

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

**FERNANDA TIEMY YOSHIDA
RENAN KOVALCZUK PORTELINHA**

**ESTUDO DE UM SISTEMA DE ILUMINAÇÃO EFICIENTE UTILIZANDO A
TECNOLOGIA A LED NO BLOCO E DA UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA
FEDERAL DO PARANÁ - CAMPUS CURITIBA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**CURITIBA
2013**

**FERNANDA TIEMY YOSHIDA
RENAN KOVALCZUK PORTELINHA**

**ESTUDO DE UM SISTEMA DE ILUMINAÇÃO EFICIENTE UTILIZANDO A
TECNOLOGIA A LED NO BLOCO E DA UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA
FEDERAL DO PARANÁ - CÂMPUS CURITIBA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado à disciplina de Metodologia Aplicada ao TCC, do Curso Superior de Engenharia Industrial Elétrica – Ênfase Eletrotécnica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletricista

Orientadora: Profa. Maria de Fátima Ribeiro Raia, Dr. Eng.

Co-orientador: Eng. Ramires Herrmann Mokwa

**CURITIBA
2013**

Fernanda Tiemy Yoshida
Renan Kovalczuk Portelinha

ESTUDO DE UM SISTEMA DE ILUMINAÇÃO EFICIENTE UTILIZANDO A TECNOLOGIA A LED NO BLOCO "E" DA UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ - CÂMPUS CURITIBA

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

Curitiba, 02 de maio de 2013.

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

Profa. Annemarien Gehrke Castagna, Mestre
Coordenadora dos Trabalhos de Conclusão de Curso
de Engenharia Elétrica do DAELT

ORIENTAÇÃO

Profa. Maria de Fátima Ribeiro Raia, Dr. Eng.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Orientadora

Ramires Herrmann Mokwa, Eng.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Co-orientador

BANCA EXAMINADORA

Profa. Maria de Fátima Ribeiro Raia, Dr. Eng.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Ramires Herrmann Mokwa, Eng.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Jair Urbanetz Junior, Dr. Eng.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Carlos Henrique Karam Salata, Esp. Eng.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

AGRADECIMENTOS

Agradecemos, primeiramente, àqueles que indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho - às nossas famílias e amigos, pelo apoio, paciência e compreensão.

Gostaríamos de agradecer à professora Maria de Fatima Ribeiro Raia, pela orientação e dedicação oferecidas à equipe ao longo do desenvolvimento deste Trabalho de Conclusão de Curso.

Expressamos nossa eterna gratidão ao Eng. Ramires Hermann Mowka, que, nos momentos difíceis em que passamos, foi muito mais do que um co-orientador, mas um verdadeiro amigo, o qual nos deu todo o suporte, ajuda e força durante esse período.

Agradecemos, ainda, à banca avaliadora, pela atenção e contribuição dedicadas neste trabalho.

RESUMO

PORTELINHA, Renan K.; YOSHIDA, Fernanda T. Estudo de um sistema de iluminação eficiente utilizando a tecnologia a LED no Bloco E da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Câmpus Curitiba. 2013. 125 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação do Curso Superior de Engenharia Industrial Elétrica – Ênfase Eletrotécnica) – Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

Esta pesquisa apresenta um estudo técnico-econômico sobre a substituição do atual sistema de iluminação do Bloco E da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Curitiba, por um sistema de iluminação baseado na tecnologia a LED. Apresenta informações sobre o aproveitamento de iluminação natural, dados técnicos de diferentes tipos de lâmpadas e suas aplicações, bem como um comparativo entre diferentes *softwares* utilizados para a simulação de iluminação. Coleta dados sobre as características do Bloco E, da Universidade em questão, para avaliar as condições do atual sistema de iluminação. Em seguida são apresentados resultados de simulações de sistemas de iluminação baseados em lâmpadas fluorescentes tubulares e em lâmpadas a LED tubulares. Como resultado é apresentado um comparativo técnico-econômico entre os sistemas simulados, notando-se que a tecnologia a LED ainda possui um custo elevado para a sua utilização em edificações.

Palavras-chave: Sistema de iluminação. Iluminação artificial. Lâmpadas fluorescentes. Lâmpadas a LED. Estudo técnico-econômico.

ABSTRACT

PORTELINHA, Renan K.; YOSHIDA, Fernanda T. Study of an efficient lighting system using LED technology at Bloco E of the Federal Technological University of Paraná – Curitiba Campus. 2013. 125 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação do Curso Superior de Engenharia Industrial Elétrica – Ênfase Eletrotécnica) – Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

This research presents a technical-economic study about the replacement of the current lighting system of Bloco E of the Federal Technological University of Paraná, Curitiba Campus, for a lighting system based on LED technology. It introduces information about natural lighting use, data regarding different types of lamps and their applications, as well as a comparative of existent lighting simulation software. It collects data on the characteristics of Bloco E, of the related University, in order to evaluate the conditions of the current lighting system. Next, outcomes of the simulations with tubular fluorescent lamps and tubular LED lamps are presented. As a result it is made a technical-economic comparison between the simulated systems, and it is noticed that the LED technology is still too expensive in order to be used in buildings.

Keywords: Lighting system. Artificial lighting. Fluorescent lamps. LED lamps. Technical-economic study.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplos de temperatura de cor	21
Figura 2 - Exemplo de diferentes IRC	22
Figura 3 – Típica construção holandesa.....	23
Figura 4 - Diagrama de Trajetórias Solares Aparentes (Latitude - 27° 32' S).....	29
Figura 5 - Distribuição de luminâncias para céu claro	30
Figura 6 - Distribuição de luminâncias para o céu encoberto.....	31
Figura 7 – Determinação da altura <i>Hm</i>	34
Figura 8 - Malha de pontos para a medição.....	35
Figura 9 - Planilha para medições de luminâncias	36
Figura 10 - Composição de lâmpadas incandescentes.....	37
Figura 11 - Catálogo de lâmpadas incandescentes	38
Figura 12 - Exemplo de lâmpada halógena.....	39
Figura 13 - Catálogo de lâmpadas halógenas.....	39
Figura 14 - Catálogo de lâmpadas halógenas - continuação	40
Figura 15 – Composição de lâmpadas de descarga	41
Figura 16 - Lâmpadas de vapor de sódio de baixa pressão - até 60 W	42
Figura 17 - Lâmpada fluorescente tubular.....	43
Figura 18 - Catálogo de lâmpadas fluorescentes tubulares	44
Figura 19 - Catálogo de lâmpadas fluorescentes tubulares (continuação).....	45
Figura 20 - Composição de lâmpadas fluorescentes compactas	46
Figura 21 - Lâmpada fluorescente compacta não integrada	47
Figura 22 - Catálogo de lâmpadas fluorescentes compactas integradas	47
Figura 23 - Catálogo de lâmpadas fluorescentes compactas não integradas (continuação).....	48
Figura 24 - Lâmpada de vapor de mercúrio de alta pressão	50
Figura 25 - Especificações para lâmpadas de vapor de mercúrio de alta pressão ...	50
Figura 26 - Lâmpada de vapor de sódio de alta pressão	51
Figura 27 - Especificações para lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão.....	52
Figura 28 - Esquema interno de uma lâmpada a LED	55
Figura 29 - Instalação de um LED tubular	56
Figura 30 - LED Tubulares	56

Figura 31 - LEDs tubulares.....	57
Figura 32 - Especificações técnicas para LED tubulares	57
Figura 33 - Luminária Lumiblade.....	58
Figura 34 - Eficiência das lâmpadas pelas tecnologias desenvolvidas	Erro! Indicador não definido.
Figura 35 - Economia de energia com o avanço das tecnologias	60
Figura 36 - Partes constituintes de uma luminária	65
Figura 37 - Reator eletromagnético.....	68
Figura 38 - Catálogo de reatores eletromagnéticos	68
Figura 39 - Reator eletrônico.....	71
Figura 40 - Catálogo de reatores eletrônicos	71
Figura 41 - Forma de onda da harmônica	72
Figura 42 - Forma de onda distorcida pela presença de harmônico	72
Figura 43 - Exemplo de simulação com o programa ADELINÉ	75
Figura 44 - Tela de interface do Lightscape 3.2	75
Figura 45 - Simulação do exterior de uma casa durante o verão.....	76
Figura 46 - Simulação da iluminação de um escritório.....	77
Figura 47 - Interface do DIALux	78
Figura 48 - Interface do Lumisoft.....	79
Figura 49 - Mapa da localização do bloco E na UTFPR.....	83
Figura 50 - Salas E101, E201 e E301.....	91
Figura 51 - Salas E102 a E106, E203 a E206 e E302 a E306.	92
Figura 52 - Sala E202.....	92
Figura 53 - Salas E107, E108, E207, E208, E307 e E308	93
Figura 54 - Situação atual da iluminação da sala E-201	93
Figura 55 - Reator atualmente utilizado nas lâmpadas de 32 W	106
Figura 56 - Reator atualmente utilizado nas lâmpadas de 40 W	106
Figura 57 – Driver para LED tubular para potência	106
Figura 58 - Características do driver LED Power Driver Outd.....	107
Figura 59 - Custo da lâmpada fluorescente TL5	109
Figura 60 - Custo do LED tubular.....	109
Figura 61 - Luminária de sobrepor	110

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Iluminâncias solares extraterrestres (EEXT) e equações horárias (xh)....	28
Tabela 2 - Quantidade mínima de pontos a serem medidos	33
Tabela 3 - Posições para medições de luminância	35
Tabela 4 - Rendimento das fontes luminosas	60
Tabela 5 - Comparação entre as lâmpadas	61
Tabela 6 - Cores e as sensações transmitidas.....	81
Tabela 7 – Características das salas de aula do bloco E	85
Tabela 8 - Parâmetros relacionados com os dias escolhidos para a medição	86
Tabela 9 - Iluminância interna das salas de aula	87
Tabela 10 - Dados de iluminância externa difusa em um plano horizontal - considerando-se o horário legal e adotando-se o horário de verão	87
Tabela 11 - Simulação das condições do nível de iluminamento da sala de aula E101, a partir do FLN médio, para o dia típico de cada estação do ano em 2009	87
Tabela 12 - Simulação das condições do nível de iluminamento da sala de aula E301, a partir do FLN médio, para o dia típico de cada estação do ano em 2009	88
Tabela 13 - Simulação das condições do nível de iluminamento da sala de aula E104, a partir do FLN médio, para o dia típico de cada estação do ano em 2009	88
Tabela 14 - Simulação das condições do nível de iluminamento da sala de aula E304, a partir do FLN médio, para o dia típico de cada estação do ano em 2009	88
Tabela 15 - Simulação das condições do nível de iluminamento da sala de aula E107, a partir do FLN médio, para o dia típico de cada estação do ano em 2009	89
Tabela 16 - Simulação das condições do nível de iluminamento da sala de aula E307, a partir do FLN médio, para o dia típico de cada estação do ano em 2009	89
Tabela 17- Análise quantitativa	90
Tabela 18 - Iluminância média, em lux, das salas do primeiro pavimento.....	95
Tabela 19 - Iluminância média, em lux, das salas do segundo pavimento.....	96
Tabela 20 - Iluminância média, em lux, das salas do terceiro pavimento	97
Tabela 21 - Características técnicas das lâmpadas escolhidas	98
Tabela 22 - Simulação para iluminação atual.....	98
Tabela 23 - Simulação para iluminação ideal.....	99
Tabela 24 - Cálculo da diminuição para a iluminação atual	100

Tabela 25 - Cálculo da diminuição com a iluminação ideal.....	101
Tabela 26 – Comparação da potência total instalada do sistema de iluminação das salas de aula do bloco E	102
Tabela 27 - Eficiência luminosa do sistema atual.....	104
Tabela 28 - Eficiência luminosa das lâmpadas atuais, TL5-28W-HE/840 e MASTER LEDtube GA 1200 mm 22W 840 G13	104
Tabela 29 – Estudo de custo.....	111

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADELINE	<i>Advanced Day and Electric Lighting Integrated New Environment</i>
AID	Alta Intensidade de Descarga
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
DEPRO	Departamento de Projetos e Obras
FLN	Fator de Luz Natural
FP	Fator de Potência
HID	<i>High Intensity Discharge</i>
HPM	<i>High Pressure Mercury</i>
HPS	<i>High Pressure Sodium</i>
IEA	Agência Internacional de Energia ou <i>International Energy Agency</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
IRC	Índice de Reprodução de Cor
LED	Diodo Emissor de Luz ou Light Emitting Diodes
MVM	Multivapor Metálico
NBR	Norma Brasileira
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
OLED	Diodo Orgânico Emissor de Luz ou Organic Light Emitting Diode
PROCEL	Programa de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica
RJP	Razão Janela-Parede
UE	União Europeia
UV	Radiação Ultravioleta
VM	Vapor de Mercúrio
VSAP	Vapor de Sódio de Alta Pressão
VSBP	Vapor de Sódio de Baixa Pressão
WWR	<i>Window to Wall Ratio</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

γ_s	Altitude solar
α_s	Azimute solar
S	Área total do ambiente
A_{jan}	Área da abertura (vão) da janela
$A_{caixilho}$	Área da esquadria e de todos os elementos que reduzem a área efetiva do vão da janela
A_{parede}	Área total da parede da fachada que contém a abertura da janela
C	Comprimento do ambiente
c	Correção do horário de verão
δ_s	Declinação solar
D	Dia do mês
J	Dia Juliano
H_m	Distância vertical, em metros, da superfície de trabalho e o topo da janela
η	Eficiência luminosa
x_h	Expressão horária
Kc	Fator caixilho
F_u	Fator de utilização
F_d	Fator de depreciação e refletâncias de teto e das paredes
Φ	Fluxo luminoso
h	Hora local marcada no relógio
h_s	Hora solar verdadeira
E	Iluminância
K	Índice local
I	Intensidade luminosa
L	Largura do ambiente
\varnothing	Latitude
λ	Longitude do local
λ_p	Longitude do meridiano padrão local
M	Número do mês do ano
N	Número total de lâmpadas do ambiente

P_R	Potência de um reator
P_T	Potência total de todos os reatores de um ambiente
i	Valor numérico mensal

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 TEMA	15
1.1.1 Delimitação do Tema.....	15
1.2 PROBLEMAS	15
1.3 OBJETIVOS	16
1.3.1 Objetivo Geral	16
1.3.2 Objetivos Específicos	16
1.4 JUSTIFICATIVA	17
1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	18
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	19
2 REFERENCIAL TEÓRICO	20
2.1 CONCEITOS DE LUMINOTÉCNICA	20
2.2 ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA	22
2.2.1 Iluminação natural	25
2.3 TIPOS DE LÂMPADAS	36
2.3.1 Lâmpadas incandescentes.....	36
2.3.2 Lâmpadas de descarga	40
2.3.3 Diodos emissores de luz	52
2.3.4 OLED.....	57
2.3.5 EFICIÊNCIA LUMINOSA DAS LÂMPADAS.....	59
2.3.6 COMPARAÇÃO ENTRE AS LÂMPADAS	61
2.3.7 DESCARTE DAS LÂMPADAS	62
2.4 LUMINÁRIAS	64
2.5 REATORES.....	66
2.5.1 Reatores eletromagnéticos.....	66
2.5.2 Reatores eletrônicos.....	69
2.6 TAXA DE DISTORÇÃO HARMÔNICA	72
2.7 SOFTWARE DE SIMULAÇÃO	73
2.7.1 Softwares existentes	74
2.8 ILUMINAÇÃO E COMPORTAMENTO HUMANO	79
2.9 NORMAS.....	81
3 ESTUDO TÉCNICO	83
3.1 ILUMINAÇÃO NATURAL	83
3.2 ANÁLISE QUANTITATIVA E QUALITATIVA.....	89
3.3 VERIFICAÇÃO DE ILUMINÂNCIA	94
3.4 SIMULAÇÕES.....	97
3.5 EFICIÊNCIA LUMINOSA.....	102
3.6 FATOR DE POTÊNCIA.....	105
3.7 TAXA DE DISTORÇÃO HARMÔNICA.....	107
3.8 OBSERVAÇÕES DO ESTUDO TÉCNICO.....	108

4 ESTUDO DE CUSTO.....	109
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	112
REFERÊNCIAS.....	115

1 INTRODUÇÃO

Atualmente há uma procura por equipamentos e processos mais eficientes que possam diminuir a demanda por energia, como foi o caso da perda de mercado consumidor das lâmpadas incandescentes por lâmpadas fluorescentes e a busca por fontes renováveis de energia. Dessa forma, a iluminação, que foi apontada, segundo Freitas (2010), como responsável pelo consumo de 19% da energia elétrica mundial e 20% da energia no Brasil, vem recebendo investimentos para o desenvolvimento de novas tecnologias, dentre elas o LED (diodo emissor de luz ou *light emitting diodes*) e o OLED (diodo orgânico emissor de luz ou *organic light emitting diode*), que possam substituir as atuais lâmpadas presentes no mercado, como por exemplo, as fluorescentes.

Os LEDs são constituídos de dois tipos de semicondutores em contato e, ao ser aplicada uma tensão entre eles, as cargas positivas de um semicondutor fluem para a junção, encontrando as cargas negativas vindas do sentido contrário. Quando ambas as cargas se encontram, elas liberam energia em forma de luz, geralmente de uma só cor. Os OLEDs funcionam com o mesmo princípio, porém ao invés dos semicondutores são utilizados compostos orgânicos para a produção da junção com cargas positivas e negativas (TONZANI, 2009).

A iluminação a LED, por sua vez, possui muitas vantagens como, por exemplo, emissão de luz direcional, tamanho compacto, acionamento rápido, pouca irradiação de calor, além da grande emissão de luz por potência absorvida. Devido a essas características o LED é considerado o futuro da iluminação mundial e acredita-se que até 2015, conforme Freitas (2010), já esteja competindo no mercado de igual para igual com tecnologias mais obsoletas.

Uma das maneiras de incentivar essa substituição de tecnologias são as leis governamentais que proíbem a utilização de aparelhos com baixa eficiência energética, visando à economia de energia, como por exemplo, o regulamento da União Europeia (UE) e, que a partir do momento em que determinou exigências mínimas de eficiência para a iluminação, vem gradualmente banindo as lâmpadas incandescentes de seu mercado. Com estas restrições, de acordo com o que foi publicado na revista *Lumière* (2011), é previsto que até o final de 2012 todas as lâmpadas incandescentes de mais de 10 watts de potência sejam proibidas de

serem comercializadas. Tal tendência é mundial e, segundo Vialli e Balazina (2011), no Brasil é previsto que até 2016 as lâmpadas incandescentes estejam fora do mercado.

Apesar de suas vantagens, a iluminação a LED ainda encontra grandes restrições no mercado devido ao seu custo elevado, de forma que os consumidores relevem suas vantagens ambientais e econômicas a longo prazo.

Por conseguinte, um estudo da eficiência da iluminação a LED no bloco E será realizado, para que se verifique se essa troca de sistema de iluminação (luminárias com lâmpadas fluorescentes atualmente utilizadas por luminárias a LED) é viável técnica e economicamente.

1.1 TEMA

1.1.1 Delimitação do Tema

Foi escolhido para o estudo, o sistema de iluminação com lâmpadas fluorescentes do bloco E da Universidade Tecnológica Federal do Paraná e um sistema equivalente com LEDs para o mesmo local, de forma a compará-los.

O desenvolvimento de tecnologias que empregam LEDs como soluções eficientes e econômicas tornou-se crescente, de forma a ocupar um lugar de destaque nos sistemas de iluminação.

O emprego de iluminação eficiente pode, segundo Souza et al. (2011), alcançar economias de 30% a até 70% em edificações não residenciais, ressaltando, assim, a elevada importância de projetos luminotécnicos eficientes em instalações comerciais e industriais.

1.2 PROBLEMAS

A má distribuição dos circuitos de iluminação, a aparente baixa iluminância e o consumo de energia quase contínuo das luminárias (lâmpadas fluorescentes e

reatores) do bloco E fazem com que, formas mais eficiente de iluminação (nesse caso, lâmpadas à LED), sejam estudadas usando a substituição do atual sistema utilizado, além de incentivar um estudo sobre os circuitos de iluminação do bloco supracitado.

Além disso, as lâmpadas fluorescentes, também conhecidas como lâmpadas de mercúrio de baixa pressão, acarretam problemas ambientais por serem de difícil descarte, justamente pela sua composição química; podem gerar harmônicos na rede elétrica; e, em comparação com a tecnologia LED, sua durabilidade é questionável.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Estudar um sistema de iluminação eficiente utilizando a tecnologia a LED no bloco E da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Curitiba.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Efetuar uma pesquisa bibliográfica exploratória e detalhada com coleta de dados sobre o funcionamento das lâmpadas fluorescentes, a LED e a OLED, reatores e luminárias juntamente com os seus respectivos parâmetros necessários para a realização do projeto;
- buscar os projetos elétricos do bloco E;
- fazer um levantamento de todo o sistema de iluminação do bloco E (principalmente nas salas de aula), inclusive utilizando medições práticas dos parâmetros a serem estudados, como por exemplo, a iluminância;
- estudar os circuitos elétricos do bloco E, principalmente das salas de aula, levando-se em conta a iluminação natural da sala de aula;
- procurar um *software* adequado e mais moderno para simulação de sistemas de iluminação, que levem em conta iluminação a LED;

- simular o sistema de iluminação utilizando lâmpadas fluorescentes mais eficientes;
- simular o sistema de iluminação utilizando luminárias a LED;
- realizar estudo técnico das luminárias a LED em comparação com as luminárias fluorescentes mais eficientes;
- realizar estudo de custo da iluminação fluorescente mais eficiente e da à LED;
- escolher o melhor sistema de iluminação para o bloco E.

1.4 JUSTIFICATIVA

A iluminação influencia no rendimento dos alunos e professores, de maneira que se evite o ofuscamento, reflexos incômodos, sombras e contrastes excessivos, segundo o Decreto-Lei 5452/43. Além disso, o uso constante do bloco E faz com que haja determinada demanda de energia que poderia ser diminuída caso fossem utilizadas luminárias mais eficientes, neste caso as luminárias a LED.

A utilização de luminárias a LED, que além de terem uma maior durabilidade, se comparadas as comumente utilizadas, não possuem componentes que agredem o meio ambiente, o que poderia minimizar o problema ocasionado pelo descarte de lâmpadas com elementos nocivos em sua composição, como o fósforo das lâmpadas fluorescentes.

Estudar essas novas tecnologias (LED e OLED) se torna uma parte importante para que possam num futuro, de fato serem implementadas de maneira eficiente, visto a alta demanda de energia elétrica existente com a iluminação. Esse estudo pode ser feito por meio da verificação de dados importantes e depois devidamente comparados entre as lâmpadas fluorescentes (tecnologia atualmente utilizada pela universidade) e as lâmpadas a LED.

Assim, com a utilização de iluminação mais eficiente, sem resíduos para o meio ambiente e com a redução de demanda por energia poderá, ainda que de forma modesta, a UTFPR contribuir para a preservação dos recursos naturais e do meio ambiente e, ainda, proporcionar um maior conforto aos usuários do bloco E.

Por fim, estudos que preveem a viabilidade e a economia a longo prazo são necessários para estimular a utilização dessa crescente tecnologia.

1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O trabalho terá como primeiro passo uma pesquisa bibliográfica exploratória dos assuntos necessários para o desenvolvimento do trabalho, por meio de artigos, monografias de graduação, mestrado e teses de doutorado, de maneira que serão estudados primeiramente os seguintes temas: funcionamento das lâmpadas fluorescentes, a LED e a OLED e seus respectivos componentes e parâmetros, tais como: luminárias, reatores, taxa de distorção harmônica, iluminância, fator de potência, entre outros.

Depois de feita essa pesquisa, será feita uma busca pelos projetos elétricos do bloco E no Departamento de Projetos e Obras (DEPRO) da Universidade, com o devido levantamento de todo o sistema de iluminação do bloco, para que os circuitos de iluminação possam ser analisados e, caso necessário, seja feita uma proposta que melhore a distribuição das luminárias baseadas na iluminação fluorescente e a proposta iluminação a LED. Nessa etapa, trabalhos, em que já exista o estudo da iluminação do bloco E, poderão ser utilizados como referência, como por exemplo, a dissertação de mestrado “Contribuições para uma metodologia de avaliação da eficiência energética em iluminação de salas de aula”, da mestre em tecnologia Suzana Damico Fonseca (2009).

A busca de um *software* adequado para a simulação do sistema de iluminação a LED será feita, de maneira que uma análise dos dados obtidos possa ser feita corretamente. Também será simulado um sistema com lâmpadas fluorescente mais eficiente, de forma que o trabalho “Análise das condições luminotécnicas das salas de aula do Bloco E da Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campus Curitiba e desenvolvimento de projeto alternativo” do engenheiro Cristiano da Rocha Konofal (2008) poderá ser utilizado como referência.

Com base nos dados levantados do Bloco E juntamente com os dados obtidos das simulações e a partir da análise de todo o sistema de iluminação, inclusive os circuitos, um estudo da viabilidade técnica dessas duas tecnologias

(lâmpadas fluorescentes mais eficientes e lâmpadas a LED) poderá ser realizado e, conseqüentemente, o estudo da viabilidade econômica poderá ser feito.

A partir dessas informações levantadas e dos resultados obtidos, a escolha do melhor sistema de iluminação para o bloco E poderá ser feita.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho terá cinco capítulos, sendo eles:

O Capítulo 1 o qual apresenta, a introdução composta pela apresentação da proposta, delimitação do tema, os objetivos, a justificativa e os procedimentos metodológicos definidos na proposta para o desenvolvimento do trabalho.

O Capítulo 2 é destinado à introdução teórica, referente ao funcionamento das lâmpadas fluorescentes, a LED e a OLED, e também ao estudo dos seus respectivos parâmetros, tais como eficiência luminosa, fator de potência (FP) e taxa de distorção harmônica (TDH).

O Capítulo 3 contém o estudo técnico a partir de dados obtidos referentes à iluminação natural, levantamento e disposição das lâmpadas atualmente utilizadas nas salas de aula do bloco E da UTFPR, medição da iluminância dessas lâmpadas, cálculo da eficiência luminosa, além do estudo do FP e da TDH.

No Capítulo 4 é feito o estudo de custo da implantação de um novo sistema de iluminação.

O Capítulo 5 é reservado às considerações finais do projeto desenvolvido.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CONCEITOS DE LUMINOTÉCNICA

Para uma melhor compreensão do trabalho, a seguir são apresentados alguns dos conceitos principais da luminotécnica que serão utilizados ao longo do trabalho:

- intensidade luminosa (I): é a potência de uma radiação luminosa em uma dada direção. Sua unidade, por razões históricas, é a candela (cd), sendo esta definida como a intensidade luminosa emitida por um corpo negro à temperatura de fusão da platina (2035 K) por um orifício de 1 cm². A intensidade avaliada é considerada como sendo de 60 cd (COSTA, 2010);
- fluxo luminoso (Φ): representa a capacidade do fluxo energético de produzir sensação luminosa aos nossos olhos (COSTA, 2010). Sua unidade é o lúmen (lm), sendo considerado como o fluxo luminoso produzido por uma fonte puntiforme de 1 cd, localizada no centro de uma esfera de raio igual a 1 m, em uma área de 1 m² da esfera (CAYE, 2010);
- iluminância (E): é dada pela razão entre o fluxo luminoso e o valor da área atingida. Sua unidade é o lux, definido como a iluminância percebida em uma área plana de 1 m² ao ser atingida por um fluxo luminoso de 1 lm perpendicular à área (CAYE, 2010);
- eficiência luminosa (η): é a quantidade de lúmens emitidos por watt consumido de uma lâmpada, assim sua unidade é lúmens por watts (lm/W) (CAYE, 2010);
- vida mediana: tempo, em horas, que em que 50% das lâmpadas ensaiadas pelo fabricante, sob condições controladas, permanecem acesas (SALES, 2011);
- vida média: tempo, em horas, que o grupo de lâmpadas escolhidas para o ensaio teve uma perda de 25% do fluxo luminoso (PHILIPS, entre 2004 e 2012);
- temperatura de cor: é a grandeza que expressa o quão branca ou amarela é a luz emitida. Sua unidade é o Kelvin (K), sendo proveniente a

partir da comparação da luz emitida por um metal ao ser aquecido, visto que a baixa temperatura resulta em uma fusão com a emissão de luz mais amarelada (luz quente), enquanto que em temperaturas mais elevadas a luz emitida passa a ser branca (luz fria) (COSTA, 2010). A luz diurna atinge o solo terrestre com uma temperatura de cor que varia de 5000 a 5800 K (MARCELINO, 2012). A Figura 1 mostra a diferença que a temperatura de cor provoca em uma imagem;

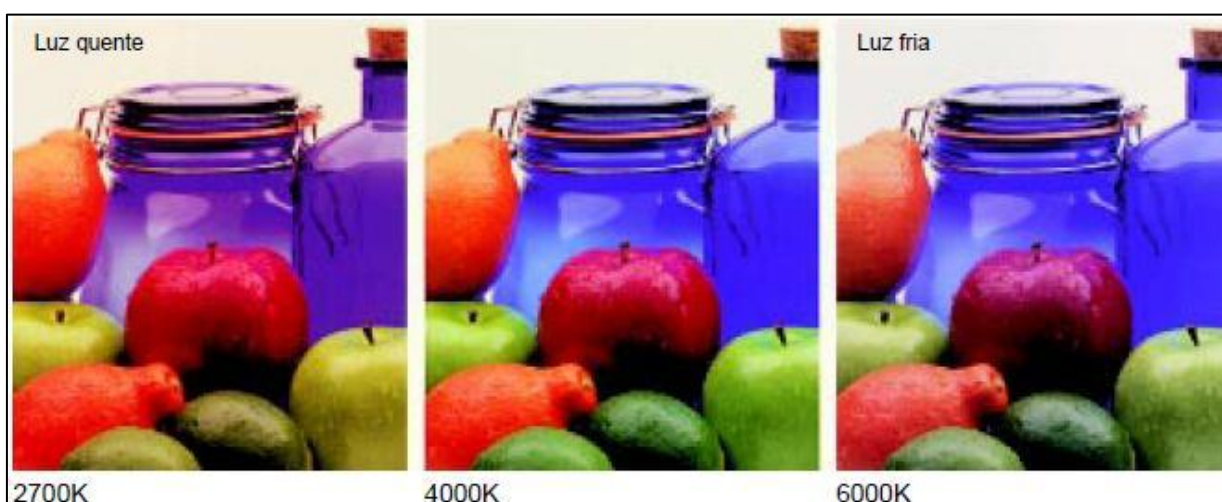


Figura 1 – Exemplos de temperatura de cor
Fonte: Costa (2010).

- índice de reprodução de cor (IRC): é um índice que varia de 0 a 100 que representa a fidelidade de reprodução de cores de uma fonte luminosa, indicando assim a diferença entre a cor real do objeto iluminado e a cor percebida pelo olho humano. Uma fonte luminosa que permite a percepção real da cor de um objeto possui um IRC de 100 (CAYE, 2010). Na Figura 2 é apresentada uma foto com diferentes IRC para sua metade superior e metade inferior.



Figura 2 - Exemplo de diferentes IRC
Fonte: Osram (2012).

2.2 ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA

A arquitetura bioclimática visa reduzir os impactos ambientais, conservar energia e obter conforto ambiental no projeto arquitetônico a ser realizado, articulando a construção ao clima e contexto local. O processo de concepção do projeto harmoniza a construção com o que é oferecido pela natureza, adaptando os edifícios ao clima em que estão inseridos (NEVES, 2006).

Conforme Ferreira (1993), a arquitetura bioclimática pode ser entendida como “o campo de estudos que visa harmonizar habitabilidade das construções ao clima e características locais, pensando no homem que habitará ou trabalhará nelas”. A busca por condições adequadas de habitação, conforto e utilização das edificações tira proveito da energia proveniente das condições climáticas locais, desenvolvendo, assim, características arquitetônicas, equipamentos e sistemas capazes de criar tais condições. Dentre estas podemos ter, por exemplo, o aquecimento ou refrigeração de água ou ar, controle de iluminação, conservação de alimentos, entre outras.

A construção de edifícios com elevada eficiência energética está fortemente atrelada à arquitetura bioclimática, pois são obtidos menores consumos de energia ao se utilizar adequadamente as condições climáticas do local. Edificações construídas sobre esta perspectiva buscam equilíbrio com o microclima e recursos naturais locais, como, por exemplo, o sol, a temperatura, as correntes de ar e a vegetação, ainda mantendo ótimas condições de habitabilidade e utilizando-se de

soluções passivas para o controle de ganhos e perdas de calor com o ambiente, conseqüentemente minimizando a necessidade de mecanismos artificiais para a transmissão energética (NEVES, 2006).

O projeto de edificações adequadas a condições climáticas locais não é algo recente. Conforme Ferreira (1993), tanto na antiga Grécia quanto durante o Império Romano, eram construídas cidades com uma estrutura urbanística que favorecia o condicionamento natural das residências de maneira a, por exemplo, permitir a entrada de luz do sol com maior intensidade nas edificações durante o inverno e minimizar esta durante o verão.

Como exemplificado por Rasmussen (2002), as construções holandesas dos séculos XV, XVI e XVII, devido ao pequeno território do país, eram feitas uma do lado da outra, frequentemente unindo suas paredes laterais, limitando, assim, a entrada de luz das construções somente pelas janelas da frente e dos fundos para a iluminação de seus interiores. Para tanto, estas edificações tinham um pé direito elevado para os padrões atuais, sendo em torno de 4,5 m, conseqüentemente permitindo a instalação de grandes painéis de vidro sobre as janelas de madeira. Durante os dias ensolarados as janelas de madeira eram abertas, permitindo a entrada da luz, porém no mau tempo as janelas eram fechadas e a luz que entrava pelos painéis de vidro permitia a iluminação do ambiente, como mostrado na Figura 3.



Figura 3 – Típica construção holandesa
Fonte: Pitanguy (2010).

Entretanto, o advento da arquitetura moderna partiu das possibilidades que as inovações tecnológicas trouxeram com o passar do tempo, tendo como base a construção em larga escala das edificações, assim como era visto nas indústrias. Isto impôs a generalização de padrões arquitetônicos que desrespeitavam as características bioclimáticas locais, visto que o avanço tecnológico permitiu a manipulação das variáveis relacionadas ao conforto da edificação. A produção arquitetônica foi altamente influenciada pela revolução industrial e suas novas tecnologias, não considerando o clima e a energia gasta na edificação como elementos da própria edificação (FERREIRA, 1993).

Porém, com o início da conscientização dos limites dos recursos energéticos devido à crise de 1970 nesta área econômica, passou a ser reconhecida a necessidade da preservação ambiental, gerando maior preocupação com a produção e conservação de energia. A arquitetura bioclimática reapareceu, conseqüentemente, como um meio de produzir edificações em harmonia com o clima e topografia ao seu redor, tendo como foco o conforto térmico, acústico e luminoso sem a utilização de sistemas mecânicos, elevando assim a eficiência energética das construções e reduzindo o consumo de energia das mesmas (NEVES, 2006).

Segundo Ferreira (1993), a arquitetura bioclimática lida com uma grande gama de variáveis, como dados climáticos, antropológicos, socioculturais e econômicos, exigindo estudos altamente complexos. A antropologia, que é o estudo de estruturas e processos de evolução cultural, interpreta a proteção contras as diferentes intempéries temporais como uma necessidade primária do homem.

