

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

GABRIELA REGUEIRA SANTOS

**ESTUDO DE MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA APLICADAS À
ILUMINAÇÃO DE ALGUMAS SALAS DE AULA DOS BLOCOS A, B, C
E D DO CÂMPUS CURITIBA DA UTFPR – SEDE CENTRO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2017

GABRIELA REGUEIRA SANTOS

**ESTUDO DE MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA APLICADAS À
ILUMINAÇÃO DE ALGUMAS SALAS DE AULA DOS BLOCOS A, B, C
E D DO CÂMPUS CURITIBA DA UTFPR – SEDE CENTRO**

Trabalho de Conclusão de Curso do curso de Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), como requisito à obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Me. Vilmair E. Wirmond

CURITIBA

2017

Estudo de Medidas de Eficiência Energética Aplicadas à Iluminação de Algumas Salas de Aula dos Blocos A, B, C e D do Câmpus Curitiba da UTFPR – Sede Centro.

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

Curitiba, 26 de Outubro de 2017.

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

Profa. Annemarlen Gehrke Castagna, Mestre.
Responsável pelos Trabalhos de Conclusão de Curso
de Engenharia Elétrica do DAELT

ORIENTAÇÃO

Vilmair E. Wirmond, Me.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Orientador

BANCA EXAMINADORA

Carlos Henrique K. Salata, Esp.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Paulo Sergio Walenia, Esp.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Romildo Alves dos Prazeres, Me.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

RESUMO

SANTOS, Gabriela R. Estudo de Medidas de Eficiência Energética Aplicadas à Iluminação de Algumas Salas de Aula dos Blocos A, B, C e D do Câmpus Curitiba da UTFPR – Sede Centro. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

Este estudo tem por objetivo identificar as medidas de eficiência energética aplicáveis ao sistema de iluminação dos Blocos A, B, C e D do Câmpus Sede da UTFPR Curitiba a fim de reduzir o consumo de energia elétrica. Tendo em vista o crescimento da utilização de energia elétrica, verificou-se a necessidade da produção e publicação deste estudo. Através do levantamento das características arquitetônicas dos ambientes, do embasamento teórico e legal das normas brasileiras de iluminação, da análise das características técnicas do sistema de iluminação e a apresentação de cálculos, medições e simulações foi possível comprovar o alto potencial de redução no consumo de energia elétrica dos Blocos A, B, C e D do Câmpus Sede da UTFPR Curitiba. Com esta publicação, espera-se incentivar o uso de sistemas eficientes de iluminação e a produção de mais pesquisas a respeito do assunto.

Palavras-chave: Eficiência energética. Iluminação. LED. Iluminância.

ABSTRACT

SANTOS, Gabriela R. Study of Energy Efficiency Measures Applied to the illumination system of Buildings A, B, C and D classrooms of Campus Curitiba of UTFPR Center Headquarter. 2017. . Trabalho de Conclusão de Curso. Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

This study aims to identify the energy efficiency measures applicable to the lighting system of buildings A, B, C and D of UTFPR – Curitiba Campus in order to reduce the consumption of electric energy. Considering the growth in the use of electric power and the scarcity of resources to generate it, it was verified the necessity of the production and publication of this study. Through the survey of the architectural characteristics of the environments, the theoretical and legal basis of the Brazilian lighting standards, the analysis of the technical characteristics of the lighting system and the presentation of calculations, measurements and simulations, it was possible to prove the high potential of reduction in energy consumption of Buildings A, B, C and D of UTFPR Curitiba Campus. With this publication, it is hoped to encourage the use of efficient lighting systems and the production of more research on the subject.

