Single-Phase Inverters for Small Distributed Power Generators: An Overview IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS. VOL19 2004. Acesso em: 15 maio. 2017
- [10] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. World Energy Outlook 2010. OECD/IEA 2010
- [11] FERREIRA, Juliana Zandona. Estudo Comparativo Entre Lâmpadas Fluorescentes Tubulares T8 E Tubulares De Led. 2014. 59 f. Monografia (Especialização) - Curso de Pós Graduação em Construções Sustentáveis, Departamento Acadêmico de Construção Civil, Departamento Acadêmico de Construção Civil, Utfpr, Curitiba, 2014.
- [12] MASCIA, Antonio Repiso. Estudo Comparativo Entre Lâmpadas Fluorescentes Compactas E Lâmpadas Incandescentes, Considerando A Viabilidade Econômica. 2011. 70 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2011.
- [13] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2015 ano base 2014. Rio de Janeiro.2015. P 230.

- [14] PORTAL BRASIL. Lâmpadas incandescentes saem do mercado a partir de julho. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2016/06/lampadas-incandescentes-saem-do-mercado-a-partir-de-julho>>. Acesso em: 27 mar. 2017.
- [15] CAPELLI, Alexandre. Energia Elétrica: Qualidade e Eficiência para Aplicações Industriais. Érica, 06/2013.
- [16] NUNES, Alexandre Leite Ribeiro. Eficiência Energética Em Prédios Públicos. 2010. 135 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.
- [17] VARGAS, M.C.; Mestria, M. Eficiência energética em edificações residenciais: iluminação e refrigeração. In: XXXV Encontro Nacional De Engenharia De Produção. 2005. Fortaleza, CE. Anais...P. 18.
- [18] F. B. Bley, "LEDs versus lâmpadas convencionais viabilizando a troca.," Especialize IPOG revista online, pp. 1-24, 2012.
- [19] A. N. I. 8995-1, "Iluminação de ambientes de trabalho parte1: Interior," pp. 1{46, 2013.
- [20] MARIANO, Y. S. F.; CRUZ, A. F. S. Análise De Eficiência Energética Em Shopping Center Com Foco Em Escadas Rolantes. In: XIII Seminário Estudantil de Produção Acadêmica. 2014. UNIFACS. Anais... UNIFACS ano. 2014 P. 21.
- [21] SANTIAGO, Emerson. Primeira crise do Petróleo. Disponível em: <<http://www.infoescola.com/historia/primeira-crise-do-petroleo>>. Acesso em: 28 mar. 2017.
- [22] REIS, Lineu dos, FADIGAS, Eliane A. Amaral, CARVALHO, Cláudio Elias. Energia, Recursos Naturais e a Prática do Desenvolvimento Sustentável, 2nd edição. Manole, 01/2012.
- [23] ONS. O que é o SIN - Sistema Interligado Nacional. Disponível em: <[http://www.ons.org.br/conheca\\_sistema/o\\_que\\_e\\_sin.aspx](http://www.ons.org.br/conheca_sistema/o_que_e_sin.aspx)>. Acesso em: 03 abr. 2017.
- [24] MME. Luz para todos. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/luzparatodos>>. Acesso em: 03 abr. 2017.
- [25] OLIVEIRA, Ana Paula Alves; LOPES, Marianna Jagher. Estudo e proposta para eficiência energética em salas de aula da Pontifícia Universidade Católica do Paraná utilizando tecnologia led. 2013. 151 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2013.
- [26] PROCEL. Lei de Eficiência Energética. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/resultadosprocel2014/lei.pdf>>. Acesso em: 03 abr. 2017.
- [27] INMETRO. Etiqueta de eficiência energética. Disponível em: <[http://www2.inmetro.gov.br/pbe/a\\_etiqueta.php](http://www2.inmetro.gov.br/pbe/a_etiqueta.php)>. Acesso em: 11 abr. 2017.
- [28] PROCEL. PROCEL EPP - Eficiência Energética nos Prédios Públicos. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/data/Pages/LUMIS623FE2A5ITEMID5C0D828A5E894B4AA0280C96CCED1760PTBRIE.htm>>. Acesso em: 11 abr. 2017.