A radiação solar é utilizada como fonte de luz e calor. Esta, corretamente aplicada, implica em redução da utilização de iluminação artificial e condiciona o projeto arquitetônico quanto a sua orientação espacial, tanto quanto a localização, dimensão e transparências das janelas. A luz solar, quando aproveitada como fonte de calor, exige que os materiais utilizados para construção sejam adequados, de maneira a permitir ou impedir o fluxo de calor conforme o clima da região (FERREIRA, 1993). Porém, para o conforto térmico não pode ser levada em consideração somente a radiação solar, outros elementos climáticos considerados são: temperatura, umidade, movimento do ar e precipitação na região a ser considerada (NEVES, 2006).

A arquitetura bioclimática é conhecida pela sua elevada eficiência energética, pois conserva e economiza a energia capitada, produzida ou transformada em seu interior, reduzindo o consumo de energia elétrica e a poluição ambiental. Estas características são agregadas a arquitetura bioclimática por esta ser elaborada considerando o clima, posição solar, ventos, vegetação e topografia do local, tendo papel fundamental para a redução do consumo de energia das edificações (CORREA, 2002).

2.2.1 Iluminação natural

A luz é essencial para visão, segundo Silva D. H. (2008), o seguinte processo sucede no olho até chegar ao cérebro:

A luz que entra no olho passa por várias camadas e atinge a retina, onde é transformada em estímulos elétricos, os quais são enviados ao cérebro através do nervo óptico. O cérebro interpreta as informações recebidas e as armazena na memória, de maneira semelhante ao banco de dados de um computador (SILVA, Denis H., 2008).

A iluminação natural, por sua vez, possui grandes vantagens frente à iluminação artificial, tais como: melhor identificação de contrastes, diferenciação de cores e a percepção de formas tridimensionais, maior espectro de luz, de maneira a diminuir o esforço implícito de tarefas visuais.

É provado também que, a longo prazo, a má iluminação em condições em que há grande necessidade ocular pode causar danos à visão. Além disso, a luz natural influencia atitudes e estados de espírito, redução de faltas ao trabalho e na escola, aumento do desempenho e produtividade, diminuição da fadiga, erros, cansaço e defeitos na produção (BERTOLOTTI, 2007). Outrossim, a falta de exposição à luz natural pode causar sérias doenças, como raquitismo, osteomalacia (doença distinguida pela deficiência na calcificação da matriz óssea, causando o amolecimento do esqueleto, de forma que seja mais fácil à ocorrência de deformidades e fraturas) e alguns tipos de depressão (BERTOLOTTI *apud* EDWARDS; TORCELLINI, 2007).

Tal é a importância da iluminação no desempenho dos ocupantes do ambiente, segundo informa Bertolotti (2007), que em uma pesquisa divulgada na

National Renewable Energy por Plympton (2000) em um universo de vinte e um mil estudantes estadunidenses de diversos estados demonstrou um aumento de 20% do aproveitamento em Matemática dos alunos que estudavam em escolas com as condições corretas de iluminação natural e 26% superiores resultados em testes de leitura que os outros alunos.

A fim de se verificar a melhoria que um projeto de iluminação natural pode causar em um ambiente, no que concerne ao conforto visual e ao consumo de energia, conforme norma NBR 15215-2 – Iluminação natural – Parte 2: Procedimentos de cálculo para a estimativa da disponibilidade de luz natural, uma avaliação pode ser feita baseada nessa norma. Os principais dados que são utilizados para o cálculo da disponibilidade de luz natural são: posição do sol, épocas da determinação, latitude e longitude geográfica e o tipo de céu.

A seguir, esses parâmetros serão mais detalhados, conforme especificado pela norma NBR 15215-2.

2.2.1.1 Determinação da posição do sol

Conforme a norma NBR 15215-2, a posição do sol pode ser determinada tanto pelo cálculo dos ângulos de altitude solar (γ_s) e azimute solar (α_s). A altitude solar é o ângulo entre o plano horizontal sobre a terra e os raios solares, azimute solar é o ângulo formado entre a projeção do ângulo de incidência solar sobre a superfície e a orientação norte, sempre tomado pela direita ou no sentido horário.

A altitude solar (γ_s) é calculada pela Equação 1:

$$\gamma_s = \arcsin[\sin \varnothing * \sin \delta_s * \cos(15^\circ \cdot h_s)] \quad (1)$$

em que:

γ_s é a altitude solar, em graus;

\varnothing é a latitude do local, em graus (negativo caso localizado ao sul do equador);

δ_s é declinação solar; e

h_s é a hora solar verdadeira.

A declinação solar (δ_s) é calculada pela Equação 2:

$$\delta_s = 23,45^\circ * \sin(29,7^\circ M + 0,98^\circ D - 109^\circ) \quad (2)$$

em que:

M é o número do mês do ano, sendo igual a 1 para janeiro e 12 para dezembro; e.

D é o número do dia do mês, variando de 1 a 30 ou 1 a 31, exceto para o mês de fevereiro.

A hora solar verdadeira (h_s) é dada pela Equação 3:

$$h_s = h + \frac{(\lambda_p - \lambda)}{15} + x_h - c \quad (3)$$

em que:

h é a hora local marcada no relógio;

λ é a longitude do local, em graus (positivo caso localizado a leste de Greenwich);

λ_p é a longitude do meridiano padrão do local, em graus e múltiplo de 15;

c é a correção do horário de verão, quando em vigor (igual a 1 para o verão e 0 para o inverno); e

x_h é a expressão horária, dada pela Equação 4;

$$x_h = 0,170 \cdot \sin[1,93 \cdot (J) - 154,4] - 0,129 \cdot \sin[1,01(J) - 8,08] \quad (4)$$

na qual:

J é o dia Juliano, dado por $J = i + D$, onde i é o valor numérico mensal, fornecido pela Tabela 1, e D é o dia do mês.

A Tabela 1 indica para cada mês os valores numéricos de i e M dos meses, assim como a declinação solar, as iluminâncias solares extraterrestres e equações horárias para os dias 21 de cada mês.

Tabela 1 - Iluminâncias solares extraterrestres (E_{EXT}) e equações horárias (x_h)

Mês	M	Dia	i	δ_s	E_{EXT} [lx]	x_h [h]
Janeiro	1	21	0	-20,041	131.605	-0,185
Fevereiro	2	21	31	-11,376	130.327	-0,228
Março	3	21	59	0,278	128.482	-0,123
Abril	4	21	90	11,859	126.198	0,022
Mai	5	21	120	20,325	124.327	0,058
Junho	6	21	151	23,45	123.266	-0,025
Julho	7	21	181	20,414	123.359	-0,105
Agosto	8	21	212	12,014	124.586	-0,059
Setembro	9	21	243	0,458	126.623	0,112
Outubro	10	21	273	-11,218	128.833	0,258
Novembro	11	21	304	-19,947	130.746	0,239
Dezembro	12	21	334	-23,435	131.741	0,049

Fonte: Adaptado de ABNT NBR-15215-2 (2005).

A Equação 4 é o termo de correção entre a hora solar e a hora do relógio, e possui os seguintes limites definidos pela Equação 5:

$$-14 \text{ min } 17 \text{ s} \leq x_h \leq +16 \text{ min } 25 \text{ s} \quad (5)$$

O azimute solar (α_s) é, então, calculado pela Equação 6 e Equação 7:

$$\alpha_s = \arccos \left[\frac{\cos \varphi \sin \delta_s + \sin \varphi \cos \delta_s \cos 15h_s}{\cos \gamma_s} \right] \text{ para } h_s \leq 12 \text{ h } 00 \text{ min} \quad (6)$$

$$\alpha_s^{12 \text{ h } 00 \text{ min} - 24 \text{ h } 00 \text{ min}} = 360^\circ - \alpha_s \text{ para } h_s > 12 \text{ h } 00 \text{ min} \quad (7)$$

Os cálculos devem ser realizados para dia, hora e latitude pré-definidos, quanto pela estimativa feita pelos diagramas de trajetórias solares aparentes, como exemplificado na Figura 4.

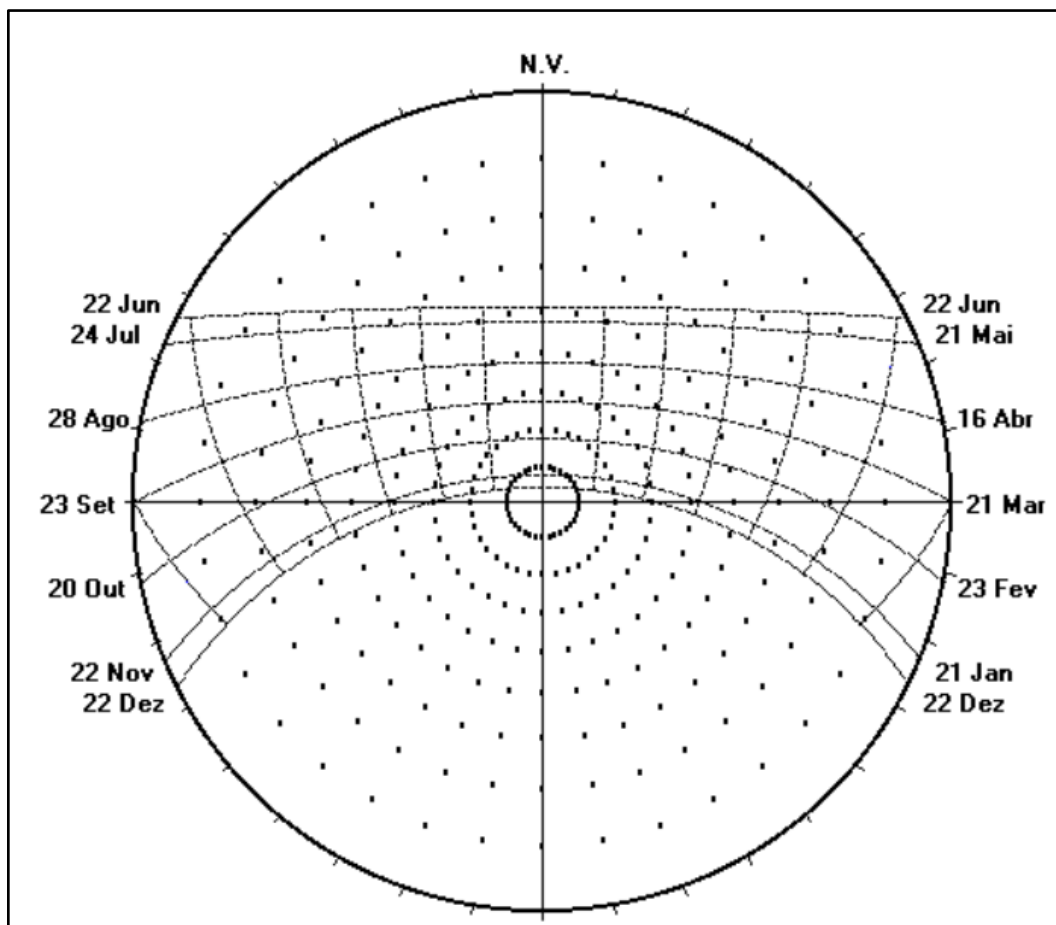


Figura 4 - Diagrama de Trajetórias Solares Aparentes (Latitude - 27° 32' S)
 Fonte: ABNT NBR-15215-3 (2007).

2.2.1.1.1 Condições de céu

São três as condições de céu especificadas pela norma NBR 15215-2 (2005), são elas:

- céu claro: inexistência de nuvens e baixa nebulosidade, condição marcada pela cor azul do céu. A Figura 5 mostra a distribuição de luminâncias para esse tipo de céu;
- céu encoberto: presença de nuvens e céu caracterizado pela coloração cinza-claro. A Figura 6 mostra a distribuição de luminâncias para esse tipo de céu;
- céu parcialmente encoberto ou intermediário: condição definida pela norma como intermediária entre o céu claro e o céu encoberto.

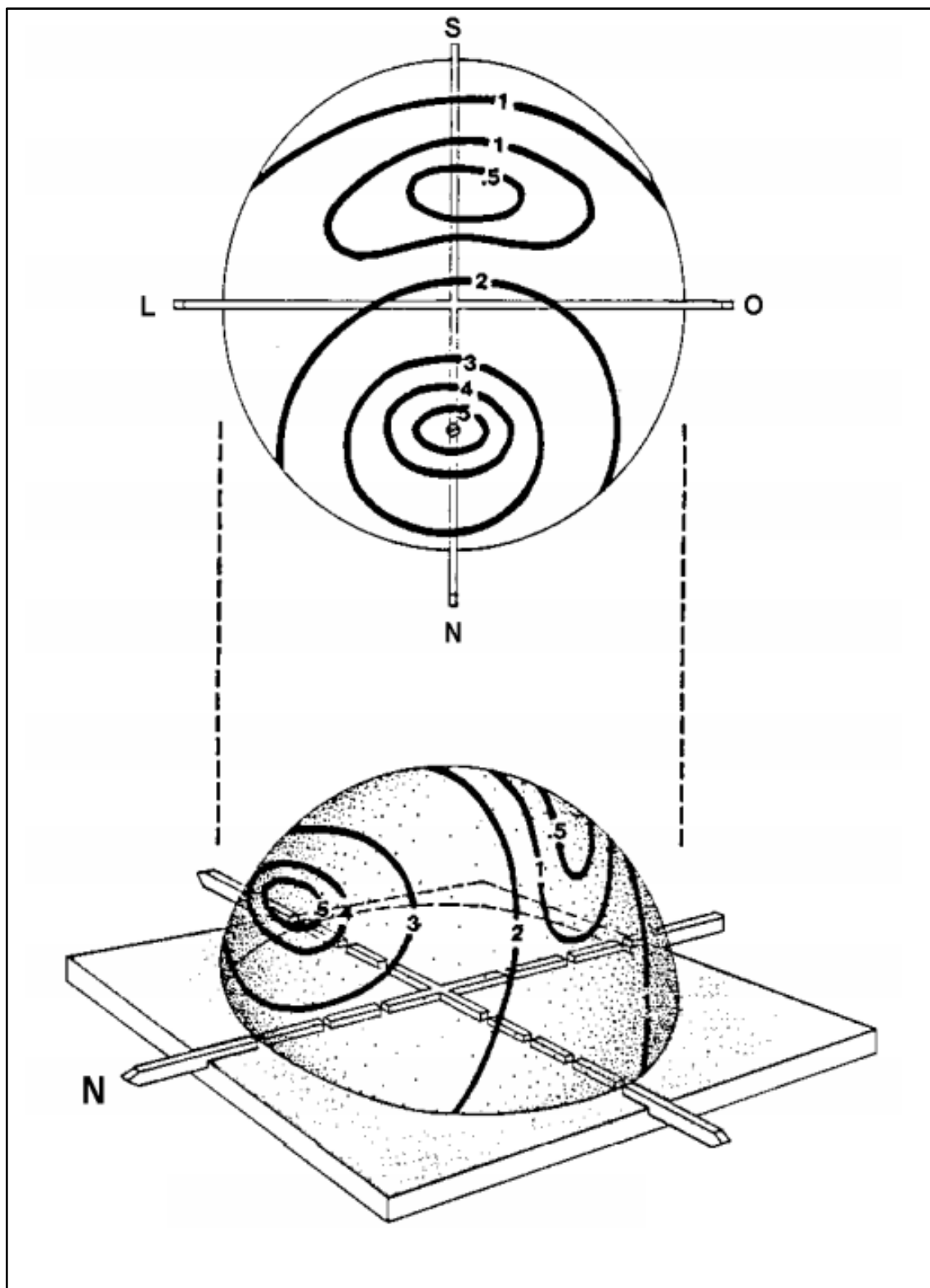


Figura 5 - Distribuição de luminâncias para céu claro
Fonte: ABNT NBR-15215-2 (2005).

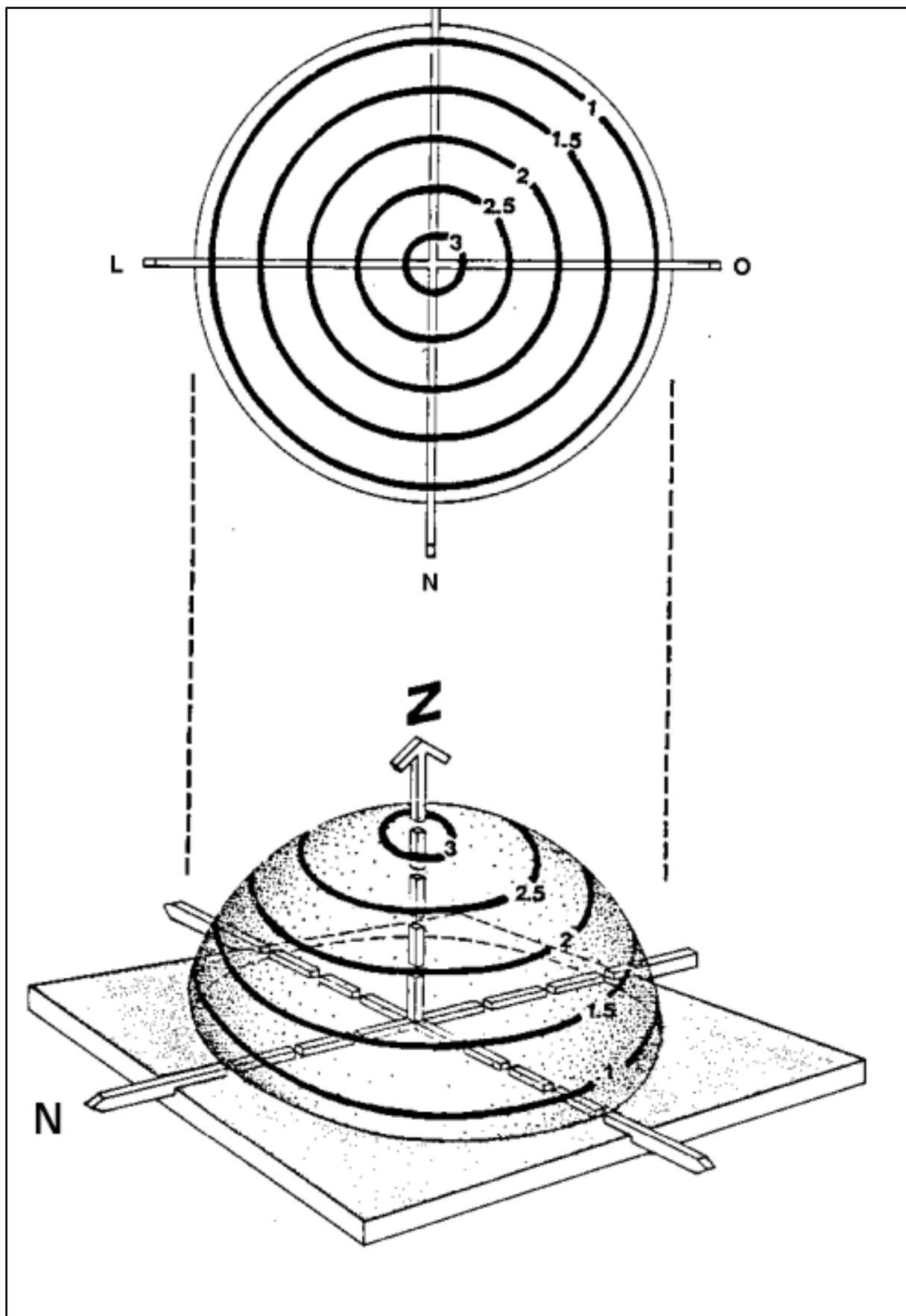


Figura 6 - Distribuição de luminâncias para o céu encoberto
Fonte: ABNT NBR-15215-2 (2005).

2.2.1.1.2 Caracterização das condições do céu

É uma estimativa feita visualmente pela quantidade de nuvens que estão no céu (método utilizado pela *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)*), de forma percentual, variando de 0% a 100%. Assim:

- céu claro: 0% a 35%;
- céu parcial: 35% a 75%;
- céu encoberto: 75% a 100%.

2.2.1.1.3 Épocas da determinação

Conforme a norma NBR 15215-4 - Iluminação natural - Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna das edificações - Métodos de medição, para que haja medições mais verossímeis é indicado realizar as medições em diferentes horas do dia (horário legal) e diferentes épocas do ano. No caso que é abordado nesse projeto (impossibilidade da medição ao longo de um ano), é aconselhada que a medição seja feita em um dia próximo ao solstício de verão (22 de dezembro) e de inverno (22 de junho), ademais a cada duas horas a partir do início do expediente.

2.2.1.1.4 Medição

A medição, por sua vez, ressalta Fonseca (2007), segue a metodologia apresentada na norma NBR 15215-4 - Iluminação natural - Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna das edificações - Métodos de medição, na qual é estabelecido:

- os instrumentos que serão utilizados, tais como luxímetro e luminancímetros;
- dimensão dos sensores, que no caso de modelos arquitetônicos em escala reduzida não deve ser maior que 0,03 m² na escala do modelo.

Para sensores circulares, o diâmetro não deve ser superior a 20 cm na escala do modelo;

- qualidade dos instrumentos, obtida por meio da resposta espectral (o sensor deve apresentar uma sensibilidade espectral próxima à curva de sensibilidade do olho humano), sensibilidade à temperatura (a utilização recomendada pela norma é a temperatura de 25°C, para se evitar que as variações de temperatura causem erro na medições, e evitar o uso em ambientes com temperatura abaixo de 15°C e acima de 50°C, com a exceção de quando é especificado pelo fabricante), resposta ao efeito cosseno (resposta do medidor para a luz incidente na fotocélula em diferentes ângulos), resposta a linearidade (a não linearidade da resposta para iluminâncias elevadas é diretamente proporcional à resistência do circuito da fotocélula), e acurácia (o erro total máximo de 10%);
- condições do céu;
- iluminância em planos de trabalho;
- quantidade de pontos, a qual é obtida por meio da sua relação com o índice do local (K), que é determinado pela Equação 8:

$$K = (C \cdot L) / (H_m \cdot (C + L)) \quad (8)$$

em que,

L é a largura do ambiente, em metros

C é o comprimento do ambiente, em metros

H_m é a distância vertical, em metros, entre a superfície de trabalho e o topo da janela, em metros, conforme indicado na Figura 7.

Assim, a quantidade mínima de pontos é determinada pela Tabela 2;

Tabela 2 - Quantidade mínima de pontos a serem medidos

K	Nº de Pontos
$K < 1$	9
$1 \leq K < 2$	16
$2 \leq K < 3$	25
$K \geq 3$	36

Fonte: Adaptado de ABNT NBR-15215-4 (2005) apud CISBE (1984).

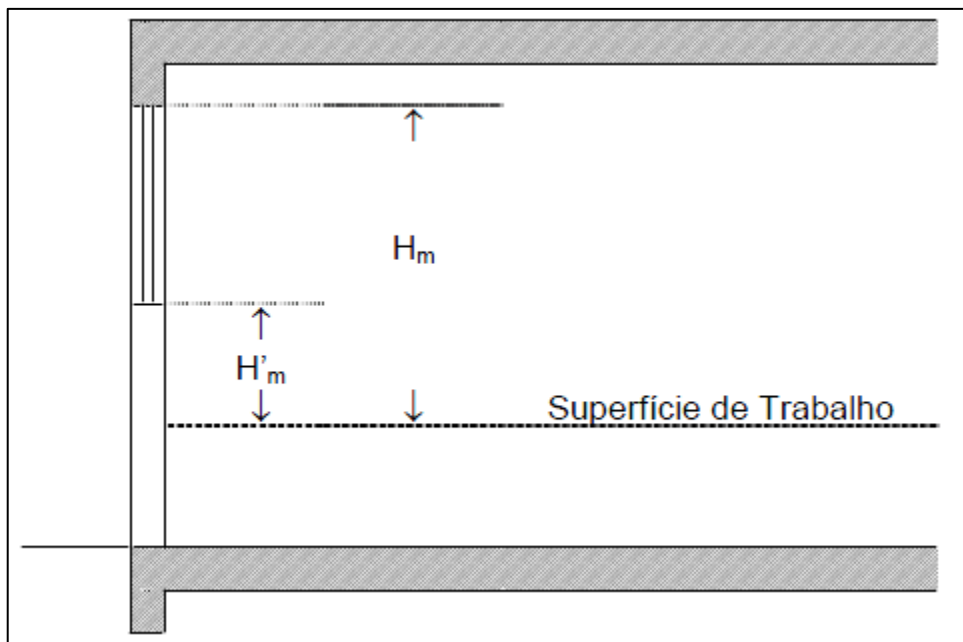


Figura 7 – Determinação da altura H_m
Fonte: ABNT NBR-15215-4 (2005).

- malha de pontos para medições, de maneira que o ambiente a ser medido seja dividido em quadrados ou formato próximo a quadrados de áreas iguais. A iluminância deve ser medida no centro de cada uma das áreas, como observado na Figura 8. É, também, aconselhado pela norma evitar que a malha fique muito próxima de paredes, recomendando uma distância mínima de 0,50 m. Além disso, é sugerido que $d_1 = d_2$ sempre que possível, conforme mostra a Figura 8;
- medição da iluminância externa de referência, sendo recomendada a “medição externa horizontal na condição mais desobstruída possível” (NBR-15215-4);
- medições de iluminância, as quais estabelecem o estado de brilho da superfície de trabalho utilizado por um usuário e do entorno próximo. A Tabela 3 determina as posições que devem ser avaliadas durante as medições. Além disso, para as medições de distribuição de iluminâncias é proposta a utilização da planilha que caracteriza o campo de visão do usuário, conforme mostrado na Figura 9.

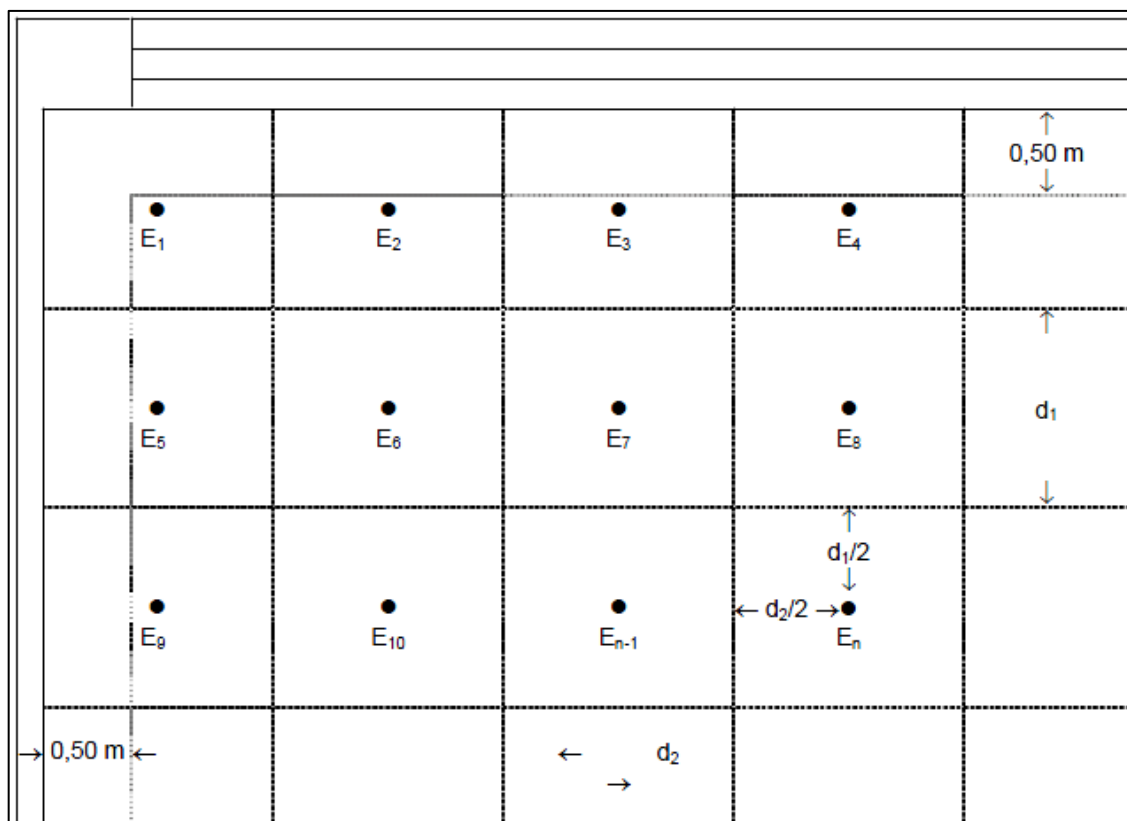


Figura 8 - Malha de pontos para a medição
Fonte: ABNT NBR-15215-4 (2005).

Ainda para efeito das medições, a norma NBR-15215-3: Procedimento de cálculo para a determinação da iluminação natural em ambientes internos pode ser consultada.

Tabela 3 - Posições para medições de luminância

Posições	Luminância [cd/m ²]				
	A	B	C	D	E
Luminária 45° acima do nível dos olhos					
Luminária 30° acima do nível dos olhos					
Luminária 15° acima do nível dos olhos					
Forro acima da luminária					
Forro entre as luminárias					
Parte superior da parede ou o forro adjacente à luminária					
Parte superior da parede entre duas luminárias					
Parede ao nível dos olhos					
Piso					
Cortinas					
Janelas					
Tarefa					
Área central da tarefa					
Área adjacente da tarefa					
Maior luminância no campo de visão					

NOTA: A, B, C, D e E são pontos de observação dentro do ambiente.

Fonte: Adaptado de ABNT NBR-15215-4 (2005).

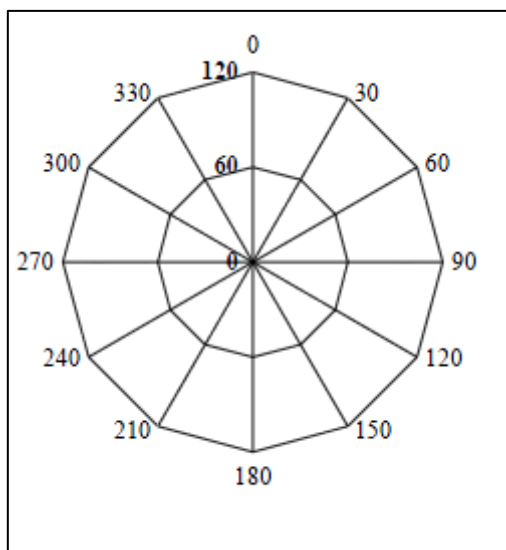


Figura 9 - Planilha para medições de luminâncias
Fonte: ABNT NBR-15215-4 (2005).

2.3 TIPOS DE LÂMPADAS

2.3.1 Lâmpadas incandescentes

As lâmpadas incandescentes que, apesar de serem as mais comuns, estão começando a entrar em desuso devido ao seu baixo rendimento (aproximadamente 10 lm/W) e pouca durabilidade (aproximadamente 1000 h). Porém, essas lâmpadas possuem boa reprodução de cores (IRC 100), temperatura de cor por volta de 2700 K, variação de fluxo luminoso e baixo preço. Por meio da passagem de corrente elétrica por um filamento fino, geralmente de tungstênio (por ser esse elemento de alto ponto de fusão e uma baixa taxa de evaporação) imerso em um invólucro contendo um gás inerte ou vácuo, para que o filamento não entre em combustão, essas lâmpadas produzem luz e calor, graças ao efeito Joule, sem a necessidade de um equipamento auxiliar, ou seja, são diretamente ligadas a rede elétrica (SOUSA, 2011).

São aplicadas na iluminação geral de residências, comércio e hotéis, como por exemplo, em quartos, salas, cozinhas, banheiros e iluminação de emergência (Philips, 2009).

Na Figura 10 a composição de uma lâmpada incandescente e na Figura 11 pode-se observar as características de algumas lâmpadas incandescentes disponibilizadas pela Philips.



Figura 10 - Composição de lâmpadas incandescentes
Fonte: Philips [entre 2004 e 2012].

2.3.1.2 Lâmpadas halógenas

O princípio de funcionamento das lâmpadas halógenas é o mesmo das lâmpadas incandescentes, ou seja, um filamento fino (nesse caso de tungstênio) de alta resistência elétrica é percorrido por corrente elétrica e, assim, luz e calor são produzidos. A diferença do funcionamento das halógenas é que possuem ciclo halógeno regenerativo: o filamento de tungstênio está imerso em um halógeno (iodo, flúor, bromo, cloro), que possui a função de interagir com o tungstênio que se desprende quando há a passagem de corrente elétrica no filamento, de maneira que forme um composto, que quando aproximado do filamento em alta temperatura irá fazer com que o tungstênio se una novamente ao filamento, regenerando a molécula. Esse ciclo faz, também, com que o bulbo das lâmpadas não fique preto (SOUSA, 2011). Possuem uma eficiência luminosa maior que as lâmpadas incandescentes (15 lm/W a 25 lm/W), e vida útil entre 2000 a 4000 horas (FREITAS, 2010).

Lâmpadas Incandescentes										
Código Comercial	Potência (W)	Bulbo	Tensão (V)	Base	Acabamento	Fluxo luminoso (lm)	Eficiência luminosa (lm/W)	Vida mediana (horas)*	Dimensões em mm	
				Ø	Altura					
Standard										
STD-127V25-N	25	A55	127	E27	CLARA	230	9	750	55,0	97,0
STD-220V25-N	25	A55	220	E27	CLARA	220	9	1.000	55,0	97,0
STD-127V40-N	40	A55	127	E27	CLARA	516	13	750	55,0	97,0
STD-220V40-N	40	A55	220	E27	CLARA	415	10	1.000	55,0	97,0
STD-127V60-N	60	A55	127	E27	CLARA	864	14	750	55,0	97,0
STD-220V60-N	60	A55	220	E27	CLARA	715	12	1.000	55,0	97,0
STD-127V100-N	100	A55	127	E27	CLARA	1.620	16	750	55,0	97,0
STD-220V100-N	100	A55	220	E27	CLARA	1.350	14	1.000	55,0	97,0
STD-127V150	150	A65	127	E27	CLARA	2.505	17	750	65,0	125,0
STD-220V150	150	A65	220	E27	CLARA	2.180	14	1.000	65,0	125,0
STD-127V200	200	A65	127	E27	CLARA	3.520	18	750	65,0	125,0
STD-220V200	200	A65	220	E27	CLARA	3.090	15	1.000	65,0	125,0
Soft										
SOFT-127V25	25	E60	127	E27	SUAVE	230	9	1.000	60,0	106,0
SOFT-220V25	25	E60	220	E27	SUAVE	230	9	1.000	60,0	106,0
SOFT-127V40	40	E60	127	E27	SUAVE	516	13	1.000	60,0	106,0
SOFT-220V40	40	E60	220	E27	SUAVE	415	10	1.000	60,0	106,0
SOFT-127V60	60	E60	127	E27	SUAVE	864	14	1.000	60,0	106,0
SOFT-220V60	60	E60	220	E27	SUAVE	715	12	1.000	60,0	106,0
SOFT-127V100	100	E60	127	E27	SUAVE	1.620	16	1.000	60,0	106,0
SOFT-220V100	100	E60	220	E27	SUAVE	1.350	14	1.000	60,0	106,0
Vela Baão										
VB-CL-127V60-BR	60	BF50	127	E27	CLARA	750	12	1.000	54,0	127,5
VB-CL-220V60-BR	60	BF50	220	E27	CLARA	730	12	1.000	54,0	127,5
VB-AG-127V60-BR	60	BF50	127	E27	SUAVE	740	12	1.000	54,0	127,5
VB-AG-220V60-BR	60	BF50	220	E27	SUAVE	680	11	1.000	54,0	127,5
Vela Lisa										
VL-CL-127V25-BR	25	B35	127	E27	CLARA	255	10	1.000	35,0	96,0
VL-CL-220V25-BR	25	B35	220	E27	CLARA	205	8	1.000	35,0	96,0
VL-CL-127V40-BR	40	B35	127	E27	CLARA	480	12	1.000	35,0	96,0
VL-CL-220V40-BR	40	B35	220	E27	CLARA	395	10	1.000	35,0	96,0
VL-AG-127V25-BR	25	B35	127	E27	SUAVE	255	10	1.000	35,0	96,0
VL-AG-220V25-BR	25	B35	220	E27	SUAVE	205	8	1.000	35,0	96,0
VL-AG-127V40-BR	40	B35	127	E27	SUAVE	480	12	1.000	35,0	96,0
VL-AG-220V40-BR	40	B35	220	E27	SUAVE	395	10	1.000	35,0	96,0








* Expectativa de vida desta lâmpada com base no uso médio residencial de 1.000 hs/ano, em tensão elétrica padronizada constante.