Keywords: Energy efficiency. Lighting. LED. Illumination.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Espectro eletromagnético	18
Figura 2 – Luminância.....	20
Figura 3 – Ofuscamento.....	22
Figura 4 – A: Plano de trabalho; B: Entorno imediato	22
Figura 5 - Os três principais tipos de céu: claro, parcialmente encoberto e encoberto.	24
Figura 6 - Iluminação natural de acordo com geometria do edifício.....	25
Figura 7 - Tipos de zenitais	27
Figura 8 - Brises verticais em fachada	27
Figura 9 - Trajetória solar	28
Figura 10 - Prateleira de luz	28
Figura 11 - Funcionamento da lâmpada fluorescente	29
Figura 12 - Tipos de lâmpadas fluorescentes compactas	30
Figura 13 - Componentes de um LED.....	31
Figura 14 - Tipos de luminárias	32
Figura 15 - Eixos da curva fotométrica.....	33
Figura 16 - Exemplos de circuitos com controle de acionamento perto das janelas.	41
Figura 17 - Planta geral da UTFPR Câmpus Curitiba Sede Centro - blocos A, B,C e D em destaque	43
Figura 18 - Leiautes das salas de aula.....	44
Figura 19 - Sala A-101 - leiaute 1.....	44
Figura 20 - Sala A-102 - leiaute 2.....	45
Figura 21 - Sala D-105 – leiaute 3.....	45
Figura 22 – Sala C-003 - leiaute 4.....	46
Figura 23 - Leiaute das salas – térreo – leiaute 4	47
Figura 24 - Leiaute das salas – 1º Pav.....	48
Figura 25 - Leiaute das salas – 2º Pav.....	49
Figura 26 - Leiaute das salas – 3º Pav.....	50
Figura 27 - Imagem de geosatélite – localização e orientação.....	51
Figura 28 - Método do papel branco fosco para determinar refletância	52
Figura 29 – Interruptor bloco A.....	55
Figura 30 - Luminária TMS028.....	56
Figura 31- Luminária CAN14-E232	56
Figura 32 - Especificações Técnicas Luminária CAN14-E	57
Figura 33 – Horários de utilização sala A-101	58
Figura 34 – Horários de utilização sala A-102.....	58
Figura 35 – Horários de utilização sala D-105.....	59
Figura 36 – Horários de utilização sala C-003.....	59

Figura 37 - Malha de medição - sala A-101	62
Figura 38 - Malha de medição – sala A-102.....	62
Figura 39 - Malha de medição - sala D-105	62
Figura 40 - Malha de medição - sala C-003	63
Figura 41 - Luxímetro MLM-1011	63
Figura 42 - Ficha técnica lâmpada LED	74
Figura 43 – Sensores de luminosidade	76
Figura 44 – Instalação e regulagem dos sensores LuxSense e MicroLuxsense	76
Figura 45 – Luminárias dimerizáveis A-101	77
Figura 46 – Luminárias dimerizáveis A-102	77
Figura 47 – Luminárias dimerizáveis salas D-105 e C-003	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dimensões das salas em estudo.....	51
Tabela 2 - Refletâncias Aproximadas das Superfícies	53
Tabela 3 - Quantidade de lâmpadas e tipos de instalação.....	54
Tabela 4 – Horários das Aulas UTFPR 2017	57
Tabela 5 - Horas de ocupação mensal.....	60
Tabela 6 - Consumo energético mensal médio	60
Tabela 7 – Custo Energético Médio Mensal.....	60
Tabela 8 - Parâmetros de cálculo da malha de medição	61
Tabela 9 - Medições de lux da iluminação artificial	64
Tabela 10 - Medições aferidas com luxímetro no dia 16 de Junho de 2016	66
Tabela 11 - Medições aferidas com luxímetro no dia 18 de Novembro de 2016.....	67
Tabela 12 – Uniformidade Calculada dos Ambientes.....	68
Tabela 13 - Densidade de Potência	69
Tabela 14 - Índice do Local para os ambientes em análise	71
Tabela 15 - Coeficiente de Utilização dos ambientes em análise	71
Tabela 16 - Fluxo Total por ambiente.....	72
Tabela 17 - Quantidade de luminárias por ambiente após redimensionamento.....	73
Tabela 18 - Resultado do Redimensionamento da Iluminação	73
Tabela 19 - Consumo após Redimensionamento da Iluminação	73
Tabela 20 - Potência Instalada proposta após substituição por LED	74
Tabela 21 - Consumo após redimensionamento e substituição por LED.....	75
Tabela 22 – Potência das luminárias dimerizadas por período de utilização	78
Tabela 23 – Horas de Utilização no mês.....	78
Tabela 24 – Consumo Mensal em kWh das luminárias dimerizadas e convencionais	79
Tabela 25 – Consumo Médio Mensal por Sala após Medidas de Eficiência Energética	82