- [29] DE CAMARGO, Renata Freitas. Como o método Payback pode ajudar na Análise do Tempo de Retorno do Investimento em Projetos. Disponível em: <<https://www.treasy.com.br/blog/Payback-tempo-de-retorno-do-investimentos>>. Acesso em: 27 abr. 2017
- [30] MESQUITA, Renato. Payback: O que é e como calcular o da sua empresa. Disponível em: <<http://saiadolugar.com.br/Payback/>>. Acesso em: 27 abr. 2017.
- [31] NASCIMENTO, Leandro Augusto do. Projeto De Eficiência Energética Com Ênfase Em Luminotécnica, Aplicado No Cctudesc. 2015. 121 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2015.
- [32] ZANICHEL, Claudia; PERUCH, Ivan Bueno. Reciclagem de lâmpadas Aspectos Ambientais e Tecnológicos. 2004. 22 f. Curso de Engenharia Ambiental, Centro de Ciências Exatas Ambientais e de Tecnologias, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2004.
- [33] DANGEROUSPROTOTYPES. Basic Light Emitting Diode guide. Disponível em: <[http://dangerousprototypes.com/docs/Basic\\_Light\\_Emitting\\_Diode\\_guide](http://dangerousprototypes.com/docs/Basic_Light_Emitting_Diode_guide)>. Acesso em: 09 maio 2017.
- [34] CASTRO, N. J.; BRANDÃO, R.; DANTAS, G. A. O Setor Elétrico Brasileiro e os Compromissos de Reduções das Emissões de Gases do Efeito Estufa. Grupo de Estudos do Setor Elétrico. Rio de Janeiro. 2012. P.26
- [35] HOLLNAGEL, H.; MORAES, F. C. C.; ONAGA, P. A. Metodologia De Cálculo De Emissões De Carbono Em Empreendimentos De Pequeno Porte: Análise Do Impacto Do Consumo De Energia Elétrica Em Um Salão De Beleza De São Paulo. In: Encontro Internacional Sobre Gestão Empresarial E Meio Ambiente. São Paulo. 2014. P. 10.
- [36] MIRANDA, Mariana Maia de. Fator de emissão de gases de efeito estufa da geração de energia elétrica no Brasil: implicações da aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida. 2012. 164 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.
- [37] MCTI. Fatores de Emissão de CO2 para utilizações que necessitam do fator médio de emissão do Sistema Interligado Nacional do Brasil, como, por exemplo, inventários corporativos. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/74694.html>>. Acesso em: 03 maio 2017.
- [38] RODRIGUES, Cláudio Roberto Barbosa Simões. Contribuições Ao Uso De Diodos Emissores De Luz Em Iluminação Pública. 2012. 216 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica, Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2012.
- [39] DIAS, M. V., SCARAZZATO, P. S. Iluminação Artificial Em Um Edifício Industrial. Uma Análise De Desempenho. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. 2012. Juiz de Fora. P. 9.
- [40] PROCEL. Manual de Iluminação. 2011. P.54.

- [41] OSRAM. Manual Luminotécnico Prático. P. 28.
- [42] ASSOCIAÇÃO DE NORMAS TÉCNICAS (Org). Projeto 8995-1. Iluminação de ambientes de trabalho parte 1: Interior. Rio de Janeiro: 2013.
- [43] GARCÍA, Irvin Edgar García. Cálculo De Iluminación En Interiores Con El Software Visual Professional Edition. 2015. 104 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica, Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Universidad Veracruzana, Xalapa, 2015.
- [44] MINIPA. MANUAL DE INSTRUÇÕES. LUXÍMETRO DIGITAL MLM-1011. São Paulo 2010. P. 30.
- [45] OUROLUX. Tubular Holofosfato T10.
- [46] OUROLUX. SUPERLED Tube Glass.
- [47] PHILIPS. Lâmpadas de LED. Disponível em: <<http://www.philips.com.br/>>. Acesso em: 09 maio 2017.
- [48] DA SILVA, Mauri Luiz. LEDs - Origem, atualidade, aplicações e futuro: Capítulo 5 - Eficiência dos LEDs x outras fontes. Disponível em: <[http://www.lightingnow.com.br/cursos/leds/modulo\\_03.pdf](http://www.lightingnow.com.br/cursos/leds/modulo_03.pdf)>. Acesso em: 09 maio 2017.

## APÊNDICE A

### 1. Cálculo do Consumo energético dos casos estudados

A seguir, estão descritos o procedimento para o cálculo da **Tabela 5.7**.

O cálculo da potência total de cada caso foi feito pelo produto entre o número de lâmpadas total pela potência de cada lâmpada considerada.

Em seguida, para o cálculo do consumo energético anual, multiplicou-se a potência total pelo número de horas considerado (12 horas) e pelo número de dias considerados por ano (260 dias). Este resultado foi dividido por 1000, para encontrar o resultado em KWh.

Para finalizar, o valor total gasto por ano em consumo energético foi feito calculando-se o consumo energético anual pela tarifa considerada.