Figura 11 - Catálogo de lâmpadas incandescentes
Fonte: Philips (2009).

Essas lâmpadas são bastante utilizadas na iluminação decorativa e de destaque de objetos, assim, podem ser aplicadas em lojas, hotéis, restaurantes, residências, museus e galerias de arte, por exemplo, (Philips, 2009). Na Figura 12 há um exemplo de lâmpada halógena e na Figura 13 e Figura 14 exemplos de catálogos fornecidos para esse tipo de lâmpada.



Figura 12 - Exemplo de lâmpada halógena
Fonte: Ipem – SP (2012).

Lâmpadas Halógenas										
Código Comercial	Potência (W)	Tensão (V)	Base	Máxima intensidade luminosa (cd)	Abertura de Facho	Temperatura de cor (K)	Índice de reprodução de cor (IRC)	Vida mediana (horas)	Dimensões em mm Ø Altura	Transformador N°
Dicróica Essencial										
 DIC12V20W-36F-CX	20	12	GU 5.3	400	36°	2.900	100	2.000	50,0 46,0	140, 141, 142, 143
DIC12V50W36BLIS	50	12	GU 5.3	1.200	36°	3.200	100	2.000	50,0 46,0	
DIC12V50W-36F-CX	50	12	GU 5.3	1.200	36°	2.900	100	2.000	50,0 46,0	
Dicróica BrilliantLine Pro										
 DIC12V20W-10-F	20	12	GU 5.3	5.000	10°	3.100	100	4.000	50,0 46,0	140, 141, 142, 143
DIC12V20W-36-F	20	12	GU 5.3	780	36°	3.100	100	4.000	50,0 46,0	
DIC12V50W-10-F	50	12	GU 5.3	13.000	10°	3.200	100	4.000	50,0 46,0	
DIC12V50W-36-F	50	12	GU 5.3	2.200	36°	3.200	100	4.000	50,0 46,0	
Mini Dicróica BrilliantLine Pro										
 DIC12V35W10FMIN	35	12	GU4	7.000	10°	3.000	100	4.000	35,3 40	140, 141, 142, 143
DIC12V35W30FMIN	35	12	GU4	1.300	30°	3.000	100	4.000	35,3 40	
Dicróica MASTERLine										
 DIC20W12VML8G	20	12	GU 5.3	6.500	8°	3.000	100	5.000	51 50,5	140, 141, 142, 143
DIC20W12VML36G	20	12	GU 5.3	1.000	36°	3.000	100	5.000	51 50,5	
DIC35W12VML8G	35	12	GU 5.3	13.500	8°	3.000	100	5.000	51 50,5	
DIC35W12VML36G	35	12	GU 5.3	2.200	36°	3.000	100	5.000	51 50,5	
AluLine Pro										
 ALR111-12V50-8G	50	12	G53	23.000	8°	3.000	100	3.000	111,0 60,0	140, 141, 142, 143
ALR111-12V100-8G	100	12	G53	48.000	8°	3.000	100	3.000	111,0 60,0	
ALR111-12V50-24G	50	12	G53	4.000	24°	3.000	100	3.000	111,0 60,0	
ALR111-12V100-24G	100	12	G53	8.500	24°	3.000	100	3.000	111,0 60,0	
AluLine MV Pro										
 ALR111-127V60-24	60	120-130	GZ10	3.000	24°	2.800	100	3.000	112,0 64,0	–
ALR111-220V60-24	60	220-230	GZ10	3.000	24°	2.800	100	3.000	112,0 64,0	–
TwistLine										
 TWIST50W130V40C	50	130	GZ10	463	40°	2.700	100	1.500	51,0 51,0	–
TWIST50W220V40C	50	220	GZ10	463	40°	2.700	100	1.500	51,0 51,0	–
TWIST50W130V40L*	50	130	GZ10	463	40°	2.700	100	1.500	51,0 51,0	–
TWIST50W220V40L*	50	220	GZ10	463	40°	2.700	100	1.500	51,0 51,0	–

* com cabo e soquete

Figura 13 - Catálogo de lâmpadas halógenas
Fonte: Philips (2009).

Lâmpadas Halógenas										
Código Comercial	Potência (W)	Tensão (V)	Base	Máxima intensidade luminosa (cd)	Abertura de Facho	Temperatura de cor (K)	Índice de reprodução de cor (IRC)	Vida mediana (horas)	Dimensões em mm Ø Altura	Transformador N°
Mini JDR										
JDR130V50W40FM	50	130	E27	400	40°	2.700	100	2.000	51,0 70,0	-
JDR220V50W40FM	50	220	E27	400	40°	2.700	100	2.000	51,0 66,0	-
PAR Pro										
PAR20-50W130-25	50	130	E27	1.400	30°	3.000	100	2.500	64,5 91,0	-
PAR20-50W230-25	50	220	E27	1.000	25°	2.800	100	2.500	64,5 91,0	-
PAR30S-75W130-30	75	130	E27	3.400	30°	3.000	100	2.500	97,0 90,5	-
PAR30S-75W230-30	75	220	E27	2.000	30°	2.900	100	2.500	97,0 90,5	-
PAR38-100W130-30	100	130	E27	4.500	30°	3.000	100	2.500	123,5 136,0	-
PAR38-100W230-30	100	220	E27	3.000	30°	2.900	100	2.500	123,5 136,0	-
Descrição Comercial	Potência (W)	Tensão (V)	Base	Fluxo Luminoso (lm)	Eficiência luminosa (lm/W)	Temperatura de Cor (K)	Índice de reprodução de cor (IRC)	Vida mediana (horas)	Dimensões em mm Ø Comprimento	Transformador N°
Cápsula (ClickLine Standard)										
CLICKCL40W127-B	40	130	G9	300	7,5	3.000	100	2.000	12,75 46,0	-
CLICKFR40W127-B	40	130	G9	300	7,5	3.000	100	2.000	12,75 46,0	-
CLICKCL40W230-B	40	230	G9	300	7,5	3.000	100	2.000	12,75 46,0	-
CLICKFR40W230-B	40	230	G9	300	7,5	3.000	100	2.000	12,75 46,0	-
CLICKCL60W127-B	60	130	G9	570	9,5	3.000	100	2.000	12,75 46,0	-
CLICKFR60W230-B	60	230	G9	570	9,5	3.000	100	2.000	12,75 46,0	-
Duplo Contato (Palito)										
HA150-127VBBOX-B	150	110-127V	R7-s	2.400	16	3.000	100	1.000	11,0 78,3	-
HA150-220VBBOX-B	150	220-240V	R7-s	2.400	16	3.000	100	1.000	11,0 78,3	-
HA200-127VBBOX-B	200	110-127V	R7-s	3.000	15	3.000	100	1.000	11,0 117,6	-
HA200-220VBBOX-B	200	220-240V	R7-s	2.600	13	3.000	100	1.000	11,0 117,6	-
HA300-127VBBOX-B	300	110-127V	R7-s	5.000	17	3.000	100	1.000	11,0 117,6	-
HA300-220VBBOX-B	300	220-240V	R7-s	4.000	13	3.000	100	1.000	11,0 117,6	-
HA500-127VBBOX-B	500	110-127V	R7-s	9.500	19	3.000	100	1.000	11,0 117,6	-
HA500-220VBBOX-B	500	220-240V	R7-s	8.000	16	3.000	100	1.000	11,0 117,6	-
HA100-130V-BBOX	100	120	R7s-15	1.550	16	3.000	100	2.000	11,0 78,3	-
HA100-230V-BBOX	100	230	R7s-15	1.550	16	3.000	100	2.000	11,0 78,3	-
HA150-130V-BBOX	150	120	R7s-15	2.550	17	3.000	100	2.000	11,0 78,3	-
HA150-230V-BBOX	150	230	R7s-15	2.550	17	3.000	100	2.000	11,0 78,3	-
HA200-130V-BBOX	200	120	R7s-15	3.520	18	3.000	100	2.000	11,0 117,6	-
HA200-230V-BBOX	200	230	R7s-15	3.520	18	3.000	100	2.000	11,0 117,6	-
HA300-130V-BBOX	300	120	R7s-15	5.600	19	3.000	100	2.000	11,0 117,6	-
HA300-230V-BBOX	300	230	R7s-15	5.600	19	3.000	100	2.000	11,0 117,6	-
HA500-130V-BBOX	500	120	R7s-15	9.900	20	3.000	100	2.000	11,0 117,6	-
HA500-230V-BBOX	500	230	R7s-15	9.900	20	3.000	100	2.000	11,0 117,6	-
HA1000-127V	1000	120	R7s-15	24.200	24	3.000	100	2.000	11,0 189,1	-
HA1000-230V	1000	230	R7s-15	24.200	24	3.000	100	2.000	11,0 189,1	-
Cápsula 12 Volts										
CAPSULA-20W12V	20	12	G4	300	15	3.000	100	2.000	9,3 33,0	140, 141, 142, 143
CAPSULA-50W12V	50	12	GY 6.35	800	16	3.000	100	1.500	12,0 42,0	

Figura 14 - Catálogo de lâmpadas halógenas - continuação
Fonte: Philips (2009).

2.3.2 Lâmpadas de descarga

As lâmpadas de descarga estão imersas em um invólucro translúcido, chamado de tubo de descarga, e emitem luz por meio da condução de corrente elétrica em um gás, mistura de gases ou vapores (TOMM, 2007), que é classificado como isolante e condutor quando ionizado (FONTOURA, 2007).

O funcionamento das lâmpadas de descarga varia conforme os seus tipos que são: lâmpadas de descarga de baixa pressão (fluorescente tubulares, circulares e compactas) e as de alta pressão (mercúrio puro, de sódio, metálicas, entre outras).

O princípio básico, porém, baseia-se na passagem de corrente elétrica da parte negativa (ânodo) para a parte positiva (catodo) devido a uma diferença de potencial externa, desde que o campo elétrico tenha uma intensidade superior a um valor crítico que permita que os gases se ionizem e promovam a passagem de elétrons entre os eletrodos formando, conseqüentemente, o arco elétrico. Dessa forma, para que esse campo elétrico exceda o valor crítico, existe um circuito externo, chamado de circuito ignitor.

A luz que é emitida é decorrente do retorno do elétron a sua camada de equivalência inicial, ou seja, quando há a colisão dos átomos, um elétron passa para um nível mais alto de energia e quando retorna para um nível mais baixo essa diferença de energia é liberada em forma de luz (fóton) e calor. Além disso, pode haver durante essas colisões a liberação de elétron de um átomo, tornando-se conseqüentemente, um elétron livre, o qual também pode se colidir com átomos desencadeando o processo supracitado. A importância de como ocorre esse fenômeno decorre do fato de que a forma como os átomos são excitados influencia na cor da luz emitida (FONTOURA, 2007).

Como a ionização do gás é contínua, devido à infinidade de elétrons, uma corrente elétrica elevada surge, por conseguinte uma impedância em série com o circuito de ionização deve ser adicionada para limitar essa corrente de descarga. Essa impedância é denominada de reator (FONTOURA, 2007).

Na Figura 15 observa-se a composição da lâmpada de descarga.

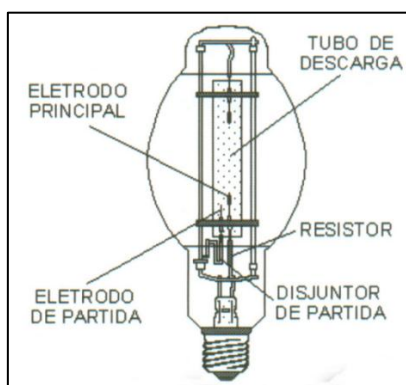


Figura 15 – Composição de lâmpadas de descarga
Fonte: Luz (2009).

2.3.2.1 Lâmpadas de descarga de baixa pressão

2.3.2.1.1 Lâmpadas de sódio de baixa pressão

As lâmpadas de sódio de baixa pressão possuem um tubo de descarga em forma de "U", no qual estão localizados os eletrodos e a região de baixa pressão composta por gás neônio, 0,5% de argônio a baixa pressão e sódio metálico que é vaporizado durante o seu funcionamento. O tubo de descarga é encoberto por uma camisa interna, preenchida com vácuo a fim de se evitar a variação do fluxo luminoso gerado com a variação da temperatura ambiente (ANDREOLI, 2011).

A pressão interna ideal é de 0,67 Pa ($6,61 \times 10^{-6}$ atm), sendo obtida com a temperatura de 260°C em seu tubo interno. Essas lâmpadas não são utilizadas para iluminação interna devido à característica monocromática de sua iluminação, que distorce as cores, sendo mais utilizada para iluminação de túneis, ruas e autoestradas.

As lâmpadas de vapor de sódio de baixa pressão mais comuns possuem alta eficiência luminosa, por volta de 100 lm/W, e uma boa durabilidade, aproximadamente 6.000 horas. Atualmente foram desenvolvidas na Europa lâmpadas desse tipo mais eficientes (180 lm/W) e com maior durabilidade (18.000 h) por meio da aplicação de uma camada de óxido de índio na face interior da camisa de vácuo. Esta camada de óxido permite que parte da radiação infravermelha emitida seja refletida de volta para o tubo, ajudando a manter, assim, a temperatura ideal, que é de aproximadamente 260°C, sem que haja a necessidade de grandes intensidades de corrente (ANDREOLI, 2011).

Na Figura 16 estão representadas algumas lâmpadas de vapor de sódio de baixa pressão de até 60 W.



Figura 16 - Lâmpadas de vapor de sódio de baixa pressão - até 60 W
Fonte: Alibaba [entre 1999 e 2012].

2.3.2.1.2 Lâmpadas fluorescentes tubulares

As lâmpadas fluorescentes tubulares são compostas por um tubo de vidro revestido com compostos de fósforo em sua face interna. Nas extremidades do tubo de vidro são encontradas as bases de ligação (anodo e catodo), sendo estas feitas de tungstênio ou aço inox. O interior da lâmpada é preenchido com um gás inerte, normalmente argônio, neônio, criptônio e/ou xenônio, juntamente com mercúrio a baixa pressão (DURÃO JÚNIOR; WINDMÖLLER, 2008).

Ao ser ligada à rede elétrica, ocorre a passagem de corrente elétrica pelos gases. Os choques dos elétrons com as moléculas do vapor de mercúrio fazem com que estas fiquem excitadas e liberem energia como radiação ultravioleta (UV), esta, ao colidir com a camada de compostos de fósforo localizados na face interna do tubo, é convertida, então, em luz visível (DURÃO JÚNIOR; WINDMÖLLER, 2008).

Essas lâmpadas são utilizadas na iluminação industrial, comercial e residencial, além do uso em locais onde se queira um baixo investimento inicial e boa eficiência da iluminação. Ademais, possuem elevada vida mediana (15000 horas), baixo consumo de energia, alta eficiência luminosa (entre 68 a 90 lm/W), IRC entre 66 e 95, e uma gama de temperatura de cor (3000 K, 4000 K, 5000 K, 3800 K, 6500 K e 17000 K) (PHILIPS, 2009).

As lâmpadas fluorescentes têm sido bastante utilizadas desde a sua invenção na década de 30, passando a ser a principal forma de iluminação artificial no mundo devido a sua alta eficiência e longa durabilidade (XAVIER, 2005). Uma lâmpada tubular é representada pela Figura 17, já nas Figura 18 e Figura 19 há exemplos de catálogos fornecidos pela Philips para lâmpadas fluorescentes.



Figura 17 - Lâmpada fluorescente tubular
Fonte: Philips [entre 2004 e 2012].

Lâmpadas Fluorescentes Tubulares TLD, TLT e TLE Standard										
Código Comercial	Potência (W)	Base	Temperatura de cor (K)	Fluxo Luminoso (lm)	Eficiência luminosa (lm/W)	Índice de reprodução de cor (IRC)	Vida mediana (horas)	Dimensões em mm		Reator Nº
								Ø	Comprimento	
TLD Extra Luz do Dia										
TLD15W-ELD	15	G13	5.000	800	53	70	7.500	28,0	451,6	5, 6
TLD30W-ELD-25	30	G13	5.000	2.000	67	70	7.500	28,0	908,8	–
TLD-18W-54	18	G13	6.200	1.050	58	72	7.500	28,0	604,0	9, 10, 45, 49, 53, 59, 102, 105, 108, 109, 118, 121, 124, 125
TLD-36W-54	36	G13	6.200	2.500	69	72	7.500	28,0	1213,6	13, 14, 47, 51, 55, 61, 103, 106, 119, 122
TLDR516W-CO-25	16	G13	4.100	1.070	67	66	7.500	28,0	604,0	16, 17, 26, 27, 44, 48, 52, 58, 72, 102, 105, 108, 109, 118, 121, 124, 125
TLDR532W-CO-25	32	G13	4.100	2.350	73	66	7.500	28,0	1213,6	20, 21, 30, 31, 38, 42, 46, 50, 54, 60, 73
TLT Extra Luz do Dia										
TLTRS20W-ELD-25	20	G13	5.000	1.100	55	70	7.500	33,5	604,0	9, 10, 18, 19, 28, 29, 45, 49, 53, 59
TLTRS40W-ELD-25	40	G13	5.000	2.600	65	70	7.500	33,5	1213,6	13, 14, 22, 23, 32, 33, 47, 51, 55, 61
TLRS-65W-ELD	65	G13	6.200	4.100	63	72	7.500	40,5	1514,3	15, 56, 62
TLTRS110W-ELD-NG	110	R17D	5.000	7.600	69	70	7.500	33,5	2385,2	24, 25, 34, 35, 57, 63
TLE Standard										
TLE22W-54	22	G10Q	6.200	1.050	48	72	9.000	28,0	Ø 147,6	–
TLE32W-54	32	G10Q	6.200	1.750	55	72	9.000	28,0	Ø 236,5	–
TLE40W-54	40	G10Q	6.200	2.500	62	72	9.000	28,0	Ø 338,1	–
Lâmpadas Fluorescentes Tubulares MASTER TLS										
Código Comercial	Potência (W)	Base	Temperatura de cor (K)	Fluxo Luminoso (lm)	Eficiência luminosa (lm/W)	Índice de reprodução de cor (IRC)	Vida mediana (horas)	Dimensões em mm		Reator Nº
								Ø	Comprimento	
MASTER TLS ActiViva										
TLS-54W-ACTIVIVA	54	G5	17.000	4.250	89	82	24.000	17,0	1163,2	68, 90, 94, 126, 127
MASTER TLS Super 80										
TLS-14W-HE/830	14	G5	3.000	1.350	96	85	24.000	17,0	563,2	64, 66, 78, 88, 92, 128, 129, 132, 133, 134, 135
TLS-14W-HE/840	14	G5	4.000	1.350	96	85	24.000	17,0	563,2	
TLS-14W-HE/850	14	G5	5.000	1.350	96	85	24.000	17,0	563,2	
TLS-28W-HE/830	28	G5	3.000	2.600	104	85	24.000	17,0	1163,2	
TLS-28W-HE/840	28	G5	4.000	2.600	104	85	24.000	17,0	1163,2	65, 67, 79, 89, 93, 128, 129
TLS-28W-HE/850	28	G5	5.000	2.600	104	85	24.000	17,0	1163,2	
TLS-54W-HO/830	54	G5	3.000	4.450	93	85	24.000	17,0	1163,2	
TLS-54W-HO/840	54	G5	4.000	4.450	89	85	24.000	17,0	1163,2	
TLS-54W-HO/850	54	G5	5.000	4.250	93	85	24.000	17,0	1163,2	68, 90, 94, 126, 127
TLS-54W-HO/865	54	G5	6.500	4.250	89	85	24.000	17,0	1163,2	
TLS-80W-HO/830	80	G5	3.000	6.150	88	85	24.000	17,0	1463,2	
TLS-80W-HO/840	80	G5	4.000	6.150	88	85	24.000	17,0	1463,2	91, 95, 130, 131, 136, 137
TLS-95W-VHO/830	95	GX5	3.000	6.850	76	85	24.000	17,0	1163,2	
TLS-95W-VHO/840	95	GX5	4.000	6.850	76	85	24.000	17,0	1163,2	138, 139
MASTER TLS Eco										
TLS-25W-ECO/830	25	G5	3.000	2.450	114	85	24.000	17,0	1163,2	65, 67, 79, 89, 93, 128, 129
TLS-25W-ECO/840	25	G5	4.000	2.450	114	85	24.000	17,0	1163,2	
TLS-50W-ECO/830	50	G5	3.000	4.400	102	85	24.000	17,0	1163,2	
TLS-50W-ECO/840	50	G5	4.000	4.400	102	85	24.000	17,0	1163,2	68, 90, 94, 126, 127
TLS-73W-ECO/830	73	G5	3.000	6.150	99	85	24.000	17,0	1463,2	
TLS-73W-ECO/840	73	G5	4.000	6.150	99	85	24.000	17,0	1463,2	91, 95, 130, 131, 136, 137

Figura 18 - Catálogo de lâmpadas fluorescentes tubulares
Fonte: Philips (2009).

Lâmpadas Fluorescentes Tubulares TLT, TLD Série 80 e 90										
Código Comercial	Potência (W)	Base	Temperatura de cor (K)	Fluxo Luminoso (lm)	Eficiência luminosa (lm/W)	Índice de reprodução de cor (IRC)	Vida mediana (horas)	Dimensões em mm Ø Comprimento		Reator Nº
TLTRS Pro Super 80										
TLTRS20W-S84-25	20	G13	4.000	1.350	68	85	7.500	33,5	604,0	9, 10, 18, 19, 28, 29, 45, 49, 53, 59
TLTRS20W-S85-25	20	G13	5.000	1.300	65	85	7.500	33,5	604,0	
TLTRS40W-S84-25	40	G13	4.000	3.250	81	85	7.500	33,5	1213,6	13, 14, 22, 23, 32, 33, 47, 51, 55, 61
TLTRS40W-S85-25	40	G13	5.000	3.150	79	85	7.500	33,5	1213,6	
TLTRS-110W-S84-NG	110	R17D	4.000	9.500	86	85	7.500	33,5	2385,2	24, 25, 34, 35, 57, 63
TLTRS-110W-S85-NG	110	R17D	5.000	9.500	86	85	7.500	33,5	2385,2	
Eco MASTER TLDRS Super 80										
TLDRS16W-S83-ECO	16	G13	3.000	1.200	75	85	15.000	28,0	604,0	16, 17, 26, 27, 44, 48, 52, 58, 72, 102, 105, 108, 109, 118, 121, 124, 125
TLDRS16W-S84-ECO	16	G13	4.000	1.200	75	85	15.000	28,0	604,0	
TLDRS16W-S85-ECO	16	G13	5.000	1.150	72	85	15.000	28,0	604,0	20, 21, 30, 31, 38, 42, 46, 50, 54, 60, 73
TLDRS32W-S83-ECO	32	G13	3.000	2.700	84	85	15.000	28,0	1213,6	
TLDRS32W-S84-ECO	32	G13	4.000	2.700	84	85	15.000	28,0	1213,6	20, 21, 30, 31, 38, 42, 46, 50, 54, 60, 73
TLDRS32W-S85-ECO	32	G13	5.000	2.600	81	85	15.000	28,0	1213,6	
Eco MASTER TLD Super 80										
TLD18W-830-ECO	18	G13	3.000	1.350	75	85	15.000	28,0	604,0	9, 10, 45, 49, 53, 59, 102, 105, 108, 109, 118, 121, 124, 125
TLD18W-840-ECO	18	G13	4.000	1.350	75	85	15.000	28,0	604,0	
TLD36W-830-ECO	36	G13	3.000	3.350	93	85	15.000	28,0	1213,6	13, 14, 47, 51, 55, 61, 103, 106, 119, 122
TLD36W-840-ECO	36	G13	4.000	3.350	93	85	15.000	28,0	1213,6	
TLD58W-830-ECO	58	G13	3.000	5.200	90	85	15.000	28,0	1514,2	15, 56, 62, 69, 104, 107, 120, 123
TLD58W-840-ECO	58	G13	4.000	5.200	90	85	15.000	28,0	1514,2	
TLD 90 de Luxe Pro										
TLD18W/930	18	G13	3.000	940	52	95	7.500	28,0	604,0	9, 10, 45, 49, 53, 59, 99, 102, 105, 108, 109, 118, 121, 124, 125
TLD18W/940	18	G13	3.800	1.000	56	95	7.500	28,0	604,0	
TLD18W/965	18	G13	6.500	870	48	95	7.500	28,0	604,0	13, 14, 47, 51, 55, 61, 103, 106, 119, 122
TLD36W/930	36	G13	3.000	2.250	62	95	7.500	28,0	1213,6	
TLD36W/940	36	G13	3.800	2.400	67	95	7.500	28,0	1213,6	13, 14, 47, 51, 55, 61, 103, 106, 119, 122
TLD36W/965	36	G13	6.500	2.100	58	95	7.500	28,0	1213,6	
TLD58W/930	58	G13	3.000	3.650	63	95	7.500	28,0	1514,2	15, 56, 62, 69, 104, 107, 120, 123
TLD58W/940	58	G13	3.800	4.600	79	95	7.500	28,0	1514,2	
TLD58W/965	58	G13	6.500	3.350	58	95	7.500	28,0	1514,2	

Figura 19 - Catálogo de lâmpadas fluorescentes tubulares (continuação)
Fonte: Philips (2009).

2.3.2.1.3 Lâmpadas fluorescentes compactas

Essas lâmpadas, que passaram a ser utilizadas a partir da década de 80, possuem o princípio de funcionamento idêntico ao das lâmpadas fluorescentes tubulares, porém, como seu próprio nome diz, diferem no formato. Os seus tipos construtivos mais comuns são: tubo único curvado em “U”, dois tubos independentes unidos por uma ponte, três tubos independentes unidos por uma ponte e dois tubos entrelaçados formando um espiral (SILVA C. G. M., 2008).

Foram criadas, segundo a Philips (2009), para substituírem as lâmpadas incandescentes sem a perda da qualidade de iluminação, além do propósito de economia de energia e maior eficiência.

As lâmpadas fluorescentes compactas integradas (reator integrado à lâmpada) possuem como principais características a durabilidade de até 8000 horas, o formato compacto, além da disponibilidade em cores suaves (2700 K) e clara (6500 K). São principalmente indicadas para o uso em quartos, salas, cozinhas e banheiros.

Por sua vez, as lâmpadas fluorescentes compactas não integradas (reator não integrado a lâmpada) apresentam durabilidade de até 10000 horas, temperatura de cor variada (2700 K, 3000 K e 4000 K) e são indicadas para o uso em hotéis, lojas, escritórios, *shopping centers*, teatro, escolas e restaurantes, ou seja, locais onde se deseja trocar as lâmpadas fluorescentes tubulares com a melhoria do *design* (PHILIPS, 2009).

A composição de uma lâmpada fluorescente compacta integrada pode ser vista na Figura 20, a Figura 21 mostra uma fluorescentes compacta não integrada e especificações para as lâmpadas fluorescentes compactas integradas e não integradas respectivamente na Figura 22 e Figura 23.

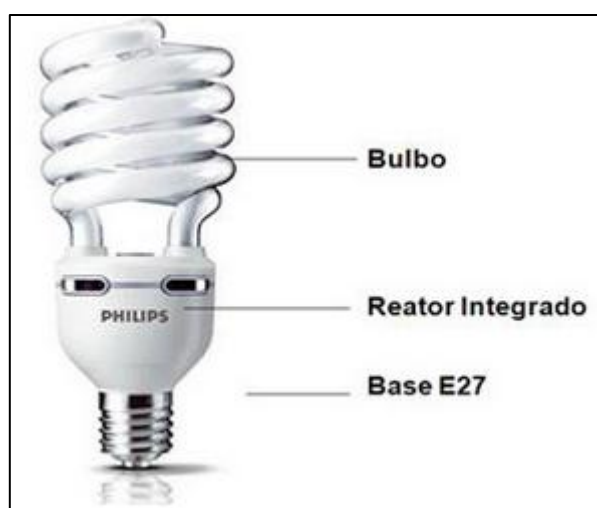


Figura 20 - Composição de lâmpadas fluorescentes compactas integradas

Fonte: Philips [entre 2004 e 2012].



Figura 21 - Lâmpada fluorescente compacta não integrada
Fonte: Philips (2004)

Lâmpadas Fluorescentes Compactas Integradas										
Código Comercial	Potência (W)	Tensão (V)	Base	Fluxo luminoso (lm)	Eficiência luminosa (lm/W)	Temperatura de cor (K)	Índice de reprodução de cor (IRC)	Vida mediana (horas)	Dimensões em mm	
Mini-Essential Ambiance Formato A										
PLW8W127AMBBLN	8	110-127V	E27	400	50	luz suave - 2.700K	82	8.000	55,0	114,0
PLW8W220AMBBLN	8	220-240V	E27	400	50	luz suave - 2.700K	82	8.000	55,0	114,0
PLW11W127AMBBLN	11	110-127V	E27	570	52	luz suave - 2.700K	82	8.000	60,0	124,0
PLW11W220AMBBLN	11	220-240V	E27	570	52	luz suave - 2.700K	82	8.000	60,0	124,0
PLD11W127AMBBLN	11	110-127V	E27	540	49	luz clara - 6.500K	80	8.000	60,0	124,0
PLD11W220AMBBLN	11	220-240V	E27	540	49	luz clara - 6.500K	80	8.000	60,0	124,0
Essential										
PLEW15W127ESSB	15	110-127V	E27	800	53	luz suave - 2.700K	82	8.000	26,0	172,0
PLEW15W220ESSB	15	220-240V	E27	800	53	luz suave - 2.700K	82	8.000	26,0	172,0
PLEW20W127ESSB	20	110-127V	E27	1.100	55	luz suave - 2.700K	82	8.000	42,0	168,0
PLEW20W220ESSB	20	220-240V	E27	1.100	55	luz suave - 2.700K	82	8.000	42,0	168,0
PLED15W127ESSB	15	110-127V	E27	760	51	luz clara - 6.500K	78	8.000	26,0	172,0
PLED15W220ESSB	15	220-240V	E27	760	51	luz clara - 6.500K	78	8.000	26,0	172,0
PLED20W127ESSB	20	110-127V	E27	1.040	52	luz clara - 6.500K	78	8.000	42,0	168,0
PLED20W220ESSB	20	220-240V	E27	1.040	52	luz clara - 6.500K	78	8.000	42,0	168,0
Deco Twist										
QFXT522W127V865	22	110-127V	E27	1.360	62	luz clara - 6.500K	80	8.000	187,0	76
QFXT522W220V865	22	220-240V	E27	1.360	62	luz clara - 6.500K	80	8.000	187,0	76
QFXT528W127V865	28	110-127V	E27	1.850	66	luz clara - 6.500K	80	8.000	230,0	76
QFXT528W220V865	28	220-240V	E27	1.850	66	luz clara - 6.500K	80	8.000	230,0	76
ECO HOME										
PLD14W127ECOCX	14	110-127V	E27	810	58	luz clara - 6.500K	-	4.000	28	170
PLD14W220ECOCX	14	220-240V	E27	810	58	luz clara - 6.500K	-	4.000	28	170
PLD18W127ECOCX	18	110-127V	E27	1.100	61	luz clara - 6.500K	-	4.000	43	165
PLD18W220ECOCX	18	220-240	E27	1.100	61	luz clara - 6.500K	-	4.000	43	165

Figura 22 - Catálogo de lâmpadas fluorescentes compactas integradas
Fonte: Philips (2009).

Lâmpadas Fluorescentes Compactas Não-Integradas										
Código Comercial	Potência (W)	Base	Fluxo luminoso (lm)	Eficiência luminosa (lm/W)	Temperatura de cor (K)	Índice de reprodução de cor (IRC)	Vida mediana (horas)	Dimensões em mm Ø Altura		Reator N°
MASTER PL-C 2P										
PLC13W8272P	13	GX23-2	860	66	2.700	82	10.000	28,0	119,0	3,4
PLC13W8402P	13	GX23-2	860	66	4.000	82	10.000	28,0	119,0	3,4
PLC18W8272P	18	GX24D-2	1.200	67	2.700	82	10.000	28,0	152,0	7,8,9,10
PLC18W8402P	18	GX24D-2	1.200	67	4.000	82	10.000	28,0	152,0	7,8,9,10
PLC26W8272P	26	GX24D-3	1.800	69	2.700	82	10.000	28,0	173,0	11,12
PLC26W8402P	26	GX24D-3	1.800	69	4.000	82	10.000	28,0	173,0	11,12
MASTER PL-C 4P										
PLC18W8274P	18	G24Q-2	1.200	67	3.000	82	10.000	28,0	144,0	7,8,74,80,84,110,111
PLC18W8404P	18	G24Q-2	1.200	67	4.000	82	10.000	28,0	144,0	
PLC26W8274P	26	G24Q-3	1.800	69	3.000	82	10.000	28,0	165,0	11,12,75,81,85,112,115
PLC26W/8404P	26	G24Q-3	1.800	69	4.000	82	10.000	28,0	165,0	
MASTER PL-S 4P										
PL-S/4P 9W/827	9	2G7	600	75	2.700	82	10.000	28,0	152,0	1,2
PL-S/4P 9W/840	9	2G7	600	75	4.000	82	10.000	28,0	152,0	
PL-S/4P 11W/827	11	2G7	900	82	2.700	82	10.000	28,0	220,0	2
PL-S/4P 11W/840	11	2G7	900	82	4.000	82	10.000	28,0	220,0	
PL-S 2P Pro										
PLS9W8272P	9	G23	600	67	2.700	82	10.000	28,0	167,0	1,2
PLS9W8402P	9	G23	600	67	4.000	82	10.000	28,0	167,0	
PLS11W8272P	11	G23	900	82	2.700	82	10.000	28,0	236,0	2
PLS11W8402P	11	G23	900	82	4.000	82	10.000	28,0	236,0	
PLS13W8272P	13	GX23	900	69	2.700	82	10.000	28,0	190,0	3,4
PLS13W8402P	13	GX23	900	69	4.000	82	10.000	28,0	190,0	
MASTER PL-T 4P										
PL-T/4P32W/827NG	32	GX24Q-3	2.400	75	2.700	82	10.000	41,0	138,7	76,82,86,113,116
PL-T/4P32W/840NG	32	GX24Q-3	2.400	75	4.000	82	10.000	41,0	138,7	
PL-T/4P42W/827NG	42	GX24Q-4	3.200	76	2.700	82	10.000	41,0	160,7	77,83,87,114,117
PL-T/4P42W/840NG	42	GX24Q-4	3.200	76	4.000	82	10.000	41,0	160,7	
MASTER PL-L 4P										
PL-L/4P 36W/827	36	2G11	2.900	80	2.700	82	10.000	38,0	417,0	70,98,100
PL-L/4P 36W/840	36	2G11	2.900	80	4.000	82	10.000	38,0	417,0	
PL-L/4P 55W830HF	55	2G11	4.800	87	3.000	82	10.000	38,0	542,0	71,99,101
PL-L/4P 55W840HF	55	2G11	4.800	87	4.000	82	10.000	38,0	542,0	

Figura 23 - Catálogo de lâmpadas fluorescentes compactas não integradas (continuação)
 Fonte: Philips (2009).