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
CEPEL	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
DPI	Densidade de Potência Instalada
EPRI	Electric Power Research Institute
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
LED	Light Emitting Diode
NBR	Norma Brasileira
NOAA	National Oceanic & Atmospheric Administration
NR	Norma Regulamentadora
OIA	Organismo de Inspeção Acreditado
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
RTQ	Regulamento Técnico da Qualidade
SIT	Secretaria de Inspeção do Trabalho
SLL	The Society of Light and Lightning
UGR	Índice de Ofuscamento Unificado
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 TEMA	12
1.1.1 Delimitação do Tema	13
1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS	13
1.3 OBJETIVOS	15
1.3.1 Objetivo Geral	15
1.3.2 Objetivos Específicos	15
1.4 JUSTIFICATIVA	15
1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	16
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO	17
2 REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1 TERMINOLOGIA	18
2.1.1 Luz	18
2.1.2 Fluxo Luminoso	19
2.1.3 Intensidade Luminosa	19
2.1.4 Temperatura de Cor	19
2.1.5 Iluminância	19
2.1.6 Luminância	20
2.1.7 Refletância, Transmitância e Fator de Absorção	21
2.1.8 Ofuscamento	21
2.1.9 Plano de Trabalho	22
2.1.10 Entorno imediato	22
2.2 EQUIPAMENTOS E TECNOLOGIAS DA ILUMINAÇÃO NATURAL	23
2.2.1 Tipos de céu	23
2.2.2 Geometria e Orientação do Edifício	24
2.2.3 Distribuição e Posicionamento de Janelas	26
2.2.4 Zenitais	26
2.2.5 Brises e Prateleiras de Luz	27
2.3 EQUIPAMENTOS E TECNOLOGIAS DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL	29
2.3.1 Lâmpadas Fluorescentes	29
2.3.2 LED	30
2.3.3 Luminárias	32
2.3.4 Sensores para Controle da Iluminação	33
2.4 LEGISLAÇÃO APLICÁVEL	34
2.4.1 NR-17 – Ergonomia	35
2.4.2 NBR 8995-1 - Iluminação de ambientes de trabalho	36
2.4.3 NBR 15215 – Iluminação Natural	38
2.4.4 PROCEL Edifica - Eficiência Energética em Edificações	39

3 CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO	43
3.1.1 Dimensões e Orientação	51
3.1.2 Refletâncias	51
3.1.3 Fator de Manutenção	53
3.1.4 Lâmpadas	54
3.1.5 Controles da iluminação	55
3.1.6 Luminárias	55
3.1.7 Horário de Funcionamento e Consumo Energético	57
3.1.8 Iluminância – Iluminação Artificial	61
3.1.9 Iluminância – Iluminação Natural	65
3.1.10 Uniformidade da Iluminação Artificial	68
3.1.11 Nível de Eficiência Energética	68
4 MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	70
4.1 REDIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO	70
4.1.1 Método dos Lúmens	70
4.2 SUBSTITUIÇÃO DE LÂMPADAS	73
4.3 UTILIZAÇÃO DE CONTROLES DA ILUMINAÇÃO	75
4.4 APROVEITAMENTO DA ILUMINAÇÃO NATURAL.....	75
5 DISCUSSÃO DE RESULTADOS E CONCLUSÕES	80
REFERÊNCIAS.....	83

1 INTRODUÇÃO

Desde a construção da primeira usina geradora em corrente contínua, em 1882 por Thomas Edison, a demanda mundial por energia elétrica permanece em constante expansão. Além da sua variedade de aplicações, a energia elétrica apresenta também relativa facilidade de geração e transmissão, tornando-se assim elemento essencial na produção industrial e concepção de conforto. Segundo Farias e Sellitto (2011, p. 10), “estas virtudes conferiram à energia elétrica o posto de principal insumo da era atual. Esta importância pode ser comprovada quando se observa o consumo de eletricidade dobrar a cada dez anos nos países mais industrializados”.

Conclui-se com isso, que o progresso econômico das nações está intrinsecamente ligado ao aumento do consumo de energia elétrica. Em outras palavras, a demanda continuará crescente, principalmente em países em desenvolvimento.

Para Martins, Eliel e Donato (2011, p. 4),

Deve-se destacar que a geração de energia é a base para o modo como se estrutura a sociedade. E no momento com a ascensão econômica de países como China, Índia, Brasil e Rússia, deve-se considerar que não existe crescimento econômico sem disponibilidade de energia e que ainda não existe geração de energia sem impacto ambiental.