- Resultado para o Caso 1:

<b>Potência Total (W)</b>	$40 \cdot 192 = 7680$
<b>Consumo Energético Anual (KWh)</b>	$\frac{7680 \cdot 12 \cdot 260}{1000} = 23961,6$
<b>Valor (R\$)</b>	$23961,6 \cdot 0,22078 = 5290,24$

- Resultado para o Caso 2:

<b>Potência Total (W)</b>	$40 \cdot 254 = 10541$
<b>Consumo Energético Anual (KWh)</b>	$\frac{10541 \cdot 12 \cdot 260}{1000} = 32887,9$
<b>Valor (R\$)</b>	$32887,9 \cdot 0,22078 = 7260,99$

- Resultado para o Caso 3:

<b>Potência Total (W)</b>	$18 \cdot 254 = 4572$
<b>Consumo Energético Anual (KWh)</b>	$\frac{4572 \cdot 12 \cdot 260}{1000} = 14264,6$
<b>Valor (R\$)</b>	$14264,6 \cdot 0,22078 = 3149,35$

- Resultado para o Caso 4:

<b>Potência Total (W)</b>	$18 \cdot 354 = 6372$
<b>Consumo Energético Anual (KWh)</b>	$\frac{6372 \cdot 12 \cdot 260}{1000} = 19880,6$
<b>Valor (R\$)</b>	$19880,6 \cdot 0,22078 = 4389,25$

## 2. Investimento inicial

A seguir, estão descritos o procedimento para o cálculo da **Tabela 5.9**.

O cálculo do investimento inicial (equação (2)) é feito inicialmente calculando-se o investimento em luminárias. Isso é feito pelo produto entre o valor de uma luminária pelo número de luminárias para cada caso. A seguir, são mostrados estes cálculos.

<b>Fluorescente (Caso 2)</b>	$19,90 \cdot 127 = 257,30$
<b>LED (Caso 3)</b>	$19,90 \cdot 127 = 257,30$
<b>LED (Caso 4)</b>	$19,90 \cdot 177 = 3522,30$

Em seguida, é feito o investimento em reatores, que só acontece para as lâmpadas fluorescentes como é mostrado a seguir. Isso se dá pelo produto entre o valor de um reator pelo número de reatores utilizados.

<b>Fluorescente (Caso 2)</b>	$22,00 \cdot 127 = 2794,00$
------------------------------	-----------------------------

Em seguida, é feito o cálculo de quanto é gasto na compra de lâmpadas. Isso é feito pelo produto do valor de uma lâmpada pelo número de lâmpadas utilizadas, como é mostrado a seguir.

<b>Fluorescente (Caso 2)</b>	$10,93 \cdot 254 = 2776,22$
<b>LED (Caso 3)</b>	$29,92 \cdot 254 = 7599,68$
<b>LED (Caso 4)</b>	$29,92 \cdot 354 = 10591,68$

Para o cálculo do investimento inicial total, basta somar todos os investimentos anteriores encontrados.

<b>Fluorescente (Caso 2)</b>	$2527,30 + 2794,00 + 2776,22 = 8097,52$
<b>LED (Caso 3)</b>	$2527,30 + 7599,68 = 10126,98$
<b>LED (Caso 4)</b>	$3522,30 + 10591,68 = 14113,98$

## 3. Gastos totais para os três casos propostos

A seguir, estão descritos o procedimento para o cálculo da **Tabela 5.10** e **Tabela 5.11**.

O cálculo dos gastos totais ao longo do tempo é feito pela soma do investimento inicial (equação (2)) com gastos com energia e substituição das lâmpadas (equação (3)) ao longo do tempo. A seguir será exemplificado o exemplo do Caso 2 para  $t=0,5$ .

O cálculo do gasto com a energia ao longo do tempo considera o valor gasto pelo consumo energético das lâmpadas ao longo do ano. Este valor, que foi calculado anteriormente (R\$ 7260,99) deve ser multiplicado pelo tempo  $t=0,5$ . Em seguida, deve-se calcular o valor gasto com a substituição das lâmpadas. Para isso, utiliza-se o fator de substituição (0,312)

multiplicando-se pelo preço de uma lâmpada e pelo número total de lâmpadas, tudo isso vezes o  $t=0,5$ .

A seguir é mostrado como é calculado o gasto para meio ano, ou seja,  $t=0,5$ .

$$G = E \cdot N_0 \cdot N_1 \cdot t + S \cdot N_0 \cdot N_1 \cdot C_1 \cdot t$$

**Equação (3)**

$$G = 7260,99 \cdot t + 0,312 \cdot 10,93 \cdot 254 \cdot t$$

$$G_{0,5} = 7260,99 \cdot 0,5 + 0,312 \cdot 10,93 \cdot 254 \cdot 0,5 = 4063,59$$

Em seguida, para se encontrar o gasto total em 05 anos, basta somar o investimento inicial com o gasto devido ao consumo energético e às substituições. Logo:

$$G_{total} = I_{flu} + G_{flu-0,5} = 8097,52 + 4063,59 = 12161,11$$

Para se encontrar os outros resultados, basta adequar os valores para cada caso e alterar o valor do tempo considerado.