2.3.2.2 Lâmpadas de descarga de alta pressão

Conforme descrito no item 2.3.2, Lâmpadas de Descarga, as lâmpadas de descarga de alta pressão, também conhecidas como alta intensidade de descarga (AID) ou, em inglês, *High Intensity Discharge* (HID), mais utilizadas são a de mercúrio, vapores metálicos e de sódio. Diferem a despeito de várias características, tais como: tensão de ignição, eficiência, gás de preenchimento, aparência de cor,

porém, baseiam-se no mesmo princípio de funcionamento (descarga elétrica em um meio gasoso).

São também caracterizadas, segundo Rodriguez (2007), por utilizarem pressões entre 1 a 10 atmosferas e funcionarem com uma potência de arco entre 20 a 200 W/cm. Logo, um circuito ignitor se faz necessário para que os gases se ionizem devida à elevada diferença de potencial que é requisitada.

2.3.2.2.1 Lâmpadas de vapor de mercúrio de alta pressão

As lâmpadas de vapor de mercúrio, também chamadas de *High Pressure Mercury* (HPM), são compostas por um tubo de descarga interno de dimensões reduzidas, imerso em um bulbo de vidro (geralmente formato ovoide), que é coberto por uma camada de “fósforo”, a qual é responsável por melhorar o índice de reprodução de cores, já que sem essa camada a lâmpada possui um IRC de aproximadamente 20 e com o revestimento, um IRC de aproximadamente 50 (JAGLBAUER, 2007).

Para a proteção contra a oxidação das partes metálicas, segundo Jaglbauer (2007), dentro no bulbo de vidro há o nitrogênio, que, além disso, evita que o revestimento de “fósforo” seja afetado pelos raios ultravioleta e melhora o isolamento térmico.

Em relação aos modelos disponibilizados pela Philips (2009), todas as lâmpadas necessitam de um reator e ignitor, exceto o modelo S, o qual possui o ignitor incorporado. Devido a suas características (IRC entre 46 a 69; eficiência luminosa entre 46 a 108 lm/W; vida mediana de 3000 a 20000 horas; temperatura de cor de 3400 K a 4600 K; e economia de energia), são utilizadas na iluminação pública, galpões industriais, fachadas, iluminação esportiva e monumentos.

Na Figura 24 está representada uma lâmpada de vapor de mercúrio de alta pressão e na Figura 25 especificações para alguns tipos dessas lâmpadas fornecidas pela Philips.



Figura 24 - Lâmpada de vapor de mercúrio de alta pressão
Fonte: Philips [entre 2004 e 2012].

Lâmpadas HID											
Código Comercial	Corrente (A)	Potência (W)	Tensão (V)	Base	Fluxo luminoso (lm)	Eficiência luminosa (lm/W)*	Temperatura de cor (K)	Índice de reprodução de cor (IRC)	Vida mediana (horas)	Dimensões em mm Ø Altura	Reator Nº
Lâmpada de Vapor de Mercúrio - HPL-N											
HPLN80W-IMP	0.80	80	115	E27	3.700	46	4.300	48	16.000	71,0 155,0	144, 145
HPLN125W-IMP	1.15	125	125	E27	6.200	50	4.100	46	16.000	76,0 174,0	146, 147
HPLN250W-IMP	2.10	250	135	E40	12.700	51	4.100	40	16.000	91,0 228,0	148, 149
HPLN400W-IMP	3.25	400	140	E40	22.000	55	3.900	40	16.000	121,5 290,0	150, 151
Lâmpada de Vapor Metálico - MASTER HPI Plus Ovóide com reator Metálico ou Mercúrio + ignitor											
HPI 250W-PLUS BU	2.20	256	128	E40	17.000	74	4.300	69	20.000	91,0 226,0	199, 200
HPI 400W-PLUS BU	3.40	390	125	E40	31.000	90	4.300	69	20.000	122,0 290,0	204, 205
Lâmpada de Vapor Metálico - MASTER HPI Plus Ovóide com reator de Sódio											
HPI 250W-PLUS BU	2.55	302	128	E40	22.000	84	3.800	69	20.000	91,0 226,0	201, 202, 203
HPI PLUS 400W BU	3.85	454	125	E40	38.000	94	3.800	69	20.000	122,0 290,0	206, 207, 208
Lâmpada de Vapor Metálico - HPI-T Plus Tubular com reator Metálico ou Mercúrio + ignitor											
HPIT 250W-PLUS	2.15	245	128	E40	19.000	78	4.500	65	20.000	47,0 257,0	199, 200
HPIT 400W-PLUS	3.40	390	125	E40	32.000	90	4.300	65	20.000	47,0 283,0	204, 205
HPIT 1000W	8.25	985	130	E40	85.000	86	4.300	65	20.000	66,0 382,0	209
HPIT 2000W-H 380V	8.60	1930	240	E40	183.000	95	4.300	65	20.000	102,0 260,0	213, 216
HPIT 2000W-UJ 220V	16.50	1960	130	E40	189.000	96	4.600	65	20.000	102,0 290,0	212, 214, 215
Lâmpada de Vapor Metálico - MASTER HPI-T Plus Tubular com reator de Sódio											
HPIT 250W-PLUS	2.50	295	128	E40	25.500	108	4.000	65	20.000	47,0 257,0	201, 202, 203
HPIT 400W-PLUS	3.80	445	125	E40	40.000	89	4.000	65	20.000	47,0 283,0	206, 207, 208

BU = Operação na vertical (base para cima) Todos os demais modelos devem ser usados em luminárias fechadas.
 S = Ignição própria, isto é, apresenta ignitor integrado, não necessitando de ignitor externo, sendo ideal para retrofit de lâmpadas de vapor de mercúrio.

Figura 25 - Especificações para lâmpadas de vapor de mercúrio de alta pressão
Fonte: Philips (2009).

2.3.2.2.2 Lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão

As lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão, HPS (*High Pressure Sodium*), possuem o princípio de funcionamento supracitado no item 2.3.2.2 - Lâmpadas de descarga de alta pressão, em que o gás que será ionizado é vapor de sódio. As principais características desse tipo de lâmpadas são: vida útil de aproximadamente 24000 horas, ou seja, elevada vida útil; elevada eficiência luminosa, equivalente a 120 lm/W; e baixo índice de reprodução de cores, o qual é igual a 30 (BATSCHAUER, 2002).

Em consequência à coloração reproduzida pelas lâmpadas de vapor de sódio (amarelada), que, apesar de proporcionar uma melhor percepção do ambiente, causa desconforto para o usuário, essas lâmpadas são utilizadas para iluminação externa, que não demandam muita manutenção nem elevada reprodução de cores, tais como rodovias e estacionamentos (BATSCHAUER, 2002).

As lâmpadas são compostas por dois bulbos, um interno, que deve suportar altas temperaturas e a ação química do sódio, e um externo, que possui como função a manutenção da temperatura do tubo de descarga. O bulbo interno é composto por óxido de alumínio sinterizado (composto que suporta a alta temperatura de cerca de 1000 °C do tubo de arco, uma vez que possui um ponto de fusão de 2050°C), além de possuir uma pequena quantidade de amálgama de sódio mercúrio (em partes vaporizado quando na temperatura de operação), xenônio (processo de ignição) e eletrodos de nióbio. Já o bulbo externo é feito de borosilicato (vidro duro) e seu interior é fabricado a vácuo. Possui como função proteger o bulbo interno da oxidação, ademais essas lâmpadas podem ter formato ovoide ou cilíndrico.

Assim, na Figura 26 observa-se uma lâmpada de sódio de alta pressão e Figura 27 as especificações dos tipos dessas lâmpadas fornecidas pela Philips.

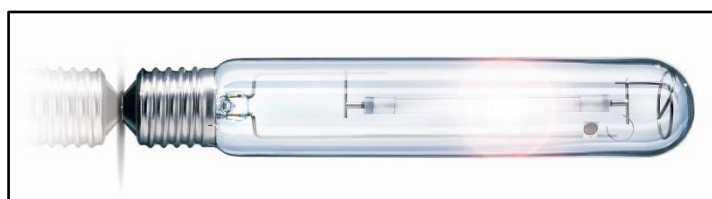


Figura 26 - Lâmpada de vapor de sódio de alta pressão
Fonte: Philips [entre 2004 e 2012].

Lâmpadas HID											
Código Comercial	Corrente (A)	Potência (W)	Tensão (V)	Base	Fluxo luminoso (lm)	Eficiência luminosa (lm/W)*	Temperatura de cor (K)	Índice de reprodução de cor (IRC)	Vida mediana (horas)	Dimensões em mm Ø x Altura	Reator N°
Lâmpada de Descarga de Alta Intensidade CosmoPolis CPO-T											
CPO-T 60/728	0.652	60	92	PGZ12	6.900	115	2.800	66	32.000	20,0 x 132,0	228, 230, 231, 232
CPO-T 140/728	1.490	140	94	PGZ12	16.500	118	2.800	66	32.000	20,0 x 147,0	229, 233, 234, 235
Lâmpada de Vapor Metálico ArtColour MH-T											
MH-T400W/VERMEL 6	6	380	120	E40	18.000	47	-	-	5.000	47,0 x 283,0	204, 205
MH-T400W/AZUL 6	6	380	120	E40	10.000	26	-	-	5.000	47,0 x 283,0	
MH-T400W/VERDE 6	6	380	120	E40	29.000	76	-	-	5.000	47,0 x 283,0	
MH-T400W/VIOLET 6	6	380	120	E40	10.000	26	-	-	5.000	47,0 x 283,0	
Lâmpada de Vapor de Sódio - SON											
SON70W-N	0.98	70	105	E27	5.600	80	1.950	25	24.000	71,0 x 156,0	153, 154, 155, 174, 179, 184
SON100W-N	1,2	100	105	E40	9.000	90	1.950	25	24.000	76,0 x 186,0	156, 157, 175, 180, 185
SON150W-N	1,8	147	105	E40	14.500	99	1.950	25	24.000	91,0 x 226,0	158, 159, 160, 176, 181, 186
SON250W-N	3	250	105	E40	27.000	108	1.950	25	24.000	91,0 x 226,0	161, 162, 163, 170, 177, 182
SON400W-N	4,5	400	105	E40	48.000	120	1.950	25	24.000	122,0 x 290,0	164, 165, 166, 171, 178, 183
Lâmpada de Vapor de Sódio - SON-H											
SONH220W	2,2	220	120	E40	20.000	91	2.000	25	20.000	91,0 x 226,0	-
SONH350W	2,6	350	117	E40	34.000	97	2.000	25	20.000	122,0 x 290,0	-
Lâmpada de Vapor de Sódio - SON-T											
SONT70W-N	0.98	70	105	E27	6.000	84	1.900	20	24.000	32,0 x 152,0	153, 154, 155, 174, 179, 184
SONT100W-N	1.20	100	100	E40	9.500	95	1.950	25	24.000	47,0 x 211,0	156, 157, 175, 180, 185
SONT150W-N	1.80	150	100	E40	15.000	100	1.950	25	24.000	47,0 x 211,0	158, 159, 160, 176, 181, 186
SONT250W-N	3.00	250	100	E40	28.000	112	1.950	25	24.000	47,0 x 257,0	161, 162, 163, 170, 177, 182
SONT400W-N	4.60	400	100	E40	48.000	122	1.950	25	24.000	47,0 x 283,0	164, 165, 166, 171, 178, 183
SONT1000W	10.60	1.000	105	E40	130.000	130	1.950	25	18.000	67,0 x 390,0	168, 169
Lâmpada de Vapor de Sódio - MASTER SON (T) Plus PIA											
SON100W-PLUS	1.20	100	100	E40	10.200	102	2.000	23	32.000	76,0 x 186,0	156, 157, 175, 180, 185
SON150W-PLUS	1.80	150	150	E40	17.000	113	2.000	23	32.000	91,0 x 226,0	158, 159, 160, 176, 181, 186
SON250W-PLUS	3.00	250	250	E40	31.100	124	2.000	23	32.000	91,0 x 226,0	161, 162, 163, 170, 177, 182
SON400W-PLUS	4.60	400	400	E40	55.500	139	2.000	23	32.000	122,0 x 290,0	164, 165, 166, 171, 178, 183
SONT70W-PLUS	1.00	70	90	E27	6.600	94	2.000	23	28.000	32,0 x 156,0	153, 154, 155, 174, 179, 184
SONT100W-PLUS	1.20	100	100	E40	10.700	107	2.000	23	32.000	47,0 x 211,0	156, 157, 175, 180, 185
SONT150W-PLUS	1.80	150	100	E40	17.500	117	2.000	23	32.000	47,0 x 211,0	158, 159, 160, 176, 181, 186
SONT250W-PLUS	3.00	250	100	E40	33.200	133	2.000	23	32.000	47,0 x 257,0	161, 162, 163, 170, 177, 182
SONT400W-PLUS	4.50	400	100	E40	56.500	141	2.000	23	32.000	47,0 x 283,0	164, 165, 166, 171, 178, 183
SONT PLUS 600W	5.80	600	115	E40	90.000	150	2.000	23	32.000	47,0 x 283,0	167

* Sem perdas do reator, eficiência só da lâmpada.

Figura 27 - Especificações para lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão
Fonte: Philips (2009).

2.3.3 Diodos emissores de luz

Os diodos emissores de luz ou *light-emitting diodes*, mais conhecidos por sua sigla em inglês LED, como seu próprio nome diz, são diodos que emitem luz. Os diodos por sua vez são dispositivos eletrônicos feitos de semicondutores, permitindo a passagem de corrente elétrica somente em um sentido, os materiais semicondutores (geralmente silício ou germânio), são enriquecidos de outros materiais para criar as chamadas junções *p-n* do diodo.

A junção do tipo *n* é formada adicionando-se materiais (impurezas) que possuem cinco elétrons em sua camada de valência, tais como o antimônio, arsênio

ou fósforo a base de silício ou germânio, sendo que estes possuem quatro elétrons em sua camada de valência. Ao ser adicionado um destes elementos a base, ocorre à formação de ligações covalentes da impureza com a base, porém como a impureza possui um elétron a mais em sua camada de valência, este elétron fica relativamente livre para movimentação entre os diferentes átomos material do tipo n formado (BOYLESTAD; NASHELSKY, 2008).

A junção do tipo p é formada de maneira similar, porém é adicionada a base materiais com três elétrons em sua camada de valência, tais como boro, gálio e índio, assim quando as ligações covalentes são formadas entre a base e a impureza, devido à falta de um elétron desta, surge um vazio, ou buraco, na ligação. Este vazio tem uma relativa facilidade para receber elétrons.

Ao se juntar os materiais do tipo n e do tipo p tem-se uma junção $p-n$, ao ser aplicada uma tensão que polarize diretamente a junção, ou seja, favoreça a passagem dos elétrons livres existentes no material do tipo n para os vazios existentes no material p , os elétrons ao preencher os vazios liberam energia na forma de calor e, nos diodos emissores de luz, também liberam energia na forma de ondas eletromagnéticas dentro da faixa visível de luz (BOYLESTAD; NASHELSKY, 2008).

Os LEDs antigamente tinham um papel mais decorativo, sendo utilizados para iluminação de pequenos detalhes ou em painéis eletrônicos, porém com a evolução do espectro de luz emitido pelos LEDs, estes se tornam fortes tendências comerciais e em breve podem substituir as lâmpadas com tecnologia mais convencional (FREITAS, 2010).

Essa evolução só foi possível a partir da descoberta do LED branco por Shuji Nakamura, desde então vários trabalhos tem sido desenvolvidos visando melhorar a qualidade da luz emitida e a eficiência dos LEDs de luz branca para que estes possam ser utilizados na iluminação de ambientes (FREITAS, 2010).

Segundo Freitas (2010), os LEDs possuem uma série de vantagens e algumas desvantagens:

Vantagens:

- emissão de luz direcional;

- tamanho compacto;
- grande resistência mecânica;
- acionamento rápido;
- resistente a acionamentos cíclicos;
- controle versátil;
- isento de raios ultravioletas e infravermelhos;
- pode emitir cores específicas;
- pode ser muito pequeno e instalado em placas de circuito impresso;
- elevada vida útil, em torno de 50 mil horas;
- baixa toxicidade por não possuir mercúrio.

Desvantagens:

- elevado custo de investimento inicial;
- dependência da temperatura;
- sensibilidade à tensão de alimentação;
- baixo índice de reprodução de cores (IRC);
- dificuldade de utilização para iluminação homogênea em todas as direções.

A diferença entre o funcionamento entre uma lâmpada fluorescente e uma lâmpada a LED, como resalta Gonçalves (2011), é que esta não possui um gás, que é o responsável pela emissão de luz daquela. As lâmpadas a LED, ademais, funcionam sob uma baixa tensão, além de ser necessária a alimentação em corrente contínua. É essencial, dessa forma, a presença de um circuito que converta a corrente alternada, que é o tipo de corrente presente na rede elétrica, em corrente contínua.

A Figura 28 mostra o esquema interno de uma lâmpada a LED, a qual é formada por um conjunto de LEDs ligados, geralmente, em série e um conversor (*driver*), que além de transformar a corrente alternada (CA) em corrente contínua (CC), limita a corrente para o valor nominal dos LEDs (GONÇALVES, 2011).

Para a instalação de um LED tubular, conforme é mostrado na Figura 29, este pode ser instalado na mesma luminária utilizada por uma lâmpada fluorescente

tubular, desde que seja retirado o reator e, no lugar da sua ligação, haja um curto-circuito, além de seja removido o *starter*, no caso em que haja a sua existência.

As desvantagens na utilização do LED para iluminação estão associadas a dificuldades técnicas que, ainda, não foram superadas e a falta de processos de produção econômicos, por exemplo, a elevada dependência da temperatura dos LEDs está intimamente ligada a perdas durante o seu funcionamento. Apesar de possuírem alta eficiência energética, convertendo boa parte da energia elétrica consumida em energia luminosa, a pequena parte que não é aproveitada é convertida em calor, se este calor não for corretamente dissipado de modo a não elevar a temperatura dos LEDs acima dos níveis aceitáveis, ele diminuirá a vida útil dos componentes por causa das elevadas temperaturas. Apesar de existirem vários estudos para encontrar uma solução viável para o problema de dissipação de calor, este é ainda um grande desafio (FREITAS, 2010).

A Figura 30 e Figura 31 mostram LEDs tubulares, já a Figura 32 as especificações técnicas fornecidas pelo fabricante. Com base nesses dados, observa-se que os LEDs tubulares possuem uma eficiência luminosa de 68 lm/W a 100 lm/W, vida útil de 30000 horas, IRC de 85 e temperatura de cor de 4000 K e 6500 K.

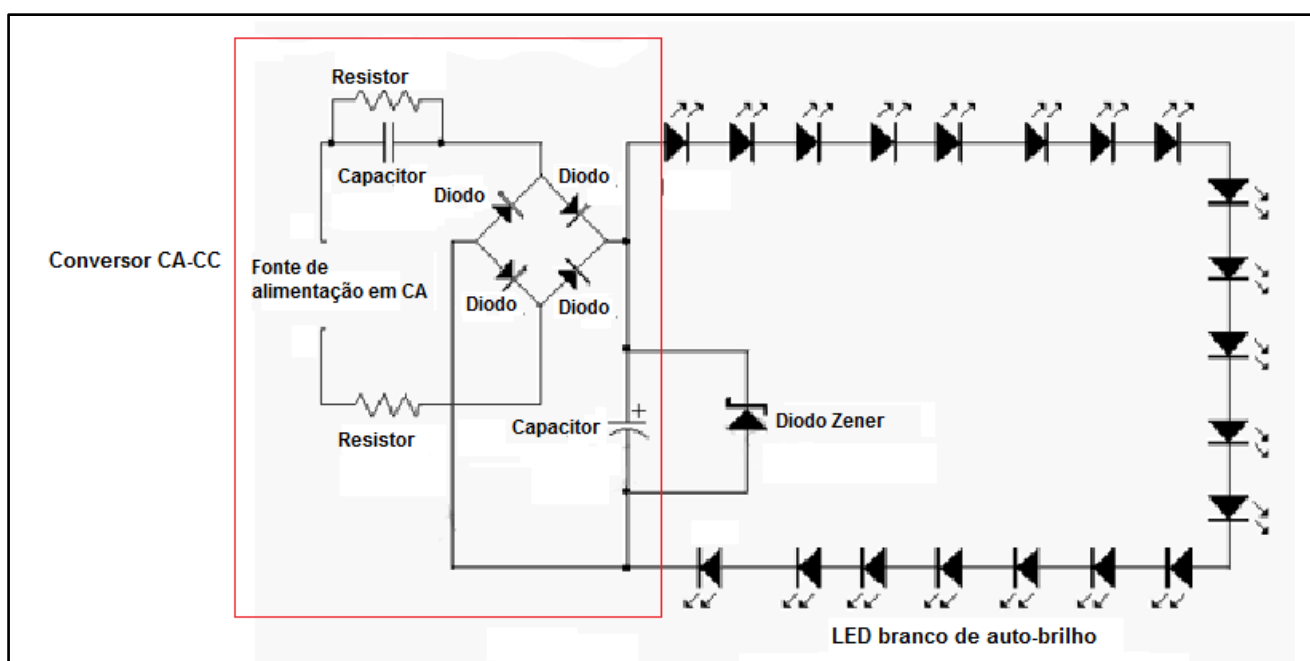


Figura 28 - Esquema interno de uma lâmpada a LED
Fonte: Adaptado de Gonçalves (2011).

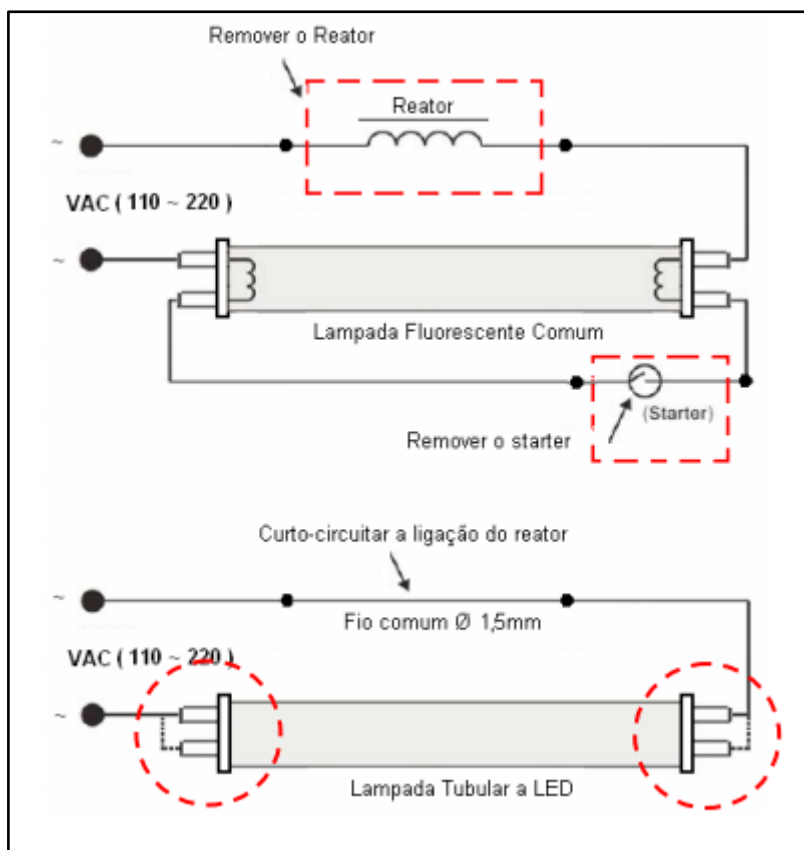


Figura 29 - Instalação de um LED tubular
 Fonte: Cromatek [2011?]



Figura 30 - LED Tubulares
 Fonte: Philips [entre 2004 e 2012].



Figura 31 - LEDs tubulares
Fonte: Luminoled (2012).

Especificações técnicas									
Código Comercial	Base	Potência (W)	Tensão (V)	Fluxo luminoso (lm)	Temperatura de cor (K)	Índice de reprodução de cor (IRC)	Vida útil (horas)	Fator de potência	Ângulo do fecho (°)
MASTER LEDtube GA 600mm 11W 840 G13	G13	11W	100-240V	750	4.000K	85	30.000	> 0.9	120
MASTER LEDtube GA 900mm 17W 840 G13	G13	17W	100-240V	1.150	4.000K	85	30.000	> 0.9	120
MASTER LEDtube GA 1200mm 22W 840 G13	G13	22W	100-240V	1.500	4.000K	85	30.000	> 0.9	120
MASTER LEDtube GA 600mm 11W 865 G13	G13	11W	100-240V	750	6.500K	85	30.000	> 0.9	120
MASTER LEDtube GA 900mm 17W 865 G13	G13	17W	100-240V	1.150	6.500K	85	30.000	> 0.9	120
MASTER LEDtube GA 1200mm 22W 865 G13	G13	22W	100-240V	1.500	6.500K	85	30.000	> 0.9	120

Figura 32 - Especificações técnicas para LED tubulares
Fonte: Philips (2010).

2.3.4 OLED

A tecnologia OLED (*Organic Light-Emitting Diodes*) tem ganhado destaque devido ao aumento obtido em sua eficiência, havendo indícios de que este tipo de dispositivos luminosos podem ser utilizados para iluminação de ambientes em médio prazo. Os OLEDs funcionam de maneira similar aos LEDs, porém, como o próprio nome já diz, os OLEDs utilizam materiais orgânicos, no caso os semicondutores

metálicos (silício ou germânio) são substituídos por semicondutores orgânicos (COSTA, 2010).

O OLED é construído sobrepondo uma ou várias camadas de alumínio carregado eletronegativamente com óxido de índio e estanho carregado eletropositivamente, sendo ambas as camadas fixadas em um suporte, que pode ser uma lâmina de vidro ou de outro material transparente. Ao se aplicar corrente elétrica, ocorre o descolamento de elétrons da camada negativa para a camada positiva, ocasionando assim a liberação de energia luminosa e, dependendo do material utilizado em sua construção, varia-se a coloração da luz emitida (COSTA, 2010).

Segundo Costa (2010), a iluminação com OLEDs irá abranger residências, prédios, locais de trabalho, áreas públicas e até mesmo em meios de transporte, além das aplicações já existentes em displays, até mesmo flexíveis. Conforme Silva A. F. (2008), os OLEDs possuem uma grande quantidade de qualidades atrativas para os mais variados ramos de aplicação, dentre estas qualidades pode-se destacar a sua alta eficiência luminosa, ótimo contraste, grande variedade de cores e amplo campo de visão, além de dissiparem baixa potência elétrica e operarem com baixas tensões.

Um exemplo disto é a luminária Lumiblade da Philips, mostrada na Figura 33. A luminária pode possuir uma eficiência luminosa de até 140 lm/W, quinze vezes maior que a eficiência de uma lâmpada incandescente convencional. Contudo, o seu desempenho atual é ainda limitado, sendo utilizada somente para propósitos decorativos. (PHILIPS, 2012).

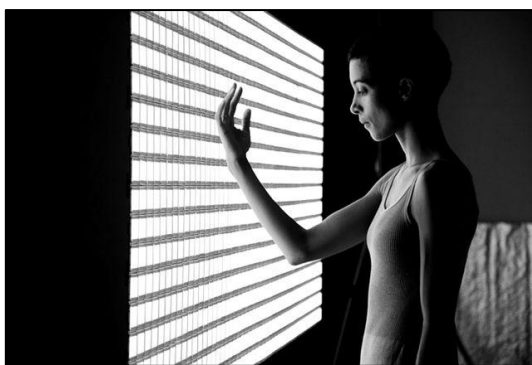


Figura 33 - Luminária Lumiblade
Fonte: Philips (2012).

2.3.5 EFICIÊNCIA LUMINOSA DAS LÂMPADAS

Para fins de verificação da eficiência luminosa, que também pode ser entendida como o rendimento de uma lâmpada, deve-se analisar a relação lm/W, ou seja, a quantidade de luz visível emitida sobre a potência consumida. Quanto maior for essa relação, mais eficiente é a fonte luminosa (SALES, 2011).

Na Tabela 4, com base nos catálogos de fabricantes contidos nos itens anteriores, pode-se averiguar a eficiência luminosa, de maneira a concluir que, conforme o tipo de lâmpada fluorescente tubular escolhida, as lâmpadas tubulares a LED tem um ganho de até 42% em relação à eficiência luminosa. Além disso, na Figura 34, tem-se as novas tecnologias que podem substituir as antigas em cada local, por exemplo, troca, em escritórios, de lâmpadas TL8 por lâmpadas TLS, o percentual de economia de energia com essa troca, ademais a redução de emissão de CO₂ por lâmpada a cada ano.

2.3.5.1 Fluxo luminoso

Devido a causas naturais, como a degradação dos materiais construtivos, segundo Sales (2011), o fluxo luminoso de uma lâmpada não permanece o mesmo conforme o passar do tempo, de maneira que o seu rendimento sofre uma diminuição. Por conseguinte, quanto menor a depreciação do fluxo luminoso, maior será a vida útil da lâmpada. No Gráfico 1, há a demonstração dessa depreciação para as lâmpadas fluorescente normal, vapor de sódio de alta pressão (VSAP), LED de potência, vapor de mercúrio (VM), fluorescente compacta e incandescente. Deste modo, pode-se verificar que as lâmpadas a LED, as quais possuem uma perda devido ao calor desprendido na junção, mantêm o fluxo luminoso acima de 70% após 20000 horas, já as lâmpadas fluorescentes normais (no caso analisado, lâmpadas fluorescentes T5 e T8), que raramente usam “fosfatos terrosos”, há perda de aproximadamente 5% do fluxo luminoso inicial (US DEPARTMENT OF ENERGY, 2006).

Tabela 4 - Rendimento das fontes luminosas

Tipo de Lâmpada	Eficiência luminosa [lm/W]
Incandescentes	8 a 16
Halógenas	15 a 25
Fluorescente tubular	48 a 114
Fluorescente compacta	44 a 82
Vapor de mercúrio de alta pressão	46 a 96
Vapor de sódio de baixa pressão	26 a 150
LED	68 a 100

Fonte: Adaptado de Sales (2011).













Área de Iluminação	Antiga Tecnologia	Produtos que economizam energia hoje	Economia de Energia	Redução de CO ² por lâmpada por ano
Iluminação viária	 Lâmpada de mercúrio de alta pressão	▶ CosmoPolis 	58%	133 kg
Iluminação de Lojas	 Halo	▶ Halleto metálico de descarga cerâmica 	86%	140 kg
Iluminação de escritórios e indústrias	 TL8	▶ TLS 	61%	94 kg
Iluminação de residências	 Incandescente	▶ CFLi 	90%	42 kg
Iluminação de residências	 Incandescente	▶ Redutor de energia halógena 	30%	16 kg
LEDs	 Incandescente	▶ LED 	80%	40 kg

Figura 34 - Economia de energia com o avanço das tecnologias
Fonte: Philips [entre 2004 e 2012].

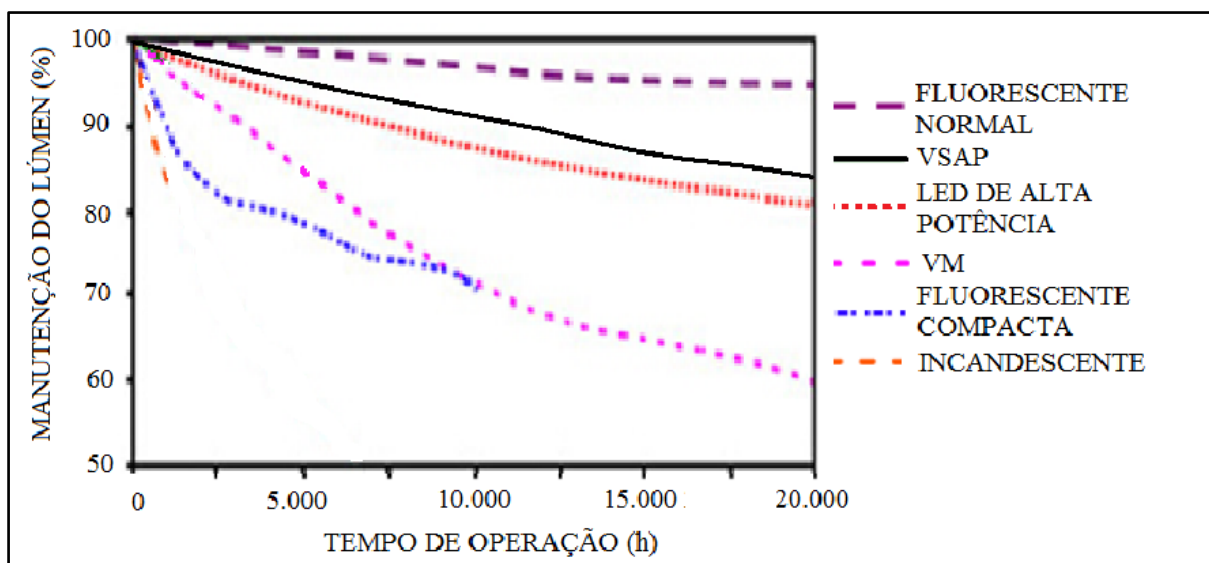


Gráfico 1 - Depreciação do fluxo luminoso das lâmpadas tradicionais
 Fonte: Sales (2011).

2.3.6 COMPARAÇÃO ENTRE AS LÂMPADAS

Com base nos dados expostos anteriormente, a Tabela 5 mostra um comparativo entre as lâmpadas incandescentes, halógenas, fluorescente tubular, fluorescente compacta, vapor de mercúrio de alta pressão, vapor de sódio de alta pressão e LED tubulares. Destaque para a comparação entre as lâmpadas fluorescentes tubulares e LED tubulares. Estas apresentam uma potência menor que aquelas, sem perde de eficiência luminosa, vida mediana, IRC e temperatura de cor, isso quando o valor das lâmpadas a LED não é superior.