O aumento do consumo reflete na necessidade cada vez maior de geração e obtenção de novas fontes de energia, entretanto, o aumento desenfreado da capacidade de geração desencadeia uma série de problemas socioambientais relacionados aos mais variados meios de obtenção de energia elétrica, seja ele hídrico, eólico, térmico, nuclear, entre outros. Sendo assim, para amenizar a crescente necessidade de aumento da capacidade de abastecimento elétrico, deve-se considerar também um esforço na outra extremidade da cadeia energética, no sentido de redução do consumo.

No Brasil, foram lançados diversos programas a fim de conscientizar os consumidores para um consumo moderado de energia elétrica e redução do desperdício. Entretanto, para alcançar resultados realmente válidos seria necessário promover uma mudança cultural e comportamental quanto à forma de utilização da energia elétrica. Tendo em vista a dificuldade de reduzir o desperdício apenas com medidas educacionais, o governo implantou em 2001 a Lei de Eficiência Energética

(nº 10.924). Esta Lei estabelece “níveis máximos de consumo específico de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados e comercializados no país.” Com isto, os equipamentos mais eficientes forneceriam os mesmos resultados utilizando, no entanto, menos energia elétrica.

De acordo com Goldemberg e Lucon (2007, p. 17),

Novas tecnologias mais eficientes em refrigeradores, aparelhos de ar condicionado, motores e lâmpadas já são produzidas e/ou comercializadas no país. A conservação de eletricidade reduz o consumo e posterga a necessidade de investimentos em expansão da capacidade instalada, sem comprometer a qualidade dos serviços prestados aos usuários finais.

Apesar de representar perceptível melhora na eficiência energética dos sistemas, a pura utilização de equipamentos mais eficientes não é condição suficiente para obter-se a máxima eficiência energética. A análise associada do sistema dependente de eletricidade e dos usuários deste é de extrema importância para identificar as possibilidades de melhoria no seu rendimento. Os sistemas de iluminação, em particular, são predominantemente afetados pelo comportamento dos usuários que em sua maioria fazem o controle manual deste.

A iluminação tem papel representativo no consumo total das edificações, e por isso, merecem atenção para possibilidade de melhoria em sua eficiência energética e redução de custos. De acordo com Costa (2006, p. 1), a iluminação apresenta grande potencial de conservação de energia e tem capacidade para oferecer retornos mais rápidos às necessidades de redução de consumo com os menores investimentos.

1.1 TEMA

São diversas as possibilidades de aumento de eficiência energética associado aos sistemas de iluminação. Além de equipamentos mais eficientes em sua estrutura e atuação, muitos profissionais especializados na área luminotécnica conseguem desenvolver projetos utilizando menos lâmpadas e com melhores resultados em questão de conforto visual e adequação de níveis de iluminância para determinadas tarefas. Existem diversos softwares para auxiliar na simulação de iluminância de ambientes utilizando a curva fotométrica específica de cada lâmpada e o rendimento aproximado da luminária utilizada. Com isso, é possível perceber

expressivas variações de resultados através de simples atos de rotação e angulação de luminárias, por exemplo.

Outra medida de eficiência energética aplicada à iluminação muito utilizada é o acionamento automático de circuitos de iluminação através de sensores. Os sensores são dispositivos capazes de ligar, desligar ou ainda controlar a potência das lâmpadas (dimerizar) de acordo com a necessidade dos ocupantes do ambiente iluminado. Tais dispositivos podem apresentar diversos critérios de controle, como através da detecção de movimentos, ou presença de indivíduos num determinado raio; através do nível de iluminação natural, ou ainda por um tempo previamente estipulado para o acionamento e desligamento das lâmpadas.

Estas medidas simples de controle automático de lâmpadas, reduzem ocasiões de desperdício, já que as lâmpadas estarão ligadas unicamente quando necessárias. De acordo com Souza (2003, p. 26), “os sistemas de controle por atuarem diretamente na otimização do uso da iluminação, implicam na redução efetiva do desperdício e conseqüentemente, também, na economia dos custos operacionais”.

1.1.1 Delimitação do Tema

Este trabalho abordará medidas de eficiência energética aplicadas à iluminação dos blocos A, B, C e D do câmpus Sede da UTFPR - Curitiba. Será discutida a utilização de sistemas de acionamento automático para iluminação, a capacidade de aproveitamento da luz natural e a eficiência dos equipamentos e lâmpadas utilizados atualmente. Além disso, será feito o levantamento do potencial de economia no consumo de energia elétrica produzido pela aplicação das medidas propostas.