Tabela 5 - Comparação entre as lâmpadas

	Incandescentes	Halógenas	Fluorescente tubular	Fluorescente compacta	Vapor mercúrio de alta pressão	Vapor de sódio de alta pressão	LED tubulares
Potência [W]	25 - 200	20 - 1000	14 - 110	5 - 65	80 - 1960	60 - 1000	11 - 22
Eficiência luminosa [lm/W]	8 - 16	15 - 25	48 - 114	44 - 82	46 - 96	26 - 150	68 a 100
Vida mediana [h]	750 - 1000	1000 - 5000	7500 - 24000	4000 - 10000	16000 - 20000	5000 - 32000	30000
Índice de reprodução de cores	100	100	66 - 95	78 - 82	46 - 69	23 - 66	85
Temperatura de cor [K]	2300 - 3000	2700 - 3000	3000 - 17000	2700 - 6500	3800 - 4500	1950 - 2800	4000 - 6500

Fonte: Adaptado de Sales (2011).

2.3.7 DESCARTE DAS LÂMPADAS

No mercado de iluminação, as lâmpadas com elevada eficiência energética tem crescido nas últimas décadas. O aumento da eficiência energética das lâmpadas está relacionado com a aplicação do metal mercúrio (Hg) nas lâmpadas de descarga, como as de vapor de mercúrio, vapor de sódio, multivapores metálicos e fluorescentes (SILVA L. L. F., 2006).

Os setores público, industrial e de serviços são os maiores responsáveis pela comercialização de lâmpadas no Brasil, correspondendo a 86% de 80 milhões de lâmpadas em 2002, sugerindo que estes sejam os principais responsáveis pelo descarte de lâmpadas de descarga. Porém, devido ao racionamento de energia elétrica ocorrido no Brasil em 2001, as lâmpadas incandescentes de uso residencial têm sido substituídas por lâmpadas fluorescentes compactas, que contêm mercúrio em sua composição (SILVA L. L. F., 2006).

Entretanto, ao contrário dos consumidores industriais, o setor público e a população em geral não conhecem os efeitos prejudiciais que o mercúrio causa ao meio ambiente caso as lâmpadas não sejam descartadas de maneira correta (SILVA L. L. F., 2006). O uso indiscriminado do mercúrio é um dos exemplos mais visíveis do que o homem pode causar aos ciclos naturais (MICARONI et al., 2000).

Conforme Micaroni *et al* (2000), a toxicidade do mercúrio varia conforme os diferentes compostos que ele pode formar. A sua forma orgânica possui elevada toxicidade, não apenas para o ser humano, mas para toda a fauna e flora, pois, devido ao seu radical orgânico, estes compostos entram rapidamente na corrente sanguínea e causam danos permanentes ao sistema nervoso central. O metil mercúrio, por exemplo, parece interferir na divisão celular, causando danos severos a fetos em desenvolvimento. Além disso, o metil mercúrio, uma vez no organismo humano, pode ligar-se aos grupos sulfidrilas das proteínas, convertendo-se, assim, em complemento proteico e tendo grande mobilidade entre os tecidos animais.

Já o mercúrio metálico que é, por exemplo, empregado na fabricação de amálgamas odontológicas, possui baixa toxicidade na sua forma elementar, porém ainda é capaz de inibir a respiração celular de bactérias. Na forma de vapor, que pode ser eliminado, por exemplo, em garimpos de ouro, é absorvido diretamente pelo organismo humano através das membranas alveolares presentes no pulmão. O

mercúrio, ao entrar em contato com o sangue, sofre oxidação pelos eritrócitos (células vermelhas presentes no sangue) e, uma vez oxidado, espalha-se rapidamente pelo corpo através do sangue, podendo ligar-se a hemoglobina e a albumina (MICARONI *et al*, 2000).

Segundo Micaroni *et al*, os principais sintomas relacionados à contaminação por mercúrio são: tremor, vertigem, entorpecimento, dor de cabeça, câibra, fraqueza, depressão, distúrbios visuais, tosse, náusea e vômitos.

O mercúrio ocorre naturalmente na natureza, mas nesta é encontrado em pequenas quantidades em mares, rochas e solo. O descarte incorreto de mercúrio no meio ambiente pode causar graves danos aos sistemas ecológicos e a saúde humana (SILVA L. L. F., 2006).

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), através da Norma Brasileira 10004 (NBR 10004) de 2004, as lâmpadas que contém mercúrio são classificadas como resíduo tóxico por conterem o metal citado, apresentando alta periculosidade. Contudo, atualmente não há legislação federal que trate especificamente do descarte e disposição de lâmpadas contendo mercúrio.

Por essa razão, Polanco (2007) cita diversas leis estaduais e/ou municipais que tratam do assunto como, por exemplo:

- no Estado de São Paulo, a Lei nº. 10888 de 2011 trata do descarte de produtos de potencial periculosidade junto ao resíduo urbano. Esta Lei engloba, por exemplo, o descarte de pilhas, baterias, lâmpadas fluorescentes e frascos de aerossóis, atribuindo aos fabricantes e comerciantes a responsabilidade pelo recolhimento dos produtos, assim como pela sua destinação final;
- na cidade de Campinas, no estado de São Paulo, a Lei nº. 11294 de 2002 proíbe o descarte de lâmpadas fluorescentes e similares, que contenham mercúrio, em aterros sanitários;
- o Estado de Santa Catarina através da Lei nº. 11347 de 2000 regulamenta todo o processo de descarte de produtos potencialmente perigosos, como pilhas, baterias e lâmpadas que contenham mercúrio, também proibindo o seu despejo em aterros sanitários.

Ainda conforme Polanco (2007), os meios mais comumente adotados no mundo para a disposição de lâmpadas que contenham mercúrio são:

- aterros de resíduos sólidos;
- incineração;
- trituração e descarte;
- encapsulamento; e
- reciclagem com recuperação de mercúrio.

Com relação ao Brasil, somente uma pequena parcela das lâmpadas utilizadas são recicladas, sendo que a maioria sofre somente simples disposição final. Atualmente o Brasil possui aproximadamente um consumo médio de quase 100 milhões de lâmpadas fluorescentes, mas deste total somente 6% passa por algum processo de reciclagem. A simples disposição em aterros não é considerada uma alternativa adequada para o descarte das lâmpadas com mercúrio, pois o consumo deste tipo de lâmpada aumenta a cada ano no Brasil e no mundo. Por enquanto, a disposição destas lâmpadas em aterros aponta um teor de contaminação por mercúrio insignificante, porém num futuro próximo pode se tornar relevante (POLANCO, 2007).

2.4 LUMINÁRIAS

As luminárias, segundo Sales (2011), passaram da função de apenas proteger as lâmpadas da chuva e direcionar o fluxo luminoso para o chão, para a proteção da lâmpada contra intempéries (poeira, por exemplo), fluxo luminoso, além de ser o meio que permite que a lâmpada seja instalada.

O tipo de luminária varia conforme o tipo de lâmpada, por exemplo, a luminária TBS 027 da Philips para lâmpadas fluorescentes tubulares, porém são constituídos, como é mostrado na Figura 35, basicamente por:

- refletor: direciona o fluxo luminoso da lâmpada, podendo ser composto por vidro espelhado, plástico espelhado ou chapa de alumínio polida (mais utilizada devido ao fato de ser mais leve, possuir alta refletância, boa resistência mecânica e baixo custo). O refletor está intimamente relacionado ao rendimento da lâmpada, uma vez que, se tiver um formato inadequado, pode fazer com que os raios de luz retornem para a lâmpada, de forma a aumentar a tensão de arco da lâmpada. Para tanto, em alguns casos os refletores são ajustáveis (SALES, 2011);
- difusor (refrator): localizado do lado oposto do refletor, é utilizado para proteção da lâmpada e do refletor, além de direcionar a luz proveniente de ambos (LOPES, 2002). Pode ser composto vidro temperado, policarbonato de alta transmitância (capacidade que um material possuir de permitir a passagem de luz) ou acrílico e deve ser projetado juntamente com o refletor. Atualmente, com o fato de os refletores serem os responsáveis pelo direcionamento luz, cabe ao difusor à proteção do conjunto lâmpada mais refletor;
- aletas: acessórios localizados transversalmente à lâmpada com o intuito de direcionar o fluxo luminoso;
- soquete: componente que fixa a lâmpada à luminária e permite o contato com a energia elétrica;

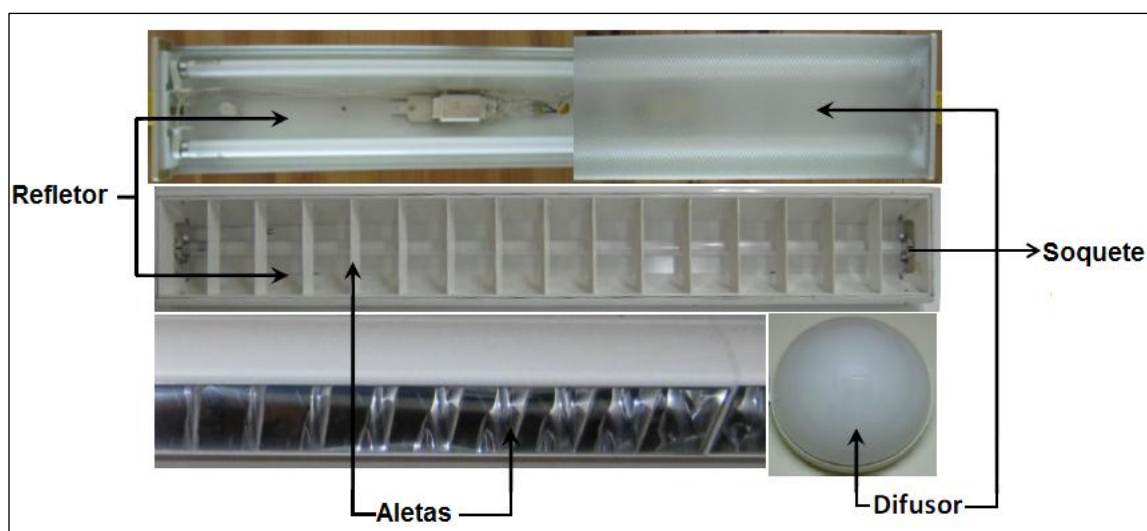


Figura 35 - Partes constituintes de uma luminária
Fonte: Silva N. G. M. M. (2011).

As luminárias podem ser, segundo Sales (2011), tanto abertas quanto fechadas, estas proporcionam mais proteção que aquelas. Também pode haver ou não proteção para os equipamentos auxiliares.

A localização das luminárias, ou seja, a distribuição do circuito de iluminação influencia, também, na eficiência energética do local onde estão instaladas, uma vez que se forem má locadas, lâmpadas podem ficar desnecessariamente acesas, onerando o gasto com energia elétrica. Esse fato é apresentado em um dos “Casos de Sucesso” pelo Programa de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica (“Ministério de Minas e Energia: iluminação Eficiente é exemplo para o setor público”), em que a remoção de lâmpadas e reatores excedentes, redistribuição das lâmpadas e luminárias, extinção de difusores de acrílico e instalação de mais de 50 interruptores nas salas, causaram uma redução de 45% da carga instalada de iluminação (PROCEL, 2012).

2.5 REATORES

Alguns tipos de lâmpadas necessitam de equipamentos auxiliares para que possam acender, estes equipamentos são denominados reatores e, segundo Silva C. G. M. (2008), são essenciais para lâmpadas de descarga, sejam estas fluorescentes ou com alta intensidade de descarga (AID).

Os reatores possuem duas principais funções: a primeira é fornecer um pico de tensão suficiente para a ignição da lâmpada, a segunda é manter a intensidade da corrente em níveis adequados quando se atinge o regime permanente da lâmpada, para que estas não sejam danificadas e tenham sua vida útil prolongada. Existem atualmente no mercado dois tipos de reatores, os reatores eletromagnéticos e os eletrônicos (XAVIER, 2005).

2.5.1 Reatores eletromagnéticos

Foram os primeiros tipos de reatores desenvolvidos, segundo Silva C. G. M. (2008), são constituídos por um núcleo de aço-silício e bobinas de cobre esmaltado,

tendo uma grande capacidade de dissipação térmica e um alto isolamento elétrico por serem impregnados com resina de poliéster e cargas minerais. Também são conhecidos como reatores “pesados” por serem maiores do que os eletrônicos, sendo divididos em mais duas categorias, conforme o seu princípio de funcionamento:

- partida convencional: é necessária a utilização de um ignitor ou *starter* para o acendimento da lâmpada. Quando os eletrodos da lâmpada estão suficientemente aquecidos o ignitor é aberto e o reator consegue fornecer tensão suficiente para a ignição da lâmpada, limitando em seguida a corrente circulante no interior da mesma (XAVIER, 2005). São utilizados em locais com elevada umidade, baixa temperatura, ou sem condições de aterramento da luminária (SILVA C. G. M., 2008);
- partida rápida: neste tipo de reator, os filamentos são constantemente aquecidos pelo reator, o que facilita e faz com que a ignição da lâmpada seja mais rápida, não sendo necessária à utilização do ignitor ou *starter*. São indicados para ambientes agressivos (SILVA C. G. M., 2008).

Nos reatores eletromagnéticos, a tensão e a corrente possuem a mesma frequência da fonte de alimentação, porém, devido às características indutivas do reator, a corrente está defasada em atrasado em relação à tensão, possuindo, assim, baixo fator de potência, como pode ser confirmado na Figura 37, em que o fator de potência para reatores eletromagnéticos para lâmpadas fluorescentes e compactas chega a ser igual a 0,30. Alguns possuem capacitores acoplados para a correção do fator de potência, que justifica o fato de o reator com código comercial iniciando com DPR, da Figura 37, possuir um FP de 0,95. Além disso, devido ao fato desses reatores com capacitores integrados trabalharem em frequências audíveis pelo ouvido humano, podem produzir ruídos e cintilar (XAVIER, 2005).

Segundo Silva C. G. M. (2008), o futuro dos reatores eletromagnéticos é incerto, pois com o desenvolvimento de novas tecnologias alguns fabricantes acreditam que os reatores eletrônicos substituirão os eletromagnéticos, por outro lado, também existem fabricantes que ainda apostam no desenvolvimento da tecnologia dos reatores eletromagnéticos, visto que os reatores eletrônicos não conseguem atender a lâmpadas com potência maiores que 150 W. Outras

características que garantem a utilização da tecnologia eletromagnética por vários anos são: elevada resistência a intempéries do tempo e a oscilações da rede e vida média superior a 20 anos, além de atenderem a todas as potências de lâmpadas. Na Figura 36 é apresentado um reator eletromagnético.



Figura 36 - Reator eletromagnético
Fonte: Philips (2012)

Reatores Eletromagnéticos para Lâmpadas Fluorescentes Tubulares e Compactas									
Nº	Código Comercial	Partida	Lâmpada	Tensão (V)	Frequência (Hz)	Corrente da rede (A)	Fator de Potência	Capacitor (µF)	Potência Total (W)
SPC - Partida Convencional									
1	SPC7/9B16 P	Convencional	1 x 7/9W*	127	60	0,17	0,50	2,5 x 250	11,0
2	SPC7/9/11B26 P	Convencional	1 x 7/9/11W*	220	60	0,17	0,38	2,5 x 250	12,0
3	SPC13B16 P	Convencional	1 x 13W*	127	60	0,28	0,50	6,0 x 250	18,0
4	SPC13B26 P	Convencional	1 x 13W*	220	60	0,28	0,35	6,0 x 250	22,0
5	SPC15B16 P	Convencional	1 x 15W**	127	60	0,33	0,45	6,0 x 250	19,0
6	SPC15B26 P	Convencional	1 x 15W**	220	60	0,33	0,30	4,0 x 250	21,0
7	SPC18B16 T	Convencional	1 x 18W*	127	60	0,55	0,40	9,0 x 250	28,0
8	SPC18B26 P	Convencional	1 x 18W*	220	60	0,22	0,45	2,5 x 250	22,0
9	SPC20B16 N	Convencional	1 x 18/20W**	127	60	0,38	0,50	6,0 x 250	25,0
10	SPC20B26 P	Convencional	1 x 18/20W**	220	60	0,38	0,35	4,0 x 250	28,0
11	SPC26B16 T	Convencional	1 x 26W*	127	60	0,73	0,40	14 x 250	37,5
12	SPC26B26 N	Convencional	1 x 26W*	220	60	0,31	0,45	3,5 x 250	33,0
13	SPC40B16 T	Convencional	1 x 36/40W**	127	60	0,85	0,48	15 x 250	52,0
14	SPC40B26 N	Convencional	1 x 36/40W**	220	60	0,41	0,50	4,0 x 250	47,0
15	SPC65B26 P	Convencional	1 x 58/65W**	220	60	0,67	0,50	6,5 x 250	72,0
* para lâmpadas fluorescentes compactas ** para lâmpadas fluorescentes tubulares									
Reatores Eletromagnéticos para Lâmpadas Fluorescentes Tubulares									
Nº	Código Comercial	Partida	Lâmpada	Tensão (V)	Frequência (Hz)	Corrente da rede (A)	Fator de Potência	Capacitor (µF)	Potência Total (W)
SPR - Partida Rápida									
16	SPR16B16 T	Rápida	1 x 16W	127	60	0,71	0,40	13 x 250	29,0
17	SPR16B26 T	Rápida	1 x 16W	220	60	0,40	0,42	4,0 x 250	27,5
18	SPR20B16 T	Rápida	1 x 20W	127	60	0,75	0,35	12 x 250	32,5
19	SPR20B26 T	Rápida	1 x 20W	220	60	0,37	0,36	4,0 x 250	29,5
20	SPR32B16 T	Rápida	1 x 32W	220	60	0,72	0,40	4,5 x 250	43,5
21	SPR32B26 T	Rápida	1 x 32W	127	60	0,40	0,46	12 x 250	42,5
22	SPR40B16 T	Rápida	1 x 40W	220	60	0,91	0,50	4,0 x 250	52,0
23	SPR40B26 T	Rápida	1 x 40W	127	60	0,52	0,45	15 x 250	52,5
24	SPR110A26 P	Rápida	1 x 110W	220	60	0,60	0,95	-	125,0
25	SPR110A26 P	Rápida	1 x 110W	220	60	0,60	0,95	-	125,0
DPR - Partida Rápida									
26	DPR16A16 P	Rápida	2 x 16W	127	60	0,37	0,95	-	45,0
27	DPR16A26 P	Rápida	2 x 16W	220	60	0,22	0,95	-	43,0
28	DPR20A16 N	Rápida	2 x 20W	127	60	0,45	0,95	-	55,0
29	DPR20A26 N	Rápida	2 x 20W	220	60	0,27	0,95	-	59,0
30	DPR32A16 P	Rápida	2 x 32W	127	60	0,62	0,95	-	73,0
31	DPR32A26 P	Rápida	2 x 32W	220	60	0,35	0,95	-	73,0
32	DPR40A16 N	Rápida	2 x 40W	127	60	0,70	0,95	-	92,0
33	DPR40A26 N	Rápida	2 x 40W	220	60	0,47	0,95	-	92,0
34	DPR110A16 P*	Rápida	2 x 110W	127	60	1,90	0,95	-	240,0
35	DPR110A26 P*	Rápida	2 x 110W	220	60	1,10	0,95	-	240,0
* operam com lâmpadas fluorescentes tubulares de 85W									

Figura 37 - Catálogo de reatores eletromagnéticos
Fonte: Philips (2009).

2.5.2 Reatores eletrônicos

Conforme Silva C. G. M. (2008), os reatores eletrônicos são aqueles compostos por componentes eletrônicos como capacitores, indutores, resistores, circuitos integrados, entre outros. Se comparados com os eletromagnéticos, possuem poucas perdas elétricas e operam em altas frequências (de 20 kHz a 50 kHz) ao invés de acompanhar a frequência da rede e estão presentes no mercado desde a década de 80, passando por um grande desenvolvimento tecnológico desde então. Também são conhecidos como reatores “leves” devido ao seu tamanho reduzido, se comparado com os eletromagnéticos, e podem possuir inúmeras vantagens, dentre as quais:

- são mais compactos;
- são mais leves;
- consomem menos energia;
- aumentam a vida útil da lâmpada;
- proporcionam uma luz com cor mais estável.

Os reatores eletrônicos são compostos basicamente por um circuito retificador acoplado a um circuito inversor controlado, tendo seus níveis de tensão e frequência pré-estabelecidos antes do início de sua operação. Por causa do circuito controlador, é possível manipular os níveis de distorção harmônica total e o fator de potência (FP) do reator, justificando o fato de o modelo de reator Eco MASTER chegar a ter FP igual a 0,99, como mostrado na Figura 39. Se comparado ao reator eletromagnético, o eletrônico possui ligação mais simples em sua instalação, pois dispensa o ignitor, item essencial aos reatores eletromagnéticos tradicionais (XAVIER, 2005).

Quanto ao tipo de partida, os eletrônicos podem ser subdivididos em duas categorias, conforme Silva C. G. M. (2008):

- partida rápida ou programada: é feito o controle do preaquecimento dos filamentos da lâmpada, sendo gerada em cada filamento uma pequena tensão pelo reator e, em seguida, surge uma tensão de circuito aberto

entre os eletrodos da lâmpada. O tempo necessário para a energização do reator e acendimento das lâmpadas é em torno de 1 a 2,5 segundos;

- partida instantânea: não há o preaquecimento dos filamentos, sendo gerada diretamente a tensão de circuito aberto e acendendo, assim, instantaneamente as lâmpadas.

Os reatores eletrônicos podem assegurar algumas características para o funcionamento da lâmpada conforme o modelo do reator, garantindo o funcionamento correto e não comprometendo sua vida útil, dentre estas características podemos citar (SILVA C. G. M., 2008):

- alto fator de potência;
- alta frequência;
- baixa carga térmica, resultando em economia de energia;
- aumento da vida útil;
- economia de energia elétrica em torno de 50%; e
- possibilidade de dimerização e a utilização de sistemas automatizados, podendo reduzir o consumo de energia em até 70%.

Porém, Silva C. G. M. (2008) ressalta que tais características dependem muito do modelo de reator utilizado, sendo aquelas variáveis com o projeto e qualidade de fabricação do produto, sendo que o fato do reator ser eletrônico não significa que ele corresponderá a todas as características supracitadas.

É importante ressaltar que por serem equipamentos que trabalham com elevadas frequências, os reatores eletrônicos podem causar desde interferências e ruídos em sinais de rádio e TV, até o colapso de sistema de computadores, caso não sejam instalados filtros adequados para estas interferências (SILVA C. G. M., 2008). A Figura 38 ilustra um reator eletrônico.



Figura 38 - Reator eletrônico
Fonte: Philips (2012).

Reatores Eletrônicos para Lâmpadas Fluorescentes Tubulares										
Nº	Código Comercial	Partida	Lâmpada	Tensão (V)	Frequência (Hz)	Corrente da Rede (A)	Potência Total (W)	Fator de Potência	Fator de Fluxo Luminoso	Distorção Harmônica (THD)
Basic EB (TL / TLD) - Alto Fator de Potência										
36	EB116A16/26 S	—	1 x 16W	127/220	—	0,15/0,08	18/17	0,94/0,95	0,90	20%/25%
37	EB120A16/26 S	—	1 x 18/20W	127/220	—	0,17/0,09	21/19	0,94/0,96	0,90	20%/25%
38	EB132A16/26 S	—	1 x 32W	127/220	—	0,28/0,17	33/34	0,94/0,95	0,90	20%/25%
39	EB140A16/26 S	—	1 x 36/40W	127/220	—	0,34/0,20	40/40	0,94/0,95	0,90	20%/25%
40	EB216A16/26 S	—	2 x 16W	127/220	—	0,26/0,15	32/31	0,95	0,90	20%/25%
41	EB220A16/26 S	—	2 x 18/20W	127/220	—	0,31/0,18	38/37	0,97	0,90	20%/25%
42	EB232A16/26 S	—	2 x 32W	127/220	—	0,53/0,31	65/65	0,95	0,90	20%/25%
43	EB240A16/26 S	—	2 x 36/40W	127/220	—	0,61/0,35	75/74	0,97	0,90	20%/25%
Reatores Eletrônicos para Lâmpadas Fluorescentes Tubulares e Compactas										
Nº	Código Comercial	Partida	Lâmpada	Tensão (V)	Frequência (Hz)	Corrente da Rede (A)	Potência Total (W)	Fator de Potência	Fator de Fluxo Luminoso	Distorção Harmônica (THD)
Eco MASTER - EL (TLT / TLD) - Alto Fator de Potência										
44	EL116A16	Instantânea	1 x 16W	127	50/60	0,13	16	0,98	0,96	10%
45	EL120A16	Instantânea	1 x 18/20W	127	50/60	0,14	18	0,99	0,93	10%
46	EL132A16	Instantânea	1 x 32W	127	50/60	0,28	35	0,97	1,00	10%
47	EL140A16	Instantânea	1 x 36/40W	127	50/60	0,31	38	0,97	0,95	10%
48	EL216A16	Instantânea	2 x 16W	127	50/60	0,27	34	0,99	0,95	15%
49	EL220A16	Instantânea	2 x 18/20W	127	50/60	0,31	38	0,98	1,00	15%
50	EL232A16	Instantânea	2 x 32W	127	50/60	0,54	67	0,98	1,00	10%
51	EL240A16	Instantânea	2 x 36/40W	127	50/60	0,62	75	0,98	0,95	10%
52	EL116A26 PS	Instantânea	1 x 16W	220	50/60	0,09	17	0,97	1,00	15%
53	EL120A26 PS	Instantânea	1 x 18/20W	220	50/60	0,09	19	0,98	0,97	10%
54	EL132A26 PS	Instantânea	1 x 32W	220	50/60	0,16	35	0,99	1,00	10%
55	EL140A26 PS	Instantânea	1 x 36/40W	220	50/60	0,18	39	0,98	0,95	13%
56	EL158A26	Rápida	1 x 55/58/65W	220	50/60	0,28	59	0,98	0,95	15%
57	EL1110A26	Instantânea	1 x 85/110W	220	50/60	0,48	100	0,95	0,93	20%
58	EL216A26 PS	Instantânea	2 x 16W	220	50/60	0,16	33	0,98	1,00	15%
59	EL220A26 PS	Instantânea	2 x 18/20W	220	50/60	0,17	37	0,98	0,95	15%
60	EL232A26 PS	Instantânea	2 x 32W	220	50/60	0,31	67	0,98	1,00	10%
61	EL240A26 PS	Instantânea	2 x 36/40W	220	50/60	0,35	76	0,98	0,95	15%
62	EL258A26	Rápida	2 x 55/58/65W	220	50/60	0,49	110	0,99	0,95	5%
63	EL2110A26	Instantânea	2 x 85/110W	220	50/60	0,88	190	0,97	0,93	20%
Eco MASTER Multi-tensão - EL (TL5 / TLD / PLL) - Alto Fator de Potência										
64	EL114-28A26	Rápida	1 x 14W	100 a 240	50/60	0,08	17	0,99	1,00	9%
65	EL114-28A26	Rápida	1 x 28W	100 a 240	50/60	0,14	31	0,99	1,00	6%
66	EL214-28A26	Rápida	2 x 14W	100 a 240	50/60	0,15	32	0,99	1,00	7%
67	EL214-28A26	Rápida	2 x 28W	100 a 240	50/60	0,28	62	0,99	1,00	6%
68	EL1/254A26	Rápida	1 ou 2 x 54W	120 a 277	50/60	0,28/0,54	59/115	0,98	1,00	10%
69	EL1/254A26	Rápida	1 ou 2 x 58W	120 a 277	50/60	0,27/0,56	59/113	0,98/0,98	0,90/0,90	10%/10%
70	EL1/254A26	Rápida	1 ou 2 x 36W	120 a 277	50/60	0,17/0,32	36/69	0,95/0,98	0,96/0,94	15%/10%
71	EL1/254A26	Rápida	1 ou 2 x 55W	120 a 277	50/60	0,27/0,50	56/108	0,96/0,98	0,92/0,90	15%/10%
72	EL1/216-32A26	Rápida	1 ou 2 x 16W	120 a 277	50/60	0,08/0,15	18/33	0,99	1,00	10%
73	EL1/216-32A26	Rápida	1 ou 2 x 32W	120 a 277	50/60	0,15/0,29	33/65	0,99	1,00	10%
valores medidos em 220V para informações em 127V favor consultar o SPOT										
Eco MASTER PL - EL (PL-T/C) - Alto Fator de Potência Multi-tensão										
74	EL1/218A26PLT/C	Instantânea	1 ou 2 x 18W	120 a 277	50/60	0,09/0,17	20/37	0,99	1,00	10%/12%
75	EL1/226A26PLT/C	Instantânea	1 ou 2 x 26W	120 a 277	50/60	0,13/0,21	28/55	0,99	1,00	12%/10%
76	EL1/242A26 PLT	Instantânea	1 ou 2 x 32W	120 a 277	50/60	0,14/0,30	32/47	0,99	1,00	10%
77	EL1/242A26 PLT	Instantânea	1 ou 2 x 42W	120 a 277	50/60	0,22/0,37	47/82	0,99	1,00	10%
Eco MASTER TL5 - EL (TL5) - Alto Fator de Potência										
78	EL214-35A26	Rápida	2 x 14W	220	50/60	0,14	30	0,96	1,00	10%
79	EL214-35A26	Rápida	2 x 28W	220	50/60	0,28	61	0,96	1,00	10%
valores medidos em 220V para informações em 127V favor consultar o SPOT										

Figura 39 - Catálogo de reatores eletrônicos
Fonte: Philips (2009).

2.6 TAXA DE DISTORÇÃO HARMÔNICA

Um harmônico, segundo Silva C. G. M. (2008), possui uma frequência de múltiplo inteiro da frequência fundamental (no caso do sistema elétrico brasileiro, 60 Hz), que causa uma distorção na forma de onda. A título de exemplificação, na Figura 40 há uma onda senoidal, que possui uma frequência cinco vezes maior que a outra. A soma dessas duas ondas está mostrada na Figura 41, a qual representa de fato uma onda com distorção harmônica.

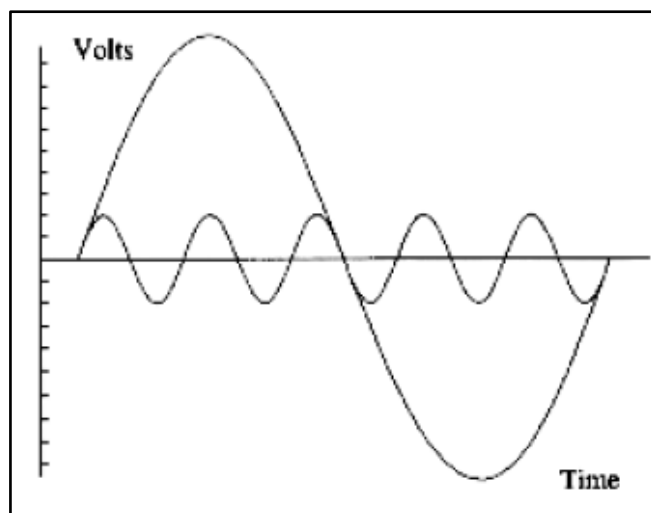


Figura 40 - Forma de onda da harmônica
Fonte: Silva C. G. M. (2008).

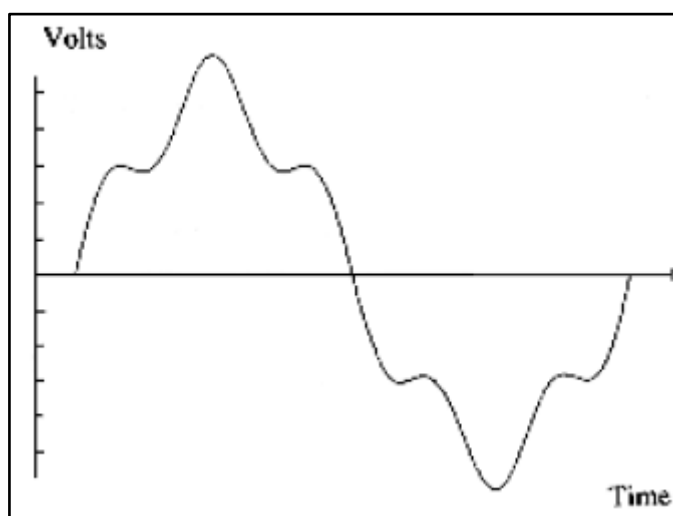


Figura 41 - Forma de onda distorcida pela presença de harmônico
Fonte: Silva C. G. M. (2008).

A presença de harmônicos é prejudicial não só para o consumidor que gerou os harmônicos como também para os demais consumidores que estão ligados à mesma rede elétrica. Esse prejuízo se deve ao fato de que os equipamentos são fabricados para operarem sob uma forma de onda senoidal perfeita. Portanto, a presença de harmônico causa, por exemplo, aquecimento excessivo, ressonância, redução do rendimento de motores elétricos, queda de tensão e baixo fator de potência, ou seja, compromete a qualidade das cargas elétricas. Alguns equipamentos com características não-lineares, que causam o surgimento de harmônicos, são: circuitos de iluminação com lâmpadas de descarga, fornos de indução de alta frequência, inversores de frequência, entre outros.

Independentemente do reator utilizado, segundo Pires (2006), se for respeitado o limite de taxa de distorção harmônica para tensão (TDH_v), o efeito dos harmônicos das lâmpadas fluorescentes é irrelevante. Esse limite é de 15%, segundo a norma brasileira, 5%, segundo o *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE), e de 8%, segundo a *International Electrotechnical Commission* (IEC). O valor geralmente utilizado é o estabelecido pela IEEE.

No caso das lâmpadas a LED, como foi supracitado, há a necessidade de um conversor CA-CC, para que possam ser ligadas à rede elétrica. Esses conversores, por sua vez, devido ao chaveamento são considerados cargas não lineares, de forma que também podem provocar distorção harmônica no sistema (MELO, 2010).

Caso esse limite não seja atingido, uma maneira de solucionar o problema com a distorção harmônica é a adição de um filtro harmônico ao sistema, podendo ser um filtro série (circuito LC (indutor e capacitor) paralelo) ou um filtro paralelo (*shunt*), que é a criação de um caminho de baixa impedância para as correntes harmônicas (PIRES, 2006).

2.7 SOFTWARE DE SIMULAÇÃO

Segundo Tavares (2007), “simulação computacional” é qualquer algoritmo que mimetiza um processo físico, sendo que algoritmo é um processo computacional

que tem um ou mais valores de entrada e que produzem um ou mais valores de saída. Existem diversos *softwares* com diferentes características e propósitos, sendo que dependendo do objetivo existe um algoritmo, ou modelo, diferente a ser seguido.

Com relação aos *softwares* específicos para simulação de iluminação, estes trabalham com algoritmos próprios e um enfoque com diferentes características para a realização de seus cálculos, sendo possível realizar simulações qualitativas ou quantitativas. As simulações quantitativas fornecem como saída dados referentes às quantidades de iluminação como, por exemplo, nível de iluminância, IRC, dentre outros. Já as simulações qualitativas possuem como saída dados referentes a aspectos qualitativos da luz, apresentados sob a forma de imagens, simulando assim o espaço real (TAVARES, 2007).

2.7.1 *Softwares* existentes

2.7.1.1 ADELINÉ

O pacote de ferramentas ADELINÉ (*Advanced Day and Electric Lighting Integrated New Environment*) desenvolvido pela *Fraunhofer Institute for Buildings* com o apoio da Agência Internacional de Energia (*International Energy Agency - IEA*), sendo possível utilizar o programa para resolver uma grande variedade de tarefas que são encontradas no dia a dia do planejamento de iluminação, tanto natural quanto artificial. A sua utilização não se restringe a edificações com formatos geométricos simples, podendo ser utilizado nos mais complexos ambientes. O programa produz uma grande variedade de dados luminosos, processando dados geométricos, fotométricos, climáticos e óticos, gerando informações numéricas e gráficas compreensíveis. As suas plataformas de utilização são IBM-PC/DOS, um exemplo de simulação é mostrado na Figura 42 (FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT, 2011).

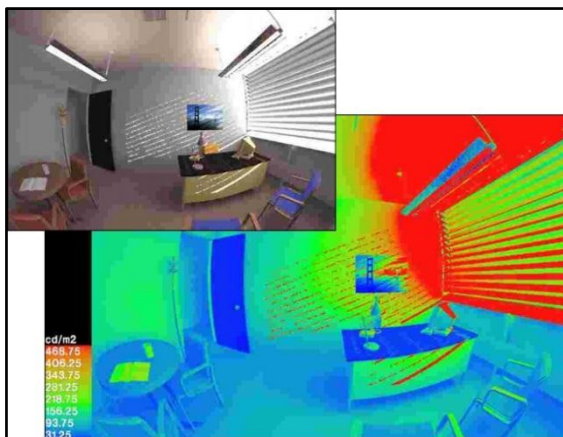


Figura 42 - Exemplo de simulação com o programa ADELINÉ
Fonte: Fraunhofer-Gesellschaft (2011).

2.7.1.2 Lightscape 3.2

O programa Lightscape simula as propriedades físicas da luz e captura os efeitos luminosos por material, gerando significativos efeitos luminosos como iluminação indireta e sombreamentos suaves. O *software* pode ser utilizado para elaborar, analisar e apresentar projetos de edifícios quanto a sua iluminação, podendo gerar imagens foto realísticas dos projetos, realizar análises fotométricas quantitativas, renderização e animação (DATECH, 2010). Foi desenvolvido pela *Lightscape Technologies of San Jose*, EUA, inicialmente para plataforma UNIX, porém passou a funcionar na plataforma *Windows* após ser adquirida pela AUTODESK. Ainda possui grande número de usuários apesar do abandono do programa pela AUTODESK (TAVARES, 2007), na Figura 43 é mostrada a tela de interface do programa.

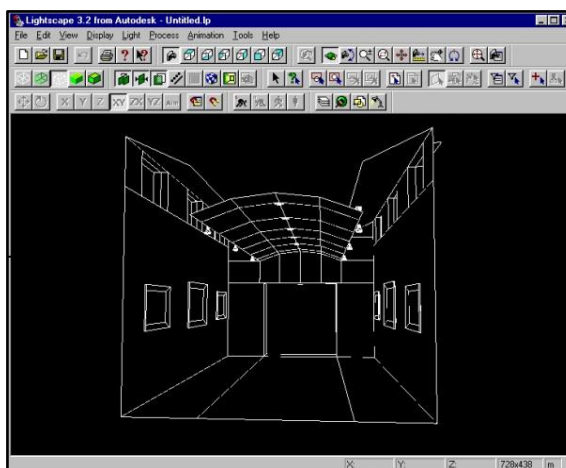


Figura 43 - Tela de interface do Lightscape 3.2
Fonte: AUTODESK (1999).

2.7.1.3 Radiance

Radiance é um programa para a análise e visualização do design de iluminação, sendo desenvolvido com suporte do Departamento de Energia dos Estados Unidos da América e do Governo Federal Suíço. Em sua entrada de dados são especificados a geometria do local, os materiais, luminárias, hora, dia e condição do tempo (para cálculos utilizando iluminação natural). Alguns dos valores calculados são irradiação, radiação e indicadores de reflexo, sendo que os resultados das simulações podem ser apresentadas como imagens, valores numéricos ou gráficos. A principal vantagem do Radiance é que para o programa não existe limitações de geometria e materiais que podem ser utilizados e simulados, sendo o programa utilizado por arquitetos e engenheiros para prever a qualidade da iluminação e a aparência de espaços inovadores, e por pesquisadores para analisar novas tecnologias de iluminação, como mostrado na Figura 44. A plataforma utilizada é UNIX/Linux, assim sendo, o *software* é livre (CHADWELL, 1997).



Figura 44 - Simulação do exterior de uma casa durante o verão
Fonte: Larson (1994).

2.7.1.4 Desktop Radiance

Desktop Radiance é um *software* livre com plataforma Windows 95/98/NT que integra o Radiance (apresentado no tópico anterior) ao AutoCAD. Desktop Radiance inclui uma lista de bibliotecas de materiais, luminárias e móveis para que

se criem rapidamente modelos de iluminação realísticos. O objetivo do programa é fornecer uma ferramenta integrada com o sistema CAD para facilitar o projeto de iluminações eficientes na arquitetura de edifícios, um exemplo de suas simulações é mostrada na Figura 45. O *software* é desenvolvido pelo *Lawrence Berkeley National Laboratory*, através do Instituto de Eficiência Energética da Califórnia, EUA (LAWRENCE, 2000).

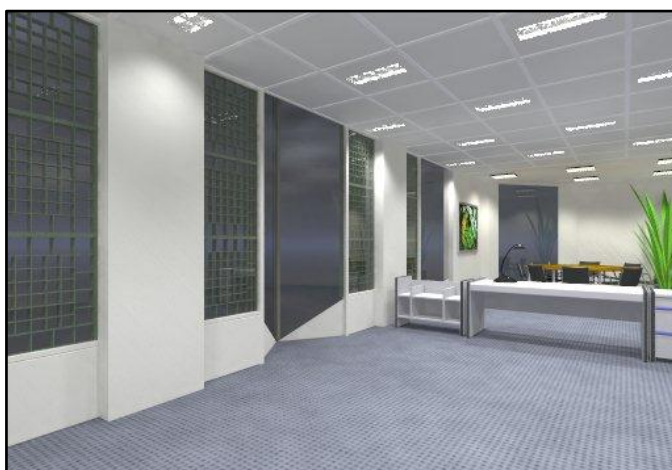


Figura 45 - Simulação da iluminação de um escritório
Fonte: Mardaljevic (1994).

2.7.1.5 DIALux

O software de iluminação DIALux é desenvolvido pela empresa alemã DIAL GmbH em parceria com diversos produtores de luminárias e lâmpadas. A utilização do DIALux traz diferentes vantagens, pois é um software de cálculo de iluminação utilizado mundialmente, confiável e com atualizações constantes de listas de luminárias e lâmpadas que podem ser utilizadas em seus projetos, facilitando, assim, simulações com luminárias reais, sem contar sua interface com o usuário simples, um exemplo é mostrado na Figura 46. O *software* apresenta imagens foto realísticas dos ambientes, importa e exporta arquivos para outros *softwares* de CAD disponíveis e está em contínuo desenvolvimento. O DIALux possui plataforma *Windows* (XP, Vista e 7), possuindo uma interface fácil e intuitiva, além de ser um *software* livre (DIAL, 2012).

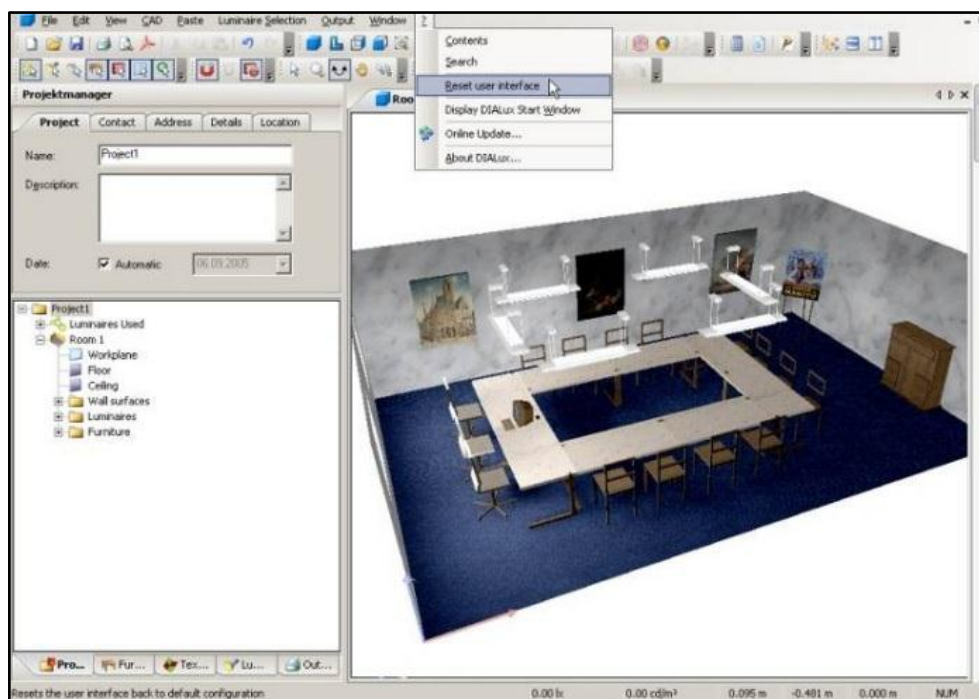


Figura 46 - Interface do DIALux
Fonte: DIAL (2011).

2.7.1.6 Lumisoft

O *software* de iluminação Lumisoft é desenvolvido pela empresa brasileira Lumicenter, localizada na cidade de São José dos Pinhais no estado do Paraná. O Lumisoft, cuja interface é mostrada na Figura 47, é um *software* para estudos luminotécnicos, é bastante completo, permitindo realizar simulações dinâmicas de maneira eficiente e rápida, possuindo biblioteca das luminárias Lumicenter mais comuns e sendo possível editar as características das luminárias conforme necessário. Sua desvantagem é que o *software* não permite a simulação em ambientes irregulares, além de não possuir a opção de considerar divisórias e objetos localizados no ambiente para a realização dos cálculos. O Lumisoft foi desenvolvido para funcionar em computadores com o sistema operacional *Windows*, mais especificamente o *Windows XP* (Lumicenter, 2010).

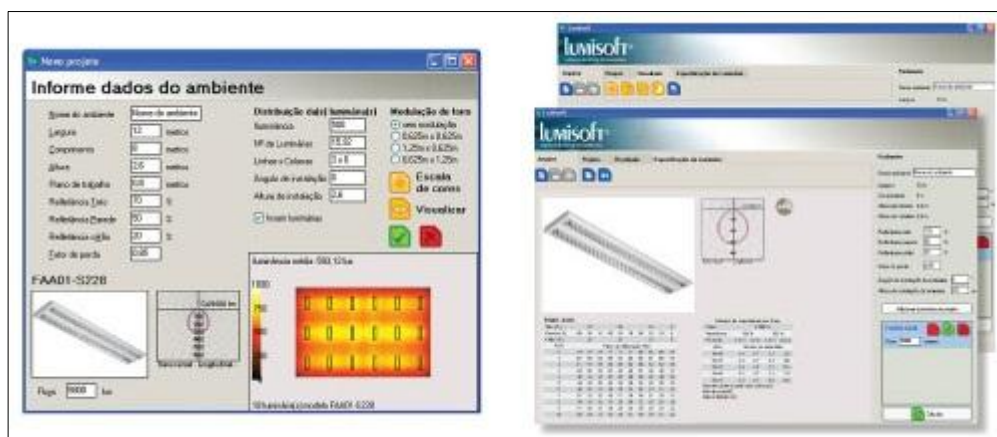


Figura 47 - Interface do Lumisoft
Fonte: Lumicenter (2010).

2.8 ILUMINAÇÃO E COMPORTAMENTO HUMANO

Existe, atualmente, interesse em estudos que promovam um maior entendimento entre a iluminação do ambiente, seja esta natural ou artificial, e o comportamento do homem. Segundo Vargas (2011), já são comprovados estudos que relacionam a produção da melatonina, hormônio relacionado aos períodos de escuridão, com os ciclos claro/escuro causados tanto pela iluminação natural quanto artificial, assim como a produção de cortisol e adrenalina. Todos estes fatores influenciam no estado psíquico e comportamental dos seres humanos.

Ainda, conforme Vargas (2011), desde quando o homem passou a viver em ambientes iluminados artificialmente, nunca foi levado em consideração como a luz artificial pode interferir no ciclo natural dia/noite ao qual o organismo humano está acostumado e como manter este ciclo é importante para manter um ritmo de vida saudável. Destacando, assim, a importância da utilização de fontes de luz com temperaturas de cor adequadas para cada horário do dia, independente se a iluminação for exterior ou interior, para que a iluminação não interfira no ciclo fisiológico natural tanto em animais quanto em plantas.

Ao se considerar a percepção da luz em um ambiente, é importante salientar que isto não é somente uma reação fisiológica de caráter objetivo, mas também carrega sinais subjetivos, se relacionando com o fator psicológico dos seres humanos e com a percepção do mundo a sua volta. A luz incidente permite a percepção de formas, cores, espaços e movimentos que, juntamente com a análise

subjetiva dada pela psique humana, poderá aflorar diferentes percepções de um mesmo espaço ou objeto por pessoas diferentes, sendo este aspecto subjetivo o responsável por mudanças comportamentais nas pessoas expostas ao ambiente (VARGAS, 2011).

Vargas (2011) cita dois exemplos, dizendo que quando as sensações visuais transmitidas são positivas, elas tendem a atrair as pessoas e fazem com que elas passem mais tempo no local ou procurem pelo ambiente; por outro lado, quando as sensações visuais são negativas, elas causam a repulsa, fazendo com que as pessoas queiram passar pouco tempo ou evitem o ambiente.

A iluminação possui vários critérios relativos para avaliação, como contrastes, ângulos de visão, ofuscamento e níveis de iluminamento conforme citado por Vargas (2011), que influenciam diretamente na percepção do ambiente. Dentre estes um dos mais importantes é a cor, conforme Cunha (2004), a cor pode atrair ou repelir as pessoas a determinado espaço, passando, também, a sensação de calor, frio, agitação, calma ou irritação, sendo harmonia cromática essencial para os ambientes. Ainda segundo Cunha (2004), ilusões podem ser criadas com a utilização das cores, podendo-se dar o efeito de movimento ou de monotonia, aproximação ou afastamento, além das sensações já citadas.

Devido ao caráter subjetivo da interpretação da luz (VARGAS, 2011), os efeitos psicológicos, causados pelas cores também subjetivos, tem direta relação com as experiências já vistas ou vividas pelas pessoas (CUNHA, 2004).

Um ambiente monótono passa a sensação de tédio as pessoas nele presentes, devido à falta de estímulos dados causando efeitos como fadiga, sonolência, falta de disposição e diminuição da atenção. Já ambientes pouco iluminados podem levar ao cansaço e tristeza, sendo isto resolvido utilizando iluminação artificial adequada e cores leves (CUNHA, 2004).

Cunha (2004) cita que para ambientes hospitalares deve-se utilizar uma combinação de cores que proporcionem tranquilidade aos pacientes, mas que ao mesmo tempo não diminua a produtividade dos funcionários. Utilizando-se tonalidades quentes, mas não muito estimulantes, é possível manter os pacientes despertos e os funcionários com alta produtividade, assim o ambiente hospitalar fica vivo e animado, sendo estas sensações psicológicas positivas fundamentais, pois hospitais são espaços onde pessoas são atendidas com risco de vida e as equipes trabalham sob pressão.

Cunha (2004) relaciona algumas cores com as sensações transmitidas como mostrado na Tabela 6.

Tabela 6 - Cores e as sensações transmitidas

Cor	Efeito de distância	Efeito de temperatura	Disposição psíquica
Azul	Distância	Frio	Tranquilizante
Verde	Distância	Frio a neutro	Muito tranquilizante
Vermelho	Próximo	Quente	Muito irritante e intranquilizante
Laranja	Muito próximo	Muito quente	Estimulante
Amarelo	Próximo	Muito quente	Estimulante
Marrom	Muito próximo	Neutro	Estimulante

Fonte: Cunha (2004).

Conforme explicitado por Vargas (2011) e Cunha (2004), a utilização de uma luz adequada, com níveis de iluminamento, ângulo de reflexão, brilho e cores adequadas é essencial para um ambiente, devendo ser cuidadosamente estudado durante o planejamento do mesmo. Segundo Cunha (2004), a utilização desta arte técnica desenvolve emoções, positivas ou negativas, requerendo não só o planejamento, mas também o estudo e o entendimento de seu funcionamento.

2.9 NORMAS

Para a instalação de circuitos de iluminação, é necessário que o projeto atenda a requisitos mínimos ditados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Para o caso deste trabalho é dada maior atenção as Normas Brasileiras (NBR) de números 5382, 5410, 5413 e 5461.

A NBR 5382 - Verificação de iluminância de interiores explica qual deve ser o método utilizado para a medição de iluminância em ambientes internos de área retangular, utilizando-se como referência a iluminância média sobre um plano horizontal (NBR 5382).

A NBR 5410 - Instalações elétricas de baixa tensão relata os requisitos mínimos que as instalações elétricas de baixa tensão devem atender para que se possa garantir a segurança de pessoas e animais e o adequado funcionamento da

instalação, assim como a conservação dos bens. Esta norma se aplica a instalações elétricas de edificações, independente de seu uso (NBR 5410).

A NBR 5413 - Iluminância de interiores contém os valores mínimos de iluminância média que devem ser utilizadas em serviços realizados no interior de edifícios, sendo a iluminância fornecida pela iluminação artificial instalada no local, para diferentes atividades (NBR 5413).

A NBR 5461- Iluminação traz as definições das terminologias utilizadas nas normas que relatam termos relativos à iluminação (NBR 5461).

3 ESTUDO TÉCNICO

3.1 ILUMINAÇÃO NATURAL

Primeiramente, a Figura 48 mostra a localização da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, além dos blocos que a compõe, no qual o bloco em destaque é o bloco E, o qual possui 3.386 m² (FONSECA, 2009 *apud* COSTA A. S., 2007).

O bloco E, por sua vez, possui um subsolo, *hall* térreo e dois mezaninos, nos quais se concentram atividades administrativas. Como as principais atividades são as acadêmicas, ademais, são as que demandam mais iluminação, o foco do estudo foi nos pavimentos em que há aulas, ou seja, primeiro, segundo e terceiro pavimentos.

Devido ao fato do supracitado bloco não ter sofrido alterações arquitetônicas e elétricas bruscas, para os cálculos da utilização da iluminação natural, pôde ser utilizado como base à dissertação de mestrado de Suzana Damico Fonseca, feita em 2009.

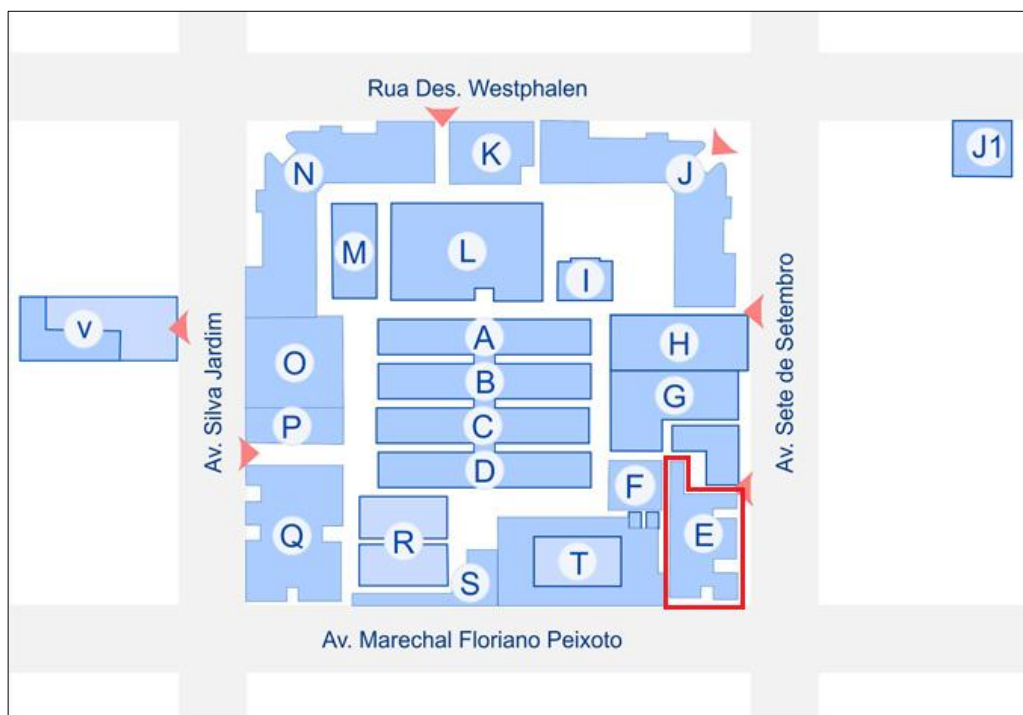


Figura 48 - Mapa da localização do bloco E na UTFPR
Fonte: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2012.

Fundamentado, assim, na dissertação de Fonseca (2009), as salas que foram utilizadas para as medições foram E101, E104, E107, E301, E304 e E307, as quais estão orientadas respectivamente: oeste, sul, leste/oeste, oeste, sul, leste/oeste.

Para a caracterização física das salas de aula, foi utilizado o fator WWR, que significa *Window to Wall Ratio* ou ainda Razão Janela-Parede (RJP), que seria a razão da área útil da janela pela área total da parede da fachada, em que esta janela está. Esse fator é uma importante variável que afeta a eficiência energética da edificação, uma vez que a área da janela afeta a entrada de luz solar, calor, ventilação, entre outros (FONSECA, 2009). Assim, conforme a Equação 9, WWR é definido por:

$$WWR = \frac{A_{jan} - A_{caixilho}}{A_{parede}} \quad (9)$$

em que

A_{jan} é a área da abertura (vão) da janela, em m²;

$A_{caixilho}$ é a área da esquadria e de todos os elementos que reduzem a área efetiva do vão da janela, em m²;

A_{parede} é a área total da parede da fachada que contém a abertura da janela, em m².

Outro fator utilizado por Fonseca (2009) foi o Fator caixilho (K_c), que é determinado pela Equação 10, a qual utiliza as mesmas variáveis supracitadas:

$$K_c = \frac{A_{jan} - A_{caixilho}}{A_{jan}} \quad (10)$$

Dessa forma, as características físicas das salas estudadas por Fonseca (2009) podem ser vistas na Tabela 7:

Fonseca (2009) também explica em sua dissertação que foram escolhidos três dias para serem feitas as medições, que, não só segue a norma NBR 15215-4, como também proporciona mais confiabilidade nos dados obtidos. Assim, as análises foram feitas nos dias 18,19 e 20 de dezembro e 28, 29 e 30 de julho, em intervalos de 2 horas, começando as 9 e terminando às 17 horas. Por conseguinte, a

Tabela 8 mostra os parâmetros, os quais já foram descritos no item 2.2.1 – Iluminação Natural, obtidos por meio desses dados, como o número do mês do ano (M), número do dia do mês (D), dia Juliano (J), valor numérico mensal (i), longitude do local (λ), longitude do meridiano (λ_p), hora local marcada no relógio (h), expressão horária (x_h), hora solar verdadeira (h_s) e declinação solar (δ_s).

Tabela 7 – Características das salas de aula do bloco E

	E101	E104	E107	E301	E304	E307
L - Largura [m]	6,25	6,25	9,60	6,25	6,25	9,60
C - Comprimento [m]	12,35	9,75	9,20	12,35	9,75	9,20
Pé-direito [m]	2,95	2,95	2,95	2,95	2,95	2,95
Área do vão da janela [m ²]	16,00	12,42	7,40	16,00	12,42	7,40
Área de caixilhos [m ²]	2,93	2,38	1,55	2,93	2,38	1,55
Kc - Fator caixilho	0,82	0,81	0,79	0,82	0,81	0,79
Área da parede da fachada [m ²]	36,43	28,76	27,14	36,43	28,76	24,14
Fator WWR	0,36	0,35	0,22	0,36	0,35	0,22
Obstrução do entorno	Não	Não	Sim	Não	Não	Amena

Fonte: Adaptado de Fonseca (2009).

A Tabela 9 mostra os dados obtidos por meio das medições de iluminação natural, feitas com luxímetro, e que contém a iluminância mínima medida (E mínimo), máxima (E máximo), e média (E médio), além da iluminância mínima requerida pela norma NBR 5413 – Iluminação de interiores.

Baseado somente na iluminância interna das salas, sem considerar a relação entre a iluminância interna e externa (FLN), conforme destaca Fonseca (2009), vê-se o potencial aproveitamento da iluminação natural das salas E101, E104, E301 e E304, uma vez que há grande variação entre a iluminância mínima medida e máxima das salas E107 e E307, que é causada pelo baixo fator WWR.

Por conseguinte, com os resultados obtidos das medições de iluminação natural interna e com os dados de simulações feitas, tanto para o inverno quanto para o verão, Fonseca (2009) determina o FLN médio das salas analisadas, os quais são: 5,8% para a sala E101, 4,9% para a sala E301, 4,5% para sala E104; 5,3% para a sala E304, 2,8% para a sala E107 e 1,8% para a sala E307.

Tabela 8 - Parâmetros relacionados com os dias escolhidos para a medição

M	D	i	J	λ [°]	λ_p [°]	h [h]	x_h	h_s [h]	δ_s [°]
12	18	331	349	-49,2731	-45	9	-0,0043	7,7109	-23,3622
12	18	331	349	-49,2731	-45	11	-0,0043	9,7109	-23,3622
12	18	331	349	-49,2731	-45	13	-0,0043	11,7109	-23,3622
12	18	331	349	-49,2731	-45	15	-0,0043	13,7109	-23,3622
12	18	331	349	-49,2731	-45	17	-0,0043	15,7109	-23,3622
12	19	332	351	-49,2731	-45	9	0,0725	7,7876	-23,3935
12	19	332	351	-49,2731	-45	11	0,0725	9,7876	-23,3935
12	19	332	351	-49,2731	-45	13	0,0725	11,7876	-23,3935
12	19	332	351	-49,2731	-45	15	0,0725	13,7876	-23,3935
12	19	332	351	-49,2731	-45	17	0,0725	15,7876	-23,3935
12	20	333	353	-49,2731	-45	9	-0,1669	7,5482	-23,4179
12	20	333	353	-49,2731	-45	11	-0,1669	9,5482	-23,4179
12	20	333	353	-49,2731	-45	13	-0,1669	11,5482	-23,4179
12	20	333	353	-49,2731	-45	15	-0,1669	13,5482	-23,4179
12	20	333	353	-49,2731	-45	17	-0,1669	15,5482	-23,4179
7	28	188	216	-49,2731	-45	9	-0,2189	8,4962	18,8893
7	28	188	216	-49,2731	-45	11	-0,2189	10,4962	18,8893
7	28	188	216	-49,2731	-45	13	-0,2189	12,4962	18,8893
7	28	188	216	-49,2731	-45	15	-0,2189	14,4962	18,8893
7	28	188	216	-49,2731	-45	17	-0,2189	16,4962	18,8893
7	29	189	218	-49,2731	-45	9	0,2378	8,9529	18,6489
7	29	189	218	-49,2731	-45	11	0,2378	10,9529	18,6489
7	29	189	218	-49,2731	-45	13	0,2378	12,9529	18,6489
7	29	189	218	-49,2731	-45	15	0,2378	14,9529	18,6489
7	29	189	218	-49,2731	-45	17	0,2378	16,9529	18,6489
7	30	190	220	-49,2731	-45	9	-0,0570	8,6581	18,4030
7	30	190	220	-49,2731	-45	11	-0,0570	10,6581	18,4030
7	30	190	220	-49,2731	-45	13	-0,0570	12,6581	18,4030
7	30	190	220	-49,2731	-45	15	-0,0570	14,6581	18,4030
7	30	190	220	-49,2731	-45	17	-0,0570	16,6581	18,4030

Fonte: Adaptado de Fonseca (2009).

A Tabela 10, Tabela 11, Tabela 12, Tabela 13, Tabela 14, Tabela 15 e Tabela 16, em que CC, PE e CE correspondem, respectivamente, a céu claro, parcialmente encoberto, céu encoberto, puderam ser obtidas por meio de simulações feitas por Fonseca (2009), uma vez que para a realização das medições de iluminância externa deveriam ser utilizada uma fotocélula e um anel de sombreamento, os quais inviabilizaram a prática. Essas simulações apontam para o fato de que, apesar de a iluminação externa conseguir fornecer luminosidade suficiente da iluminância interna das salas, ela não é suficiente para iluminar os pontos críticos.

Tabela 9 - Iluminância interna das salas de aula

		E101	E104	E107	E301	E304	E307
WWR		0,36	0,35	0,22	0,36	0,35	0,22
Orientação cardinal		Oeste	Sul	Leste/Oeste	Oeste	Sul	Leste/Oeste
Nível de iluminância recomendado pela NBR 5413		200 lux	200 lux	200 lux	200 lux	200 lux	200 lux
E mínimo [lux]	Verão	68	160	23	81	136	29
E máximo [lux]	Verão	10500	11020	3850	4160	4280	1336
E médio [lux]	Verão	1400	1265	411	1084	1270	290
E mínimo [lux]	Inverno	17	16	3	31	42	2
E máximo [lux]	Inverno	4000	1812	4680	2640	1840	4137
E médio [lux]	Inverno	649	365	422	383	541	329

Fonte: Adaptado de Fonseca (2009).

Tabela 10 - Dados de iluminância externa difusa em um plano horizontal - considerando-se o horário legal e adotando-se o horário de verão

Horário	Outono (22 mar 2009)			Inverno (22 jun 2009)			Primavera (23 set 2009)			Verão (22 dez 2009)		
	CC	PE	CE	CC	PE	CE	CC	PE	CE	CC	PE	CE
09:00	12,5	26	12,3	10,3	17,2	8,2	13	28,1	13,3	12,1	24,4	11,5
11:00	15,1	38,5	18,1	13	28,2	13,3	15,3	39,5	18,6	15,2	39	18,3
13:00	15,5	40,7	19,2	13,3	29,8	14,1	15,4	40,4	19	16,3	45,2	21,3
15:00	13,8	32,1	15,2	11,4	21,5	10,2	13,5	30,6	14,4	15,6	41,4	19,5
17:00	9,7	15	7,2	6,1	5,5	2,7	8,9	12,7	6,1	13,1	28,6	13,5

Fonte: Fonseca (2009).

Tabela 11 - Simulação das condições do nível de iluminamento da sala de aula E101, a partir do FLN médio, para o dia típico de cada estação do ano em 2009

Sala E101 - FLN médio 5,8%												
Horário	Outono (22 mar 2009)			Inverno (22 jun 2009)			Primavera (23 set 2009)			Verão (22 dez 2009)		
	CC	Lux PE	CE	CC	Lux PE	CE	CC	Lux PE	CE	CC	Lux PE	CE
09:00	725	1507	713	597	997	475	754	1629	771	701	1414	667
11:00	875	2232	1049	754	1635	771	887	2290	1078	881	2261	1061
13:00	898	2359	1113	771	1727	817	893	2342	1101	945	2620	1235
15:00	800	1861	881	661	1246	591	783	1774	835	904	2400	1130
17:00	562	869	417	354	319	157	516	736	354	759	1658	783

Fonte: Fonseca (2009).

Tabela 12 - Simulação das condições do nível de iluminamento da sala de aula E301, a partir do FLN médio, para o dia típico de cada estação do ano em 2009

Sala E301 - FLN médio 4,9%												
Horário	Outono (22 mar 2009)			Inverno (22 jun 2009)			Primavera (23 set 2009)			Verão (22 dez 2009)		
	CC	Lux PE	CE	CC	Lux PE	CE	CC	Lux PE	CE	CC	Lux PE	CE
09:00	509	1058	501	419	700	334	529	1144	541	492	993	468
11:00	615	1567	737	529	1148	541	623	1608	757	619	1587	745
13:00	631	1657	781	541	1213	574	627	1644	773	663	1840	867
15:00	562	1306	519	464	875	415	549	1245	586	635	1685	794
17:00	395	611	293	248	224	110	362	517	248	533	1164	549

Fonte: Fonseca (2009).

Tabela 13 - Simulação das condições do nível de iluminamento da sala de aula E104, a partir do FLN médio, para o dia típico de cada estação do ano em 2009

Sala E104 - FLN médio 4,5%												
Horário	Outono (22 mar 2009)			Inverno (22 jun 2009)			Primavera (23 set 2009)			Verão (22 dez 2009)		
	CC	Lux PE	CE	CC	Lux PE	CE	CC	Lux PE	CE	CC	Lux PE	CE
09:00	561	1168	552	463	773	368	584	1262	597	543	1096	517
11:00	678	1729	813	584	1267	597	687	1774	835	683	1753	822
13:00	696	1828	862	597	1339	633	692	1815	853	732	2030	957
15:00	620	1442	683	512	966	458	606	1374	647	701	1860	876
17:00	436	674	323	274	247	121	400	570	247	588	1285	606

Fonte: Fonseca (2009).

Tabela 14 - Simulação das condições do nível de iluminamento da sala de aula E304, a partir do FLN médio, para o dia típico de cada estação do ano em 2009

Sala E304 - FLN médio 5,3%												
Horário	Outono (22 mar 2009)			Inverno (22 jun 2009)			Primavera (23 set 2009)			Verão (22 dez 2009)		
	CC	Lux PE	CE	CC	Lux PE	CE	CC	Lux PE	CE	CC	Lux PE	CE
09:00	583	1212	574	480	802	382	606	1310	620	564	1138	536
11:00	704	1795	844	606	1315	620	713	1842	86	709	1819	853
13:00	723	1898	895	620	1390	658	718	1884	886	760	2108	993
15:00	644	1497	709	532	1003	476	630	1427	672	727	1931	909
17:00	452	699	336	284	256	126	415	592	284	611	1334	630

Fonte: Fonseca (2009).

Tabela 15 - Simulação das condições do nível de iluminamento da sala de aula E107, a partir do FLN médio, para o dia típico de cada estação do ano em 2009

Sala E107 - FLN médio 2,8%												
Horário	Outono (22 mar 2009)			Inverno (22 jun 2009)			Primavera (23 set 2009)			Verão (22 dez 2009)		
	CC	Lux PE	CE	CC	Lux PE	CE	CC	Lux PE	CE	CC	Lux PE	CE
09:00	353	735	348	291	486	232	368	795	376	342	690	325
11:00	427	1089	512	368	797	376	433	1117	526	430	1103	517
13:00	438	1151	543	376	843	399	435	1142	537	461	1278	602
15:00	390	908	430	322	608	288	382	865	407	441	1171	551
17:00	274	424	204	172	156	76	252	359	172	370	809	382

Fonte: Fonseca (2009).

Tabela 16 - Simulação das condições do nível de iluminamento da sala de aula E307, a partir do FLN médio, para o dia típico de cada estação do ano em 2009

Sala E307 - FLN médio 1,8%												
Horário	Outono (22 mar 2009)			Inverno (22 jun 2009)			Primavera (23 set 2009)			Verão (22 dez 2009)		
	CC	Lux PE	CE	CC	Lux PE	CE	CC	Lux PE	CE	CC	Lux PE	CE
09:00	211	439	207	174	290	138	219	474	224	204	412	194
11:00	255	649	305	219	476	224	258	666	314	256	658	309
13:00	261	687	324	224	503	238	260	682	321	275	762	359
15:00	233	542	256	192	363	172	228	516	243	263	698	329
17:00	164	253	121	103	93	46	150	214	103	221	482	228

Fonte: Fonseca (2009).

Como apresentado por Fonseca (2009), as salas de aula do Bloco E da Universidade possuem potencial de aproveitamento da iluminação natural, porém ele ainda deve ser explorado.

3.2 ESTUDO QUANTITATIVO E QUALITATIVO

O estudo quantitativo observou a quantidade de luminárias, lâmpadas por luminária, disposição física das luminárias, modelos de lâmpadas utilizadas, modelo dos reatores e divisão dos circuitos de iluminação em cada sala.

Como mostrado pela Tabela 17, aproximadamente 66% das lâmpadas fluorescentes utilizadas no Bloco E são de 32 W, enquanto os outros 34% são de lâmpadas de 40 W.

Tabela 17- Análise quantitativa

Sala	Número de luminárias	Número de lâmpadas por luminária	Quantidade de lâmpadas de 32 W	Quantidade de lâmpadas de 40 W	Potência instalada (W)	Comprimento (m)	Largura (m)
E-101	8	4	23	9	1096	12,35	6,25
E-102	4	4	9	7	568	6,15	9,8
E-103	4	4	12	4	544	6,15	9,8
E-104	4	4	13	3	536	6,15	9,7
E-105	4	4	8	8	576	6,15	9,8
E-106	4	4	8	8	576	6,15	9,75
E-107	6	4	20	4	800	9,2	9,7
E-108	6	4	20	4	800	9,2	9,6
E-201	8	4	12	20	1184	12,35	6,25
E-202	4	4	16	0	512	6,15	9,8
E-203	4	4	16	0	512	6,15	9,8
E-204	4	4	16	0	512	6,15	9,7
E-205	4	4	16	0	512	6,15	9,8
E-206	4	4	8	8	576	6,15	9,75
E-207	6	4	12	12	864	9,2	9,7
E-208	6	4	24	0	768	9,2	9,6
E-301	8	4	17	15	1144	12,35	6,25
E-302	4	4	12	4	544	6,15	9,8
E-303	4	4	7	9	584	6,15	9,8
E-304	4	4	12	4	544	6,15	9,7
E-305	4	4	3	13	616	6,15	9,8
E-306	4	4	8	8	576	6,15	9,75
E-307	6	4	15	9	840	9,2	9,7
E-308	6	4	16	8	832	9,2	9,6
Total			323	157	16616		
Total %			67,29%	32,71%			

Fonte: Autores.

Durante o estudo quantitativo também foi verificado que não existe um padrão para a utilização das lâmpadas de 32 ou 40 W nas luminárias. Algumas luminárias possuem somente lâmpadas de 40 W, outras somente de 32 W, enquanto a grande maioria possui lâmpadas de ambas as potências, sendo todas para a tensão nominal de 127 V. Os reatores atualmente utilizados para as lâmpadas de 32 W são, eletrônicos. Já para as lâmpadas de 40 W, são utilizados reatores eletromagnéticos. A situação atual da iluminação de uma sala de aula, nesse caso E-201, está mostrada na Figura 53.

Também foi estudada a disposição física das salas, todas possuem paredes e tetos brancos com piso escuro. As dimensões das salas são mostradas na Tabela 17. Cada interruptor está conectado a um circuito: nas salas E101, E201 e E301 existem quatro interruptores; nas salas E102 a E106, E 202 a E206 e E302 a E306 existem dois interruptores; nas salas E107, E108, E207, E208, E307 e E308 são encontrados três interruptores. Abaixo são apresentadas plantas das salas com a posição das luminárias, janelas e quadro negro juntamente com os pontos utilizados para a medição de luminosidade, conforme a NBR 5382, e com a divisão de circuitos, representados pelas letras de “a” a “d”. Também são apresentados os pontos utilizados para medição da iluminância das salas, os quais serão explicados com mais detalhes no item 3.3 VERIFICAÇÃO DE ILUMINÂNCIA.

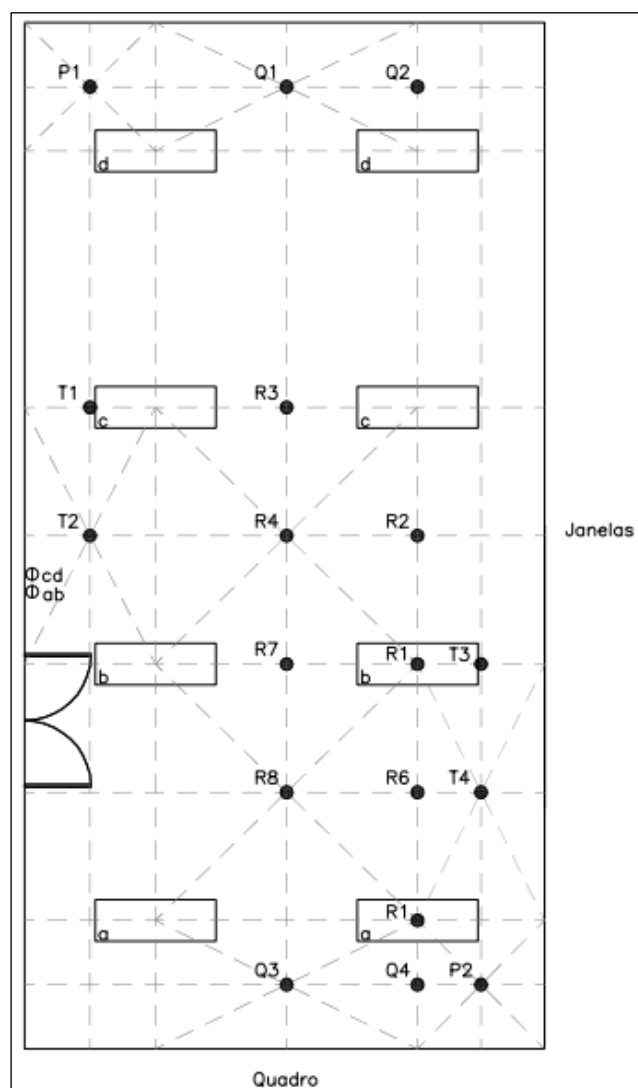


Figura 49 - Salas E101, E201 e E301.
Fonte: Autores.

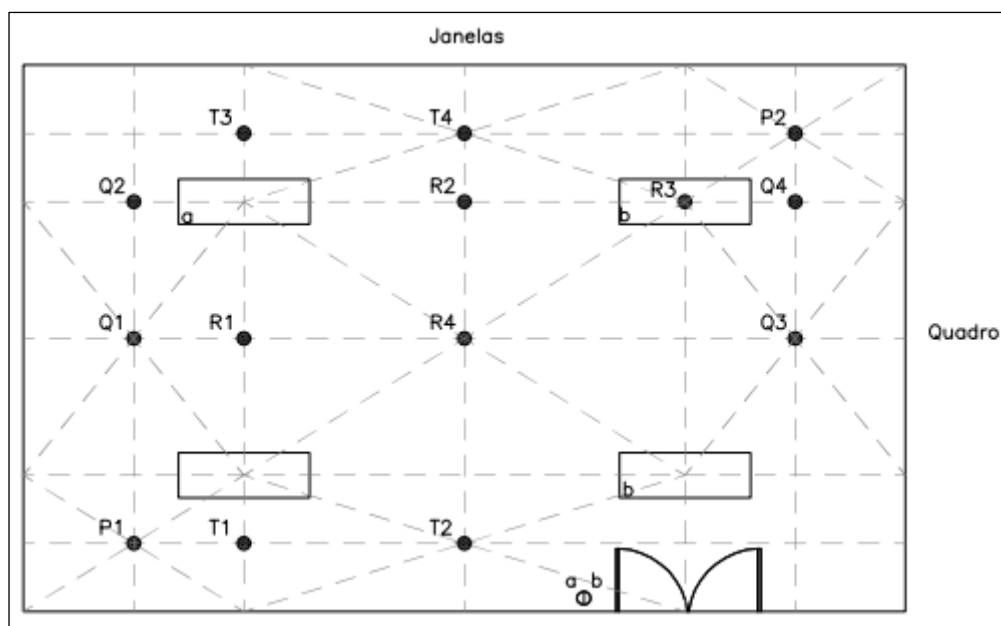


Figura 50 - Salas E102 a E106, E203 a E206 e E302 a E306.
Fonte: Autores.

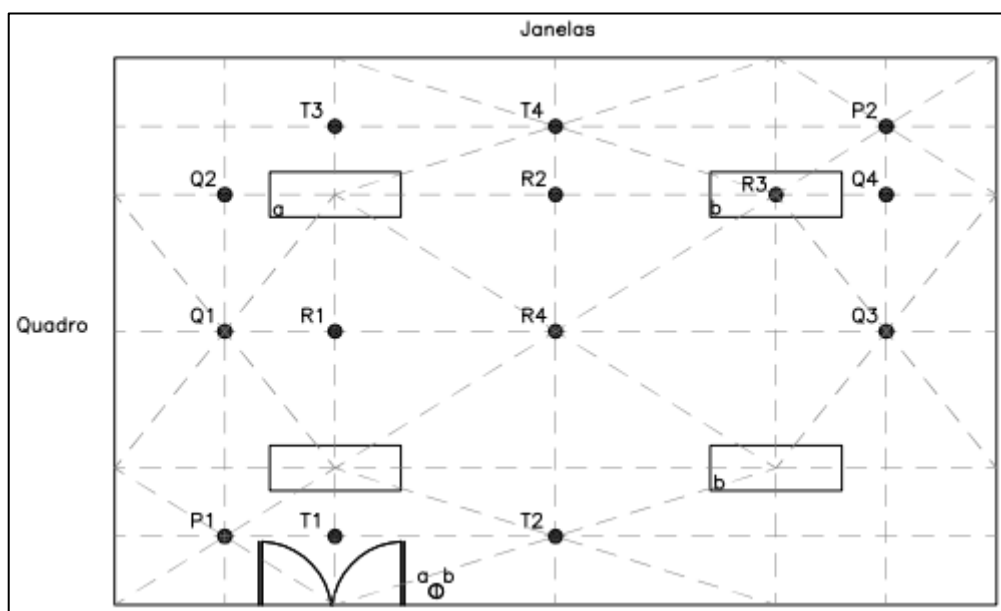


Figura 51 - Sala E202.
Fonte: Autores.

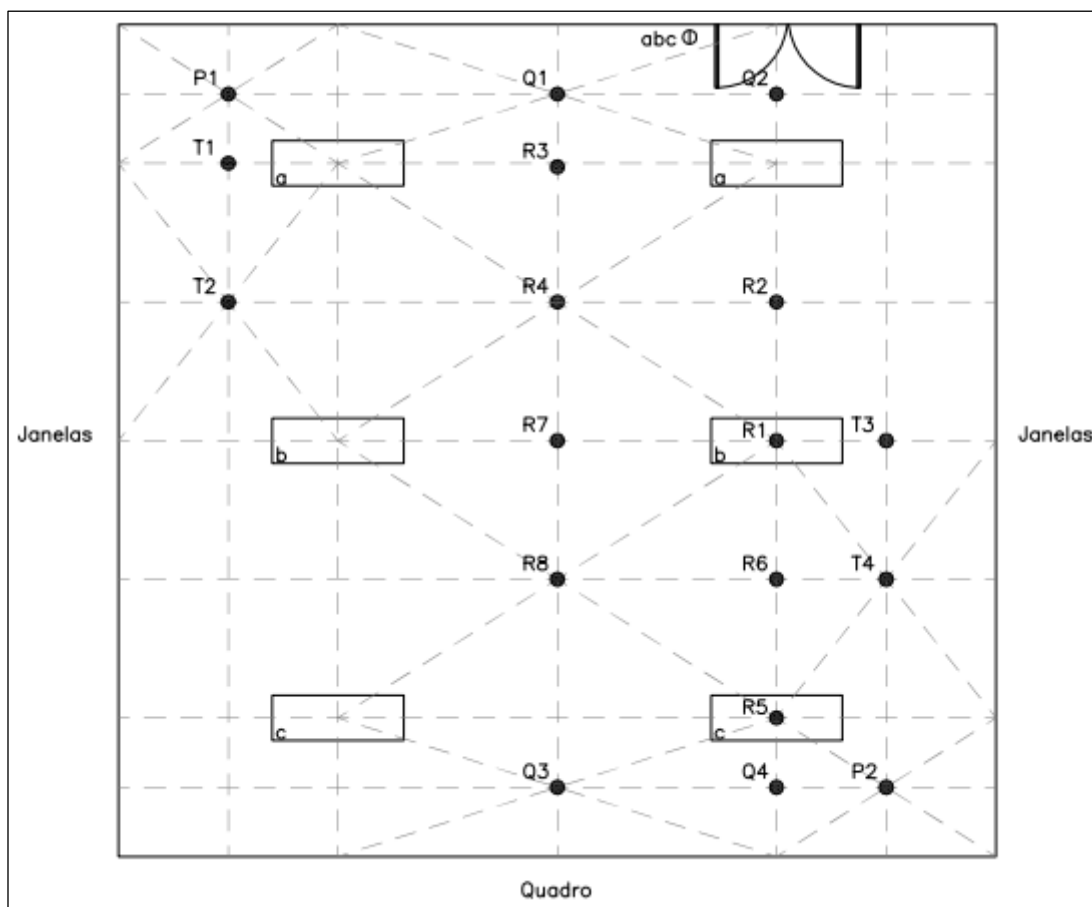


Figura 52 - Salas E107, E108, E207, E208, E307 e E308
Fonte: Autores.



Figura 53 - Situação atual da iluminação da sala E-201
Fonte: Autores.

3.3 VERIFICAÇÃO DE ILUMINÂNCIA

A verificação de iluminância das salas de aula se deu conforme a norma NBR 5382. Os pontos que se deve medir a iluminância são os pontos mostrados na Figura 49 a Figura 52. Conforme a norma os pontos utilizados são de R1 a R8, ou até R4 conforme o tamanho do ambiente, T1 a T4, Q1 a Q4 e os pontos P1 e P2. Depois de obtidos os valores para todos os pontos, são calculadas as médias simples de cada conjunto de letras, obtendo-se então os valores de R, T, Q e P.

A iluminância média do ambiente é então calculada utilizando-se a Equação 11, apresentada pela NBR 5382:

$$IM = \frac{R \cdot (N-1) \cdot (M-1) + Q \cdot (N-1) + T \cdot (M-1) + P}{N \cdot M} \quad (11)$$

na qual:

N = número de luminárias por fila; e

M = números de fila no ambiente.

Na Tabela 18, Tabela 19 e Tabela 20 são apresentados os dados obtidos para cada um dos pontos, assim como a iluminância média calculada para cada uma das salas.

Ao se analisar a Tabela 18, Tabela 19 e Tabela 20, percebe-se que a maioria das salas possui iluminação média próxima dos 200 lux. Conforme a NBR 5413, salas de aula devem possuir iluminância mínima de 200 lux, média de 300 lux, ou máxima de 500 lux.

Conforme sugerido pelo Eng. Ramires Herrmann Mokwa, a análise da iluminância das salas deve ser feita utilizando 300 lux como referência mínima, sendo assim todas as salas, exceto E101, E201 e E301, possuem nível de iluminância inferior à referência, sendo necessário readequar seus projetos luminotécnicos. Assim, as salas E101, E201 e E301 possuem iluminância média maior que o mínimo estabelecido, visto que estas têm sido utilizadas para aulas de cursos especiais, sofrendo recentemente mudanças em sua iluminação. Ademais,

percebe-se que as salas, as quais estão na mesma localização geográfica, ou seja, as salas E-107, E-207 e E-307, possuem uma iluminância média semelhante, assim como as salas E-108, E-208 e E-308.

A readequação do projeto não tem como único objetivo fazer com que a iluminação das salas atenda o requerido pela NBR 5413, pois, conforme citado por Cunha (2004), ambientes pouco iluminados causam a sensação de cansaço e tristeza, conseqüentemente, prejudicam diretamente o trabalho de alunos e professores nas salas de aula, sendo essencial a melhoria da instalação.

Tabela 18 - Iluminância média, em lux, das salas do primeiro pavimento

Pontos	E-101	E-102	E-103	E-104	E-105	E-106	E-107	E-108
R1	420	307	313	293	305	329	374	264
R2	383	177	168	160	142	145	360	285
R3	390	266	270	285	304	261	222	154
R4	382	176	195	160	185	150	245	174
R5	398	-	-	-	-	-	299	314
R6	386	-	-	-	-	-	282	245
R7	402	-	-	-	-	-	238	159
R8	393	-	-	-	-	-	218	172
T1	298	205	208	240	294	177	161	161
T2	253	138	131	132	152	128	210	160
T3	337	192	198	210	232	240	142	176
T4	336	134	145	122	146	120	118	181
Q1	341	179	218	216	227	191	198	163
Q2	343	154	173	174	191	203	296	248
Q3	357	167	151	180	182	233	192	150
Q4	376	143	140	161	147	182	226	276
P1	248	150	195	206	190	134	128	164
P2	284	116	104	142	122	154	104	176
R	394,25	231,5	236,5	224,5	234	221,25	279,75	220,875
T	306	167,25	170,5	176	206	166,25	157,75	169,5
Q	354,25	160,75	170,5	182,75	186,75	202,25	228	209,25
P	266	133	149,5	174	156	144	116	170
N	4	4	4	4	4	4	4	4
M	4	2	2	2	2	2	3	3
IM	362,1875	184,625	192,625	196,4688	203,0313	197,5938	232,8333	205,1667

Fonte: Autores.

Tabela 19 - Iluminância média, em lux, das salas do segundo pavimento

Pontos	E-201	E-202	E-203	E-204	E-205	E-206	E-207	E-208
R1	402	303	312	311	287	322	361	263
R2	344	137	193	141	159	149	377	292
R3	343	325	318	297	315	261	220	171
R4	323	200	203	159	174	134	260	182
R5	371	-	-	-	-	-	312	332
R6	350	-	-	-	-	-	262	262
R7	333	-	-	-	-	-	229	174
R8	334	-	-	-	-	-	233	166
T1	331	280	221	254	280	183	159	169
T2	289	172	170	123	156	115	228	151
T3	344	260	264	214	235	255	128	158
T4	327	148	161	113	138	110	132	179
Q1	279	215	195	234	216	188	181	158
Q2	312	170	182	173	197	219	288	245
Q3	270	206	185	168	162	229	187	167
Q4	311	182	166	172	135	176	236	265
P1	276	179	123	201	181	152	127	165
P2	271	134	127	123	103	158	110	196
R	350	241,25	256,5	227	233,75	216,5	281,75	230,25
T	322,75	215	204	176	202,25	165,75	161,75	164,25
Q	293	193,25	182	186,75	177,5	203	223	208,75
P	273,5	156,5	125	162	142	155	118,5	180,5
N	4	4	4	4	4	4	4	4
M	4	2	2	2	2	2	3	3
IM	329,4219	209,375	205,5625	197,4063	197,25	197,4063	233,4583	209,7292

Fonte: Autores.

Tabela 20 - Iluminância média, em lux, das salas do terceiro pavimento

Pontos	E-301	E-302	E-303	E-304	E-305	E-306	E-307	E-308
R1	402	285	316	317	282	320	345	278
R2	337	120	173	161	154	162	357	278
R3	356	308	338	310	332	242	202	175
R4	305	217	223	175	159	133	255	191
R5	379	-	-	-	-	-	305	345
R6	365	-	-	-	-	-	245	253
R7	344	-	-	-	-	-	248	167
R8	328	-	-	-	-	-	248	184
T1	327	297	203	243	266	187	149	169
T2	290	170	172	141	168	133	233	149
T3	339	275	252	208	228	252	131	155
T4	339	167	161	94	139	90	122	161
Q1	264	223	177	226	215	173	198	164
Q2	302	182	187	183	184	199	296	236
Q3	276	194	172	159	181	237	176	187
Q4	313	163	171	179	139	177	233	247
P1	267	165	140	197	179	163	110	162
P2	257	127	132	126	113	175	106	200
R	352	232,5	262,5	240,75	231,75	214,25	275,625	233,875
T	323,75	227,25	197	171,5	200,25	165,5	158,75	158,5
Q	288,75	190,5	176,75	186,75	179,75	196,5	225,75	208,5
P	262	146	136	161,5	146	169	108	181
N	4	4	4	4	4	4	4	4
M	4	2	2	2	2	2	3	3
IM	329,2188	205,2813	206,3438	201,9375	197,5938	195,8438	229,7083	210,5625

Fonte: Autores.

3.4 SIMULAÇÕES

As simulações foram realizadas utilizando o programa Lumisoft, devido a sua facilidade de utilização e por ser um software livre desenvolvido para a plataforma Windows. As lâmpadas para a realização das simulações foram a TL5-28W-HE/840, tubular fluorescente, e a Master LEDtube GA, tubular a LED, ambas da marca Philips. Foi escolhida a marca Philips para ambas as lâmpadas por se ter contato com um de seus representantes comerciais, que inicialmente forneceu os dados necessários para o trabalho, além do fato de não ter sido encontrados dados técnicos suficientes para a realização desse estudo de outros fabricantes.

Os dados técnicos das lâmpadas utilizadas nas simulações são apresentados na Tabela 21.

Tabela 21 - Características técnicas das lâmpadas escolhidas

Lâmpada	Tipo	Potência [W]	Tensão [V]	Fluxo luminoso [lm]	Eficiência luminosa [lm/W]	Temperatura de cor [K]	Índice de reprodução de cor [IRC]	Vida útil [h]	Fator de potência
TL5-28W-HE/840	Tubular fluorescente	28	100 - 240	2.600	104	4.000	85	24.000	Depende do reator
Master LEDtube GA	Tubular a LED	22	100 - 240	1.500	68	4.000	85	30.000	>0.9

Fonte: Adaptado de Philips (2009 e 2010).

Tabela 22 - Simulação para iluminação atual

Sala	Iluminância (lux)	TL5-28W-HE/840			Master LEDtube GA		
		Luminárias	Esquema	Lâmpadas	Luminárias	Esquema	Lâmpadas
E-101	362,19	10	2x5	20	15	3x5	30
E-102	184,63	4	2x2	8	8	2x4	16
E-103	192,63	4	2x2	8	8	2x4	16
E-104	196,47	4	2x2	8	8	2x4	16
E-105	203,03	4	2x2	8	8	2x4	16
E-106	197,59	4	2x2	8	8	2x4	16
E-107	232,83	6	2x3	12	12	4x3	24
E-108	205,17	6	2x3	12	12	4x3	24
E-201	329,42	10	2x5	20	15	3x5	30
E-202	209,38	4	2x2	8	8	2x4	16
E-203	205,56	4	2x2	8	8	2x4	16
E-204	197,41	4	2x2	8	8	2x4	16
E-205	197,25	4	2x2	8	8	2x4	16
E-206	197,41	4	2x2	8	8	2x4	16
E-207	233,46	6	2x3	12	12	4x3	24
E-208	209,73	6	2x3	12	12	4x3	24
E-301	329,22	10	2x5	20	15	3x5	30
E-302	205,28	4	2x2	8	8	2x4	16
E-303	206,34	4	2x2	8	8	2x4	16
E-304	201,94	4	2x2	8	8	2x4	16
E-305	197,59	4	2x2	8	8	2x4	16
E-306	195,84	4	2x2	8	8	2x4	16
E-307	229,71	6	2x3	12	12	4x3	24
E-308	210,56	6	2x3	12	12	4x3	24

Fonte: Autores.

Para a simulação a luminária utilizada foi a FCN02-S228 da Lumicenter Lighting, esta luminária possui seu corpo em chapa de aço fosfatizada e seu refletor

facetado, também em chapa de aço fosfatizada, sendo projetada para lâmpadas tubulares e tendo soquetes suficientes para a instalação de duas lâmpadas.

Tabela 23 - Simulação para iluminação ideal

Sala	Iluminância (lux)	TL5-28W-HE/840			Master LEDtube GA		
		Luminárias	Esquema	Lâmpadas	Luminárias	Esquema	Lâmpadas
E-101	300	8	2x4	16	14	2x7	28
E-102	300	6	2x3	12	14	2x7	28
E-103	300	6	2x3	12	10	2x5	20
E-104	300	6	2x3	12	10	2x5	20
E-105	300	6	2x3	12	10	2x5	20
E-106	300	6	2x3	12	10	2x5	20
E-107	300	9	3x3	18	15	5x3	30
E-108	300	9	3x3	18	15	5x3	30
E-201	300	8	2x4	16	14	2x7	28
E-202	300	6	2x3	12	14	2x7	28
E-203	300	6	2x3	12	10	2x5	20
E-204	300	6	2x3	12	10	2x5	20
E-205	300	6	2x3	12	10	2x5	20
E-206	300	6	2x3	12	10	2x5	20
E-207	300	9	3x3	18	15	5x3	30
E-208	300	9	3x3	18	15	5x3	30
E-301	300	8	2x4	16	14	2x7	28
E-302	300	6	2x3	12	14	2x7	28
E-303	300	6	2x3	12	10	2x5	20
E-304	300	6	2x3	12	10	2x5	20
E-305	300	6	2x3	12	10	2x5	20
E-306	300	6	2x3	12	10	2x5	20
E-307	300	9	3x3	18	15	5x3	30
E-308	300	9	3x3	18	15	5x3	30

Fonte: Autores.

Inicialmente foram realizadas simulações com as lâmpadas e luminárias descritas, de maneira que o projeto simulado tivesse a iluminância que é gerada pelas lâmpadas instaladas atualmente. A

Tabela 22 mostra os resultados obtidos.

Em seguida, foram simuladas as situações para que seja atendida a iluminância de referência para as salas de aula, 300 lux, conforme a NBR 5413. Os resultados são apresentados na Tabela 23.

Ao ser comparada a

Tabela 22 e a Tabela 23 com a Tabela 17, pode-se calcular a percentagem a menos de lâmpadas que seriam necessárias para iluminar a sala com a iluminação

atual e com a iluminação ideal, estas percentagens são apresentadas na Tabela 24 e Tabela 25, respectivamente.

Ao ser analisada a Tabela 24, verifica-se que, para a lâmpada tubular fluorescente TL5, há a diminuição do número de lâmpadas necessárias, em sua maioria de 50%, para que a iluminância nas salas seja mantida no mesmo nível da atual. Já para LED tubular isto não ocorre, sendo basicamente necessário que se mantenha o mesmo número de lâmpadas nas salas de aula para que a iluminância nas mesmas seja mantida igual a atual.

Tabela 24 - Cálculo da diminuição para a iluminação atual

Sala	Número de lâmpadas atualmente	Número de lâmpadas TL5-28W-HE/840	Variação (%)	Número de lâmpadas Master LEDtube GA	Variação (%)
E-101	32	20	-37,50%	30	-6,25%
E-102	16	8	-50,00%	16	0,00%
E-103	16	8	-50,00%	16	0,00%
E-104	16	8	-50,00%	16	0,00%
E-105	16	8	-50,00%	16	0,00%
E-106	16	8	-50,00%	16	0,00%
E-107	24	12	-50,00%	24	0,00%
E-108	24	12	-50,00%	24	0,00%
E-201	32	20	-37,50%	30	-6,25%
E-202	16	8	-50,00%	16	0,00%
E-203	16	8	-50,00%	16	0,00%
E-204	16	8	-50,00%	16	0,00%
E-205	16	8	-50,00%	16	0,00%
E-206	16	8	-50,00%	16	0,00%
E-207	24	12	-50,00%	24	0,00%
E-208	24	12	-50,00%	24	0,00%
E-301	32	20	-37,50%	30	-6,25%
E-302	16	8	-50,00%	16	0,00%
E-303	16	8	-50,00%	16	0,00%
E-304	16	8	-50,00%	16	0,00%
E-305	16	8	-50,00%	16	0,00%
E-306	16	8	-50,00%	16	0,00%
E-307	24	12	-50,00%	24	0,00%
E-308	24	12	-50,00%	24	0,00%

Fonte: Autores.

A diminuição no número de lâmpadas para se chegar à iluminação ideal é mostrada na Tabela 25, sendo de fácil observação que para a lâmpada fluorescente TL5 a diminuição atinge em sua maioria 25%, contudo para o LED tubular isto não ocorre, em sua maioria é necessário um aumento no número de lâmpadas nas salas de aula, sendo que o aumento é, na sua maioria, de 25%.

Portanto, percebe-se que, do ponto de vista quantitativo, é mais vantajoso utilizar a lâmpada fluorescente TL5 para iluminar as salas, visto que com um menor número de lâmpadas é possível melhorar a iluminância média do ambiente conforme requerido pela NBR 5413, enquanto que para a lâmpada a LED seria necessário aumentar o número de lâmpadas em cada sala, para que seja atingido o número mínimo de luminárias na sala.

Tabela 25 - Cálculo da diminuição com a iluminação ideal

Sala	Número de lâmpadas atualmente	Número de lâmpadas TL5-28W-HE/840	Variação (%)	Número de lâmpadas Master LEDtube GA	Variação (%)
E-101	32	16	-50,00%	28	-12,50%
E-102	16	12	-25,00%	28	75,00%
E-103	16	12	-25,00%	20	25,00%
E-104	16	12	-25,00%	20	25,00%
E-105	16	12	-25,00%	20	25,00%
E-106	16	12	-25,00%	20	25,00%
E-107	24	18	-25,00%	30	25,00%
E-108	24	18	-25,00%	30	25,00%
E-201	32	16	-50,00%	28	-12,50%
E-202	16	12	-25,00%	28	75,00%
E-203	16	12	-25,00%	20	25,00%
E-204	16	12	-25,00%	20	25,00%
E-205	16	12	-25,00%	20	25,00%
E-206	16	12	-25,00%	20	25,00%
E-207	24	18	-25,00%	30	25,00%
E-208	24	18	-25,00%	30	25,00%
E-301	32	16	-50,00%	28	-12,50%
E-302	16	12	-25,00%	28	75,00%
E-303	16	12	-25,00%	20	25,00%
E-304	16	12	-25,00%	20	25,00%
E-305	16	12	-25,00%	20	25,00%
E-306	16	12	-25,00%	20	25,00%
E-307	24	18	-25,00%	30	25,00%
E-308	24	18	-25,00%	30	25,00%

Fonte: Autores.

Considerando a potência instalada, que influencia diretamente no consumo, percebe-se pela Tabela 26 que também é mais vantajosa a utilização das lâmpadas fluorescentes TL5, visto que há uma diminuição na potência instalada com a sua utilização, enquanto que com a lâmpada a LED não é significativa.

Tabela 26 – Comparação da potência total instalada do sistema de iluminação das salas de aula do bloco E

Sala	Potência instalada [W]	Prevista com TL5-28W-HE/840 [W]	Diferença [%]	Prevista com Master LEDtube GA [W]	Diferença [%]
E-101	1096	448	-59,12	784	-28,47
E-102	568	336	-40,85	784	+38,03
E-103	544	336	-38,24	560	+2,94
E-104	536	336	-37,31	560	+4,48
E-105	576	336	-41,67	560	-2,78
E-106	576	336	-41,67	560	-2,78
E-107	800	504	-37,00	840	+5,00
E-108	800	504	-37,00	840	+5,00
E-201	1184	448	-62,16	784	-33,78
E-202	512	336	-34,38	784	+53,13
E-203	512	336	-34,38	560	+9,38
E-204	512	336	-34,38	560	+9,38
E-205	512	336	-34,38	560	+9,38
E-206	576	336	-41,67	560	-2,78
E-207	864	504	-41,67	840	-2,78
E-208	768	504	-34,38	840	+9,38
E-301	1144	448	-60,84	784	-31,47
E-302	544	336	-38,24	784	+44,12
E-303	584	336	-42,47	560	-4,11
E-304	544	336	-38,24	560	+2,94
E-305	616	336	-45,45	560	-9,09
E-306	576	336	-41,67	560	-2,78
E-307	840	504	-40,00	840	+0,00
E-308	832	504	-39,42	840	+0,96
Total	16616	9408	-43,38	16464	-0,91

Fonte: Autores.

3.5 EFICIÊNCIA LUMINOSA

Devido ao fato de haver em muitas salas não só lâmpadas de 32 W como também de 40 W, ademais, em uma mesma luminária lâmpadas com diferentes potências, o cálculo da eficiência luminosa do sistema de iluminação atual foi feito com base nas salas E202, E203, E204, E205 e E208, as quais possuem somente luminárias com lâmpadas de 32 W.

Assim, para o cálculo do fluxo luminoso total do ambiente (Φ) foi utilizada a Equação 12. O parâmetro fator de utilização (F_u), o qual representa a razão entre o fluxo utilizado e o fluxo luminoso emitido pelas lâmpadas, foi aproximado para 0,85. Já o fator de depreciação (F_d) foi considerado 0,80, uma vez que não há informações sobre a limpeza periódica das lâmpadas.

$$\Phi = N \times \varphi = \frac{E \times S}{F_u \times F_d} \quad (12)$$

em que:

Φ é o fluxo luminoso total do ambiente, em lm;

N é o número total de lâmpadas do ambiente;

φ é o fluxo luminoso de uma lâmpada, em lm;

E é a iluminância média medida, em lux;

S é a área total do ambiente, em m²;

F_u é o fator de utilização;

F_d é o fator de depreciação e refletâncias de teto e das paredes.

Por fim, a eficiência luminosa (η) foi obtida então pela Equação 13, em que foi considerada a potência do reator para os cálculos, visto que em a potência do reator seria a soma da potência das lâmpadas mais as perdas no reator, as quais foram desconsideradas nos cálculos por serem pequenas na prática (na ordem de 1 W, aproximadamente).

$$\eta = \frac{\Phi}{P_T} = \frac{N \times \varphi}{P_T} = \frac{N \times \varphi}{\sum P_R} \quad (13)$$

em que:

η é a eficiência luminosa, em lm/W;

Φ é o fluxo luminoso total do ambiente, em lm;

P_T é a potência total de todos os reatores utilizados no grupo, em W;

N é o número total de lâmpadas do ambiente;

φ é o fluxo luminoso de uma lâmpada, em lm;

P_R é a potência de um reator, em W.

Baseado nas equações 12 e 13 e nos dados das Tabela 17 e Tabela 19, a eficiência luminosa média do sistema atual, pode ser observada na Tabela 27.

Tabela 27 - Eficiência luminosa do sistema atual

	E202	E203	E204	E205	E208
Iluminância média[lux]	209,38	205,56	197,41	197,25	209,73
Área do ambiente [m²]	60,27	60,27	59,66	60,27	88,32
Fator de utilização	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
Fator de depreciação	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Número total de lâmpadas	16,00	16,00	16,00	16,00	24,00
Fluxo luminoso [lm]	18557,40	18219,49	17319,50	17482,73	27240,12
Potência do reator [W]	32,00	32,00	32,00	32,00	32,00
Eficiência luminosa média [lm/W]	36,24	35,58	33,83	34,15	35,47

Fonte: Autores.

Comparando a Tabela 27 com os dados teóricos mostrados na Figura 18 - Catálogo de lâmpadas fluorescentes tubulares) e na Tabela 4 - Rendimento das fontes luminosas), verifica-se que a eficiência luminosa já está cerca de 53% abaixo do valor teórico. Assim, a Tabela 28 mostra, além da eficiência das lâmpadas TL5 e LED, a melhora que a substituição causaria.

Tabela 28 - Eficiência luminosa das lâmpadas atuais, TL5-28W-HE/840 e MASTER LEDtube GA 1200 mm 22W 840 G13

Tipo de lâmpada	Potência da lâmpada [W]	Fluxo luminoso médio [lm]	Eficiência luminosa média [lm/W]	Melhoria da eficiência luminosa em relação ao sistema atual
Sistema atual	32	1121,74	35,05	N/A
TL5-28W-HE/840	28	2912	104	3
MASTER LEDtube GA 1200 mm 22W 840 G13	22	1500	68,18	2

Fonte: Adaptado de Philips (2009).

A Tabela 28 permite, portanto, verificar que a troca das lâmpadas do sistema atual por lâmpadas fluorescentes TL5 impactaria no aumento de, aproximadamente, 3 vezes da eficiência luminosa, já as LED tubulares causaria um aumento de cerca de 2 vezes em relação ao sistema atual. Por conseguinte, no que diz respeito a esse indicador de eficiência energética, as lâmpadas fluorescentes TL5 representam a melhor opção para a substituição.

3.6 FATOR DE POTÊNCIA

O cálculo do fator de potência de uma instalação é feito com base na leitura dos medidores de energia ativa e reativa. Logo, para a medição do sistema de iluminação do bloco E, tanto do sistema atual quanto do proposto, deveria ser medido, isoladamente, a parte de iluminação do bloco E com medidores adequados, o que inviabilizou a prática, visto que seriam necessários equipamentos para conexão diretamente ao quadro geral de energia do bloco.

Entretanto, como foi citado no item 2.5 – Reatores, o que pode causar um baixo fator de potência em um sistema de iluminação, que utiliza lâmpadas de descarga, são os reatores. Já para o caso de iluminação a LED, o que pode acarretar um baixo FP são os *drivers*. Logo, foi comparado, teoricamente, o FP dos reatores atuais, os quais já são eletrônicos ademais, mais modernos, e o *driver*.

Assim, pesquisado o reator que é atualmente utilizado constatou-se, como foi supracitado, que para as lâmpadas de 32 W é utilizado reator eletrônico, o qual é mostrado na Figura 54. Já para as lâmpadas de 40 W, é utilizado reator eletromagnético, conforme a Figura 55.

A Figura 54 também apresenta fator de potência (FP) do reator eletrônico, que é 0,99 e a Figura 55 o FP do reator eletromagnético, que 0,95.

Como o LED tubular escolhido para análise foi da Philips, o *driver* escolhido também foi desse fabricante, o qual é mostrado na Figura 56. Os dados técnicos, como o fator de potência, desse *driver* podem ser vistos na Figura 57. Verifica-se que não há um valor exato especificado pelo fabricante para o FP, de forma que este foi expresso como sendo maior que 0,90.

Devido a esse fato, ou seja, a incerteza de que o FP ficará acima do mínimo de 0,92, a melhor escolha para o sistema de iluminação da universidade seria o reator eletrônico, não só pelo alto FP, como também pelas outras vantagens descritas no item 2.5 – Reatores.



Figura 54 - Reator atualmente utilizado nas lâmpadas de 32 W
Fonte: Autores.



Figura 55 - Reator atualmente utilizado nas lâmpadas de 40 W
Fonte: Autores.

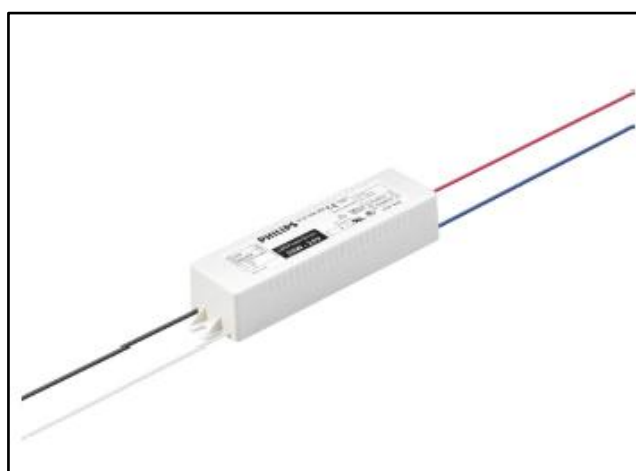


Figura 56 – Driver para LED tubular para potência de entrada de até 25 W
Fonte: Philips (2012).

<ul style="list-style-type: none"> • Características Gerais 		Diâmetro do fio de entrada	0.82 mm2
Frequência de entrada	50/60 Hz	Comprimento do fio de saída	300 mm
Classificação IP	IP66	Diâmetro do fio de saída	0.82 mm2
Vida útil 90% reman.	50000 hr	<ul style="list-style-type: none"> • Características de Temperatura 	
T-carçaça		T-carçaça máxima	70 (max) C
Cor da carçaça	Branco	T-ambiente	-30 (min), 60 (max) C
<ul style="list-style-type: none"> • Características de Operação 		T-armazenamento	-40 (min), 85 (max) C
Faixa de eficiência	80 %	<ul style="list-style-type: none"> • Dimensões do Produto 	
Fator potência (100% de carga)	0.9 (min) -	Comprimento A1	150 mm
Potência de entrada máxima	25 W	Largura B1	37 mm
Faixa de tensão de saída	24.3 V	Altura C1	25 mm
Faixa de potência de saída(mA)	850	Diâmetro do furo de fixação D1	4.4 mm
Distorção harmônica total IEC	20 (max) %	Furo de fixação (distância A2)	140 mm
Pico de corrente Inrush	46.3 (max) A	<ul style="list-style-type: none"> • Aprovações e Aplicações 	
Largura corrente Inrush a 50%	172.4 us	Classificação de isolamento	Class II
Tipo de dimerização	None	Certificado ENEC	Não
Faixa de tensão de entrada(CA)	100-240 V	Marcação CE	Sim
Tolerância de tensão de saída	-5 (min), 5 (max) %	<ul style="list-style-type: none"> • Dados do Produto 	
<ul style="list-style-type: none"> • Características para Conexão 		Código do produto	913700620891
Conexão em driver para L2	Wire	Código Local	DRIVER20WOU1/2V
Comprimento do fio de entrada	300 mm	Nome do Produto	LED Power Driver Outd. 100-240V 20W 24V

Figura 57 - Características do driver LED Power Driver Outd.
Fonte: Philips (2012).

3.7 TAXA DE DISTORÇÃO HARMÔNICA

A distorção harmônica, assim como o fator de potência, é devida à presença do reator (no caso da presença de lâmpadas de descarga) ou do *driver* (presença de lâmpadas a LED) em um sistema de iluminação, conforme explicado no item 2.6 – Taxa de Distorção Harmônica.

Para que seja analisado se a TDH – taxa de distorção harmônica – está acima do limite de 15% estabelecido pela norma brasileira ABNT NBR 5410, existe o estudo da forma de onda da tensão, que pode ser feita por um osciloscópio, por analisadores de espectros analógicos ou ainda por analisadores numéricos. Independentemente do método utilizado, para o presente trabalho, deveria ser isolado o sistema de iluminação do bloco E, para que não houvesse influência de qualquer outro equipamento na análise. Portanto, a análise prática da taxa de distorção harmônica do sistema atual e do sistema proposto não foi realizada.

Como foi supracitado, para as lâmpadas de 32 W é utilizado o reator eletrônico, que possui TDH menor que 10 %. Já para as lâmpadas de 40 W, é ainda usado o reator eletromagnético, o qual não foi encontrado a TDH nem na Figura 55 nem em catálogos de fabricante. Por fim, as LED tubulares usam o *driver*, o qual é representado na Figura 56, e que, segundo os dados fornecidos pelo fabricante, possui TDH de no máximo 20%, conforme mostra a Figura 57.

De acordo com norma, como foi descrito no item 2.6 – Taxa de distorção harmônica, o limite aceitado de TDH é de 15%. Como esse dado para o reator eletromagnético não foi encontrado e para o *driver* é uma faixa de valores que se encontram abaixo de 20%, ou seja, não é certo que será abaixo do limite estabelecido, somente o reator eletrônico garante que os harmônicos não prejudicarão o sistema.

3.8 OBSERVAÇÕES DO ESTUDO TÉCNICO

A partir de todos os dados obtidos no decorrer do Capítulo 3 – Análise Técnica verificou-se que:

- existe a possibilidade de uma melhor utilização da iluminação natural;
- o sistema de iluminação atual não segue um padrão, ou seja, é composto de lâmpadas tanto de 32 W quanto de 40 W, reatores eletrônicos e reatores eletromagnéticos;
- com exceção das salas E101, E201 e E301, a iluminância atual média das salas está abaixo do mínimo estabelecido pela NBR 5413 – Iluminância de Interiores;
- em relação à potência instalada, número de lâmpadas e luminárias⁴, FP, TDH e eficiência luminosa, a melhor opção para melhorar o sistema de iluminação artificial das salas seriam as lâmpadas fluorescentes TL5.

4 ESTUDO DE CUSTO

Devido às razões citadas no decorrer do Capítulo 3 – Estudo técnico, a opção com a melhor avaliação técnica no sistema de iluminação atual seriam as lâmpadas fluorescentes TL5. Por conseguinte, foi cotado o preço dessas lâmpadas e, para efeitos de comparação, foi também procurado o preço do LED tubular.

Como para as simulações foram utilizadas as lâmpadas tubulares fluorescentes TL5 e os LEDs tubulares da Philips, os custos, os quais são mostrados na Figura 58 e Figura 59, se referem somente às lâmpadas desse fabricante.



Figura 58 - Custo da lâmpada fluorescente TL5
Fonte: Balaroti Materiais de Construção (2013).



Figura 59 - Custo do LED tubular
Fonte: Giamar (2013).



Figura 60 - Luminária de sobrepor
Fonte: Target Iluminação, 2013.

Também foi pesquisado o preço da luminária escolhida para as simulações no item 3.4 - Simulações, a luminária escolhida foi uma com as mesmas características construtivas da luminária FCN02-S228 da Lumicenter Lighting, que foi a luminária utilizada nas simulações, sendo uma luminária de sobrepor, a qual é mostrada na Figura 60, da marca ABALUX, o seu custo é de R\$57,90, sendo retirado do site da empresa Target Iluminação (TARGET, 2013).

Para a análise econômica, a vida útil das lâmpadas também pode ser considerada, uma vez que, a longo prazo, os LEDs tubulares podem apresentar um melhor custo-benefício. Dessa forma, sabe-se que as lâmpadas fluorescentes terão que ser substituídas, teoricamente, após 24.000 horas de uso, correspondendo ao período de tempo de uso e as LEDs tubulares após 30.000 horas.

A Tabela 29, portanto, compara o custo total das lâmpadas para um período de 120.000 horas, o qual corresponde à instalação das luminárias e das lâmpadas dos dois tipos e 4 trocas para as fluorescentes TL5 e 3 trocas para os LEDs tubulares. Para a análise do custo também foi considerado a mão de obra necessária para a instalação das novas lâmpadas e luminárias, sendo que seu valor mediano unitário de mercado é de R\$ 8,81 por luminária, e o custo mediano unitário de substituição das lâmpadas, é de R\$ 3,79 por lâmpada (SISTEMA..., 2013). Não foram considerados os custos de fiação, instalação de novos interruptores e adequação dos circuitos, pois, para as duas lâmpadas analisadas, o seu custo seria muito semelhante além deste representar um valor muito pequeno se comparado ao custo de compra e instalação das lâmpadas propriamente ditas.

Por conseguinte, apesar de haver uma troca a mais para as fluorescentes TL5 em relação às LED tubulares, o custo total deste última é cerca de 18 vezes maior.

Finalmente, pode-se também estimar a economia na compra de energia elétrica da concessionária de energia. Como concluído no item 3.4 – Simulações, pela Tabela 26, as lâmpadas fluorescentes TL5 indicam significativa economia de energia em relação à instalação atual e a instalação com LEDs tubulares.

Logo, do ponto de vista econômico, as lâmpadas fluorescentes TL5 se mostram mais vantajosas, visto o seu reduzido custo se comparado as LEDs tubulares.

Tabela 29 – Estudo de custo

	TL5-28W-HE/840			MASTER LEDtube GA 1200 mm 22W 840 G13		
	Quantidade	Custo unitário	Custo parcial	Quantidade	Custo unitário	Custo parcial
Luminárias	168	57,90	9.727,20	294	57,90	17.022,60
Lâmpadas iniciais	336	10,52	3.534,72	588	249,90	146.941,20
Mão-de-obra inicial	168	8,21	1.379,28	294	8,21	2.413,74
Lâmpadas para trocas	1344	10,52	14.138,88	1764	249,90	440.823,60
Mão-de-obra para trocas	1344	3,79	5.093,76	1764	3,79	6.685,56
Custo total	-	-	33.873,84	-	-	613.886,70

Fonte: Autores.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo trouxe inicialmente informações a respeito de iluminação e seus aspectos de medição, explicando diferentes conceitos que foram utilizados no trabalho. Com uma breve introdução em arquitetura bioclimática, foi visto como a arquitetura tem influência direta na eficiência energética da edificação e como o processo de industrialização rompeu o conceito de eficiência energética da antiguidade com a arquitetura e construções das eras moderna e contemporânea. Porém, com a crescente preocupação com o consumo de energia esse conceito foi restaurado e tem sido considerado nas construções atuais.

Como o foco do trabalho é a iluminação do Bloco E da UTFPR câmpus Curitiba, foi feito então um estudo mais aprofundado da influência da iluminação natural na eficiência energética do edifício, pesquisando-se quais são os valores mensuráveis e como eles estão relacionados, o estudo foi baseado no trabalho de Fonseca (2009).

Conforme citado no capítulo 3.1 – Iluminação Natural, o estudo, tanto da iluminação natural quanto da artificial, foi feita somente nos andares em que há as salas de aula, uma vez que a demanda por iluminação é maior durante todo o dia do que nos outros pavimentos do bloco E, em que se concentram principalmente atividades administrativas que ocorrem durante o horário comercial.

Portanto, como não houve mudanças arquitetônicas significativas, foram considerados os dados levantados por Fonseca (2009) para o estudo do melhor aproveitamento da iluminação natural, em que se constatou que existe um grande potencial a ser explorado. Porém, deve-se levar em consideração problemas que ocorrem na prática, tal como reflexo no quadro, que fazem com sejam solicitadas cortinas nas salas, assim como foi explicado pelo engenheiro responsável por obras na UTFPR (Eng. Ramires Mowka).

A seguir, iniciando o estudo da iluminação artificial, foi realizado levantamento dos aspectos construtivos das salas, como comprimento, largura, além da disposição das janelas e do quadro. Ademais, foram consideradas as lâmpadas atualmente utilizadas, a posição destas nas salas de aula e como estão sendo acionadas, por exemplo, a sala possui um interruptor de duas teclas, no qual uma aciona as luminárias da frente da sala e a outra as lâmpadas de trás.

Percebeu-se que há salas em que uma tecla aciona luminárias à esquerda da onde o quadro está localizado e a outra, as luminárias à direita, o que dificulta a iluminação durante apresentações com o projetor, de forma que é proposto uma reforma para a melhor disposição dos circuitos, apesar de ser o recomendado para uma melhor eficiência energética. No circuito devem ser previstas, portanto, luminárias para iluminação direta dos quadros negros, sendo posicionadas paralelamente ao quadro e mantidas as luminárias paralelas às janelas.

Após, foi feita a medição da iluminância das salas e notou-se que a maioria das salas está com esse fator abaixo do mínimo estabelecido. Esse problema é bastante notável perto dos quadros, como, por exemplo, a iluminância média de 104 lux na sala E107, o que confirma a necessidade da substituição e melhoria no sistema de iluminação atual.

Assim, com base nesses dados, foram feitas simulações para se obter a iluminância e quantidade de lâmpadas, caso seja substituído o sistema de iluminação atual por fluorescentes tubulares TL5 ou LEDs tubulares.

Nesta etapa, observou-se que, do ponto de vista material (menor quantidade de lâmpadas que teriam de ter que ser adquiridas), adicionado aos resultados obtidos da eficiência luminosa, a partir dos dados levantados anteriormente, além da análise teórica do fator de potência e taxa de distorção harmônica, as lâmpadas fluorescentes TL5 seriam a melhor opção para um sistema com iluminância de 300 lux.

Nesse ponto, fica sugerido uma análise prática aprofundada sobre o FP e a TDH tanto para as lâmpadas fluorescentes TL5 quanto para os LEDs tubulares.

Finalmente, o estudo de custo seria feito somente com as lâmpadas fluorescentes TL5, já que essas são as mais viáveis tecnicamente, porém, para maiores informações, foi também estudada a possibilidade dos LEDs tubulares.

Por conseguinte, se considerado tanto o custo das lâmpadas separadamente quanto o custo de materiais para a reforma, mais mão-de-obra, as fluorescentes TL5 se mostram mais vantajosas.

Com relação ao descarte das lâmpadas, visto que a lâmpada mais vantajosa é a fluorescente TL5, não ocorre à diminuição de descarte de lixo tóxico, pois tanto o sistema atual quanto o sistema proposto são baseados em lâmpadas fluorescente tubulares, que possuem mercúrio em sua composição. Lâmpadas deste tipo

possuem problemas de descarte como estudado no item 2.3.7 DESCARTE DAS LÂMPADAS.

Conclui-se, portanto, que os LEDs tubulares apresentam inicialmente características bastante atraentes, como maior vida útil, porém ainda não compensam serem utilizados ao invés das lâmpadas fluorescentes T5, as quais são as mais recentes nessa categoria no mercado. Além disso, durante o decorrer desse trabalho, foi vista a dificuldade em encontrar dados sobre os LEDs tubulares, como fator de potência, taxa de distorção harmônica, preço, adicionado ao fato de que em Curitiba não foi encontrada em nenhuma loja esse tipo de lâmpada disponível.

REFERÊNCIAS

ALIBABA. **60W Low Pressure Sodium Lamp with ballast**. Disponível em <http://www.alibaba.com/productgs/502868014/60W_Low_Pressure_Sodium_Lamp_with.html>. Acesso em: 23 de mai. 2012.

ANDREOLI, André Luiz. **Modelagem de Lâmpadas de Descarga: uma Análise de Desempenho Considerando Parâmetros de Qualidade de Energia**. 2011. 300 f. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 15215-2**: Iluminação natural - Parte 2 - Procedimentos de cálculo para a estimativa da disponibilidade de luz natural. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15215-3**: Iluminação natural - Parte 3: Procedimento de cálculo para a determinação da iluminação natural em ambientes internos. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 15215-4**: Iluminação natural - Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações - Método de medição. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 5382**: Verificação de iluminância de interiores. Rio de Janeiro, 1985.

_____. **NBR 5410**: Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 5413**: Iluminância de interiores. Rio de Janeiro, 1992.

_____. **NBR 5461**: Iluminação. Rio de Janeiro, 1991.

AUTODESK. **Lightscape user guide**. abr 1999. Disponível em: <<http://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=lightscape%203.2&source=web&cd=47&ved=0CG8QFjAGOCg&url=http%3A%2F%2Fweb.mit.edu%2F4.455%2Fsoftware%2Flightscape%2FDocs%2FLightscape%2520User%2520Guide.pdf&ei=YjvmT9qgIO306AHwncngDg&usq=AFQjCNHsWtGgWV8nvmMrdBPevYiOjTdkGw&cad=rja>> Acesso em: 22 jun. 2012.

BALAROTI MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO. **Lâmpada fluorescente 28W S84 T5 – PHILIPS – PÇ**. 2013. Disponível em <<http://www.balaroti.com.br/Produto/52130/lampada-fluorescente-28w-s84-t5-philips-pc>>. Acesso em: 10 fev. 2013.

BATSCHAUER, Alessandro L. **Projeto de reatores eletrônicos para lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão de 250 W e 400 W**. 2002. 132 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

BERTOLOTI, Dimas. **Iluminação natural em projetos de escolas: uma proposta de metodologia para melhorar a qualidade da iluminação e conservar energia**. 2007. 144 f. Tese (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

BOYLESTAD, Robert; NASHELSKY, Louis. **Electronic devices and circuit theory**. 7. ed. Columbus: Prentice Hall, 2007.

BRASIL. Consolidação das Leis do Trabalho – Decreto-lei 5452/43, de 1 de maio de 1943. **Consolidação das Leis do Trabalho**. Poder Executivo, Brasília, DF, 10 nov. 1943. Seção 6.

CAYE, Alysson. **Eficientização de projetos luminotécnicos em ambientes de escola pública**. 2010. 118 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

CHADWELL, R. **The RADIANCE Lighting Simulation and Rendering System**. 14 ago. 1997. Disponível em: <<http://radsite.lbl.gov/radiance/framew.html>> Acesso em: 15 abr. 2012.

CORREA, Celina B. **Arquitetura bioclimática: adequação do projeto de arquitetura ao meio ambiente natural**. abr. 2002. Disponível em: <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/drops/02.004/1590>> Acesso em: 23 jun. 2012.

COSTA, Andrea de S. **Eficiência energética em iluminação de ambientes em uma instituição pública de ensino**. 154p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia), Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR. Curitiba, 2007.

COSTA, Daniel O. **Estudo e determinação das características de lâmpadas de diferentes tipos**. 2010. 79 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Minho, Braga, 2010.

CROMATEK. **Tubular T-8 LED SMD – 1.200 mm**: catálogo. Guarulhos, [2011?]. Disponível em: <<http://www.cromatek.com.br/pdf/opto/ctkt8-w20-120-04.pdf>>. Acesso em: 23 jun. 2012.

CUNHA, Luiz C. R. **A cor no ambiente hospitalar**. In: ANAIS DO I CONGRESSO NACIONAL DA ABDEH / IV SEMINÁRIO DE ENGENHARIA CLÍNICA, 2004. Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <http://bvsm.s.saude.gov.br/bvs/publicacoes/cor_ambiente_hospitalar.pdf>. Acesso em: 12 mai. 2012.

DATECH. **Lightscape 3.2**, 2010. Disponível em: <<http://www.micrograf.pt/mm/lightscape/>> Acesso em: 15 abr. 2012.

DIAL. **DIALux - the software for individual product presentation**. 2012. Disponível em: <<http://www.dial.de/DIAL/en/dialux/partnership/software-partners.html>> Acesso em: 15 abr. 2012.

_____. **User Manual**. 2011. Disponível em: <<http://www.dial.de/DIAL/en/dialux-international-download/portugues.html>> Acesso em: 22 jun. 2012.

DURÃO JÚNIOR, Walter A.; WINDMÖLLER, Cláudia Carvalhinho. A Questão de Mercúrio em Lâmpadas Fluorescentes. **Química Nova na Escola**. n. 28, p. 15-19, Maio, 2008.

FERREIRA, Maria J. G. **Inserção da energia solar fotovoltaica no Brasil**. 1993. 168 fl. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

FONSECA, Suzana D. **Contribuições para uma metodologia de avaliação da eficiência energética em iluminação de salas de aula**. 2009. 158 f. : Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Curitiba, 2009.

FONTOURA, Kleber L. **Análise, projeto e implementação de reatores eletrônicos para acionamento de lâmpadas de alta intensidade em descarga “AID”, controlados por circuitos de lógica reconfigurável “FPGA”**. 2007. 100 f. Tese (Doutorado – Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia Elétrica da

Universidade Federal de Uberlândia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007.

FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT. **ADELIN** – **Daylight and artificial light simulations**. 2011. Disponível em: <http://www.ibp.fraunhofer.de/en/Product_Development/Application_software/>. Acesso em: 15 abr. 2012.

FREITAS, Luciana. A era dos LEDs; **Revista Lumière**, v. 143, p. 72 - 79, março de 2010.

GIAMAR. **Lâmpada Master LEDtube Philips 22w - 1,20m**. Disponível em <http://www.giamar.com.br/loja/produto-97542-6899-lampada_master_ledtube_philips_22w__120m>. Acesso em: 11 fev. 2013.

GONÇALVES, Rui S. de S. **Eficiência energética na parte comum dos edifícios coletivos**. 2011. 75 f. Dissertação (Mestrado em Energias Renováveis e Eficiência Energética) – Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, 2011.

JAGLBAUER, Viviane. **Contribuição à melhoria das condições ambientais de trabalho através do aprimoramento da iluminação em galpões e pátios cobertos na indústria mineral**. 2007. 188 f. Tese (Mestrado em Engenharia Mineral) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

KONOFAL, Cristiano da R. **Análise das condições luminotécnicas das salas de aula do Bloco E da Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campus Curitiba e desenvolvimento de projeto alternativo**. 2008. 135, [159] f. : Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curso Superior de Engenharia Industrial Elétrica Ênfase em Eletrotécnica, Curitiba, 2008.

LARSON, Cindy. **Cabin: exterior from northeast with landscape, summer day**. 1994. Disponível em: <<http://radsite.lbl.gov/radiance/gallery/image/54o5.jpg>> Acesso em: 22 jun. 2012.

LAWRENCE BERKLEY NATIONAL LABORATORY. **Desktop Radiance 1.0 for lighting and daylighting simulations**. Mai. 2000. Disponível em: <<http://floyd.lbl.gov/deskrad/overview.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2012.

LOPES, Sérgio B. **Eficiência energética em sistemas de iluminação pública**. 2002. 218 f. Dissertação (Mestrado) – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Instituto de Eletrotécnica e Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

Projeto escola tubo LED. **Luminoled**, 15 de fev. 2012. Disponível em: <http://luminoled.com.br/wordpress/?page_id=629>. Acesso em: 23 jun. 2012.

LUZ, Jeanine M. **Tipos de lâmpadas 1° Cap**. Disponível em <<http://projetodeluz.blogspot.com.br/2009/03/tipos-de-lampadas-2cap.html>>. Acesso em: 8 abr. 2012.

MADALJEVIC, John. **Nice carped office space with tall windows – night**. 1994. Disponível em: <<http://radsite.lbl.gov/radiance/gallery/image/66y5.jpg>> Acesso em: 22 jun. 2012.

MARCELINO, Ricardo. **Fotografia digital: temperatura de cor**. 2012. Disponível em: <http://design2.com.br/bicudo/FDIG_unibrtec/09_temperatura%20de%20cor.pdf> Acesso em: 05 ago 2012.

MELO, Priscila F. de. **Projeto e implementação de um filtro ativo universal trifásico controlado digitalmente**. 2010. 139 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

MICARONI, Regina da C. M; BUENO, Maria I. M. S; JARDIM, Wilson de F. Compostos de Mercúrio. Revisão de métodos de determinação, tratamento e descarte. **Química Nova**. vol. 23, n. 4, p. 487-495. São Paulo, jun. 2000.

NEVES, Leticia de O. **Arquitetura bioclimática e a obra de Severiano Porto: estratégias de ventilação natural**. 2006. 222 fl. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

OSRAM. **Iluminação: conceitos e projetos**. 2012. Disponível em: <<http://www.osram.com.br/osram_br/Ferramentas_%26_Catlogos/_pdf/Arquivos/Iluminacao_Geral/Manual_do_Curso_Iluminacao%2c_Conceitos_e_Projetos/AF_apostila_conceitos_e_projetos_SITE.pdf>> Acesso em: 05 ago 2012.

PHILIPS. **A solução em economia de energia**: catálogo. São Paulo, 2010. 2 p.

_____. **Desafio energético** [entre 2004 e 2012]. Disponível em: <<http://www.sustentabilidade.philips.com.br/eficiencia-energetica/lampadas-mais-eficientes.htm>>. Acesso em: 23 jun. 2012.

_____. **Eco MASTER EL 2x40W TL-T 127V 50/60Hz HPF**. 2012. Disponível em: <<http://www.ecat.lighting.philips.com.br//reatores/fluorescentes/reatores-eletronicos/41874/cat/#>> Acesso em: 25 jun. 2012.

_____. **Guia prático Philips iluminação**: catálogo. São Paulo, 2009. 131 p.

_____. **Lâmpadas** [entre 2004 e 2012]. Disponível em <http://www.lighting.philips.com.br/connect/support/faq_lampadas.wpd>. Acesso em: 10 abr. 2012.

_____. **LED Power Drivers Outdoor (Tensão Constante)**: catálogo. São Paulo, 2012. 4 p.

_____. **Lâmpadas Fluorescentes Compactas Não Integradas**: catálogo. São Paulo, 2004. 3 p.

_____. **MASTER LEDtube GA** [entre 2004 e 2012]. Disponível em <<http://www.ecat.lighting.philips.com.br//lampadas/sistema-de-iluminacao-led/led-tubulares/master-ledtube-ga/60807/cat/>> . Acesso em: 23 mai. 2012.

_____. **HPL Mercúrio de Alta Pressão** [entre 2004 e 2012]. Disponível em <<http://www.ecat.lighting.philips.com.br//lampadas/descarga-de-alta-intensidade/hpl-mercurio-de-alta-pressao/63056/cat/#>>. Acesso em: 23 mai. 2012.

_____. **MASTER SON-T PIA Plus** [entre 2004 e 2012]. Disponível em <<http://www.ecat.lighting.philips.com.br//lampadas/descarga-de-alta-intensidade/son-sodio-de-alta-pressao/master-son-t-pia-plus/52674/cat/>>. Acesso em: 23 mai. 2012.

_____. **MASTER TL-D Super 80** [entre 2004 e 2012]. Disponível em <<http://www.ecat.lighting.philips.com.br//lampadas/lampadas-fluorescentes-tubulares/t8/master-tl-d-super-80/63070/cat/>>. Acesso em: 23 mai. 2012.

_____. **Mercúrio externo VME 1x25W HPL 220V 60 Hz W/IC**. 2012. Disponível em: <<http://www.ecat.lighting.philips.com.br//reatores/hid/hid-eletromagnetico/41869/cat/#>> Acesso em: 25 jun 2012.

_____. **The cutting edge of light: a green light source.** 2012. Disponível em: <<http://www.lighting.philips.com/main/lightcommunity/trends/oled/Illuminate.wpd>> Acesso em: 05 ago. 2012.

PLYMPTON, Patrícia et al. **Daylighting in schools: improving student performance and health at a price schools can afford.** Colorado: National Renewable Energy – U.S. Department of Energy, jun 2000.

PITANGUY, Juliana. **Curiosidades da Holanda: restaurante em Amsterdã era casa de paisagem de bruxas.** 08 mar. 2010. Disponível em: <<http://julianapitanguy.wordpress.com/2010/03/08/curiosidades-da-holanda-restaurante-em-amsterda-era-casa-de-paisagem-de-bruxas/>> Acesso em: 23 jun. 2012.

PIRES, Igor A. **Caracterização de harmônicos causados por equipamentos eletro-eletrônicos residenciais e comerciais no sistema de distribuição de energia elétrica.** 2006. 157 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Minas Gerais, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

POLANCO, Sara L. C. **A situação da destinação pós-consumo de lâmpadas de mercúrio no Brasil.** 2007. 119 fl. Dissertação (Mestrado) – Centro Universitário do Instituto Mauá, São Caetano, 2007.

PROGRAMA DE COMBATE AO DESPERDÍCIO DE ENERGIA ELÉTRICA – PROCEL. **Ministério das Minas e Energia: Iluminação eficiente é exemplo para o setor público.** Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7BAE81473E-313C-4AD9-9E17-54EFA8733AF6%7D&Team=¶ms=itemID=%7B10540D15-3325-4B4D-9564-845DD08B24B6%7D;&UIPartUID=%7B05734935-6950-4E3F-A182-629352E9EB18%7D>>. Acesso em: 27 jun 2012.

RASMUSSEN, Steen E. **Arquitetura vivenciada.** 2002. 2. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2002.

RODRIGUEZ, Fernando S. **Desenvolvimento de novo sistema para calibração automática de reatores para lâmpadas de vapor de sódio a alta pressão.** 2007. 130 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento de Tecnologia), Prodetec, Curitiba, 2007.

SALES, Roberto P. **LED, o novo paradigma da iluminação pública**. 2011. 117 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Engenharia do Paraná, Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, Curitiba, 2011.

SILVA, Alex F. **Uma contribuição ao desenvolvimento de displays poliméricos com a técnica *ink jet***. 2008. 82 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

SILVA, Cintia G. M. **Diagnóstico sobre a utilização das lâmpadas fluorescentes compactas (LFC) como promotoras de eficiência energética nos sistemas de iluminação no Brasil**. 2008. 105 f. Tese (Mestrado) – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

SILVA, Denis H. **Como enxergamos**. 10 jan 2008. Disponível em: <http://www.oftalmojanot.com.br/index.php?option=com_content&task=view&id=28&Itemid=47>. Acesso em: 10 mar 2012.

SILVA, Lourenço L. F. **Iluminação pública no Brasil: aspectos energéticos e institucionais**. 2006. 172 fl. Tese (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

SILVA, Nuno G. M. M. **Análise da viabilidade de mudança dos sistemas de iluminação de um estabelecimento de ensino superior para outros mais eficientes**. 2011. 89 f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra, 2011.

SISTEMA NACIONAL DE PESQUISA DE CUSTOS E ÍNDICES DA CONSTRUÇÃO CIVIL. **Relatório de Insumos** - Paraná. Janeiro, 2013.

_____. **Relatório de Serviços**- Paraná. Janeiro, 2013.

SOUSA, Rui M. A. de. **Estudo da eficiência energética e gestão de energia em edifícios escolares**. 2011. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2011.

SOUZA, Roberta V. G.; LEITE, Paula R.; SOARES, Carla P. S. . **Revista Lumière**, v. 159, p. 114 - 118, julho de 2011.

TARGET ILUMINAÇÃO. **Luminária sobrepor 2x32/36/40W**. Disponível em: <<http://www.targetiluminacao.com.br/luminaria-sobrepor-2x32-36-40w-p5759/>> Acesso em: 05 mar 2013.

TAVARES, Sílvia G. **Simulação computacional para projeto de iluminação em arquitetura**. 2007. 183 f. Tese (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

TOMM, Fabio L. **Projeto de reatores eletrônicos para HID baseado no conversor chopper AC**. 2007. 84 f. Tese (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

TONZANI, Stefano; Time to Change the Bulb; **Nature**, v. 459, p. 312 - 314, maio de 2009.

UE conclui 3ª etapa da abolição de incandescentes. **Portal Lumière**, São Paulo, 08 de set. 2011. Disponível em: <<http://www.revistalumiere.com.br/index.php?strArea=noticias&id=10843&campo=&campo2=>>>. Acesso em 10 de set de 2011.

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ. Sistema de Bibliotecas. **Normas para elaboração de trabalhos acadêmicos**. Curitiba: UTFPR, 2008. 115 p.

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ. Disponível em <<http://www.utfpr.edu.br/curitiba/estrutura-universitaria/localize-se-no-campus>>. Acesso em 18 de nov de 2012.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **Lifetime of white LEDs**. Aug 2006. Disponível em <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/lifetime_white_leds_aug16_r1.pdf>. Acesso em 23 de jun 2012.

VARGAS, Cláudia R. de A. Os impactos da iluminação: visão, cognição e comportamento. **Revista Lumière**, v. 161, p. 88 - 91, setembro de 2011.

VIALLI, Andrea; BALAZINA, Afra. Lâmpadas incandescentes devem ser substituídas até 2016. **O Estado de São Paulo**, São Paulo, 09 de jan. 2011. Disponível em: <<http://www.estadao.com.br/noticias/impreso,lampadas-incandescentes-devem-ser-substituidas-ate-2016,663836,0.htm>>. Acesso em: 20 set. 2011.

XAVIER, Paulo A. C. **Avaliação das características elétricas de reatores eletrônicos utilizados em lâmpadas fluorescentes tubulares.** 2005. 179 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, Brasília, 2005.