1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS

A crise hídrica brasileira agrava o quadro energético atual, este fato reflete num custo elevado da energia elétrica, além do risco de interrupção de fornecimento de energia em determinados meses mais secos. Com isto, a Universidade assim

como qualquer outro cliente residencial, comercial ou industrial, vem pagando contas cada vez mais altas de energia elétrica.

Com isto, observam-se grandes oportunidades de racionamento de energia elétrica relacionada à iluminação. Diversos cômodos e zonas de circulação poderiam apresentar melhores controles de iluminação a fim de condizer com a real utilização dos recursos da iluminação. Partindo da premissa que existem pessoas incumbidas da tarefa de ligar e desligar tais luzes, percebe-se a vulnerabilidade do sistema em manter as luzes acesas apenas quando necessárias. Isto é, estes funcionários não possuem tempo disponível para monitorar o ligamento e desligamento das luzes periodicamente. Além disso, um sistema controlado manualmente encontra-se passível de falhas, como o esquecer de apagar as luzes, ou o acionamento de luzes em horários desnecessários.

Além disso, as lâmpadas utilizadas para iluminação dos ambientes são do tipo fluorescente. É sabido que atualmente existem tecnologias mais eficientes para iluminação que podem garantir maior qualidade de iluminação e, ainda que em longo prazo, maior economia de consumo.

A Universidade conta ainda com grandes aberturas ao ambiente externo, como janelas e tetos translúcidos, que são subutilizados para iluminação. Estes dispositivos estão em geral obstruídos ou sujos, desperdiçando seu potencial em complementar a iluminação artificial através da disponibilidade de iluminação natural.

Serão adotadas algumas premissas para este estudo, como os horários e dias de funcionamento da universidade conforme calendário acadêmico do ano de 2017, onde as aulas ocorrem das 07h30 da manhã às 23h00 da noite de segunda a sexta-feira, além da ocupação das salas conforme aulas previstas do segundo semestre letivo de 2017.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Elaborar estudo para diagnosticar e propor medidas de eficiência energética que possibilitem a redução de consumo de energia elétrica no sistema de iluminação dos blocos A, B, C e D da UTFPR Câmpus Sede - Curitiba.

1.3.2 Objetivos Específicos

Para alcançar tal objetivo, serão entendidos como objetivos específicos os seguintes itens:

- Estudar os requisitos das normas brasileiras relacionadas à iluminação e eficiência energética a fim de apontar a conformidade ou não dos ambientes propostos;
- Levantar a situação atual da iluminação dos ambientes dos blocos A, B, C e D
- Apresentar, de maneira abrangente, os tipos de medidas de eficiência energética aplicadas a sistemas de iluminação existentes;
- Definir as medidas que melhor se aplicam ao caso estudado;
- Apresentar os cálculos, simulações e resultados;
- Propor soluções para uma iluminação eficiente e econômica;
- Apresentar potencial de economia gerado para as medidas escolhidas;

1.4 JUSTIFICATIVA

O aumento constante da demanda por energia elétrica coloca o planeta numa posição de conflito. Ao mesmo tempo em que o aumento de geração de energia representa um progresso industrial e tecnológico, este se apropria de recursos naturais e gera diversos danos socioambientais. Com isto, a implantação de medidas que garantam um funcionamento mais eficiente dos sistemas usuários de eletricidade remete à redução do consumo e conseqüentemente à mitigação da necessidade de aumento de capacidade de geração de energia.

Uma das medidas mais representativas para geração de economia no âmbito energético é a utilização de sistemas e equipamentos eficientes para iluminação. Dentre as medidas possíveis, destaca-se o uso de sensores para controle automático dos circuitos de iluminação. De acordo com Garg e Bansal (1999, p.1), os órgãos estadunidenses internacionalmente conhecidos EPRI (Electric Power Research Institute) e ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers), afirmam que de maneira geral, estima-se uma economia de 30% no consumo de energia elétrica através da utilização de controle automático da iluminação em instalações comerciais. Sendo assim, este estudo representará para Universidade especificamente, a possibilidade de redução de gastos com energia, além de diminuição de desperdícios e ainda aumento da segurança. Por estes motivos, justifica-se a realização deste estudo a fim de colaborar para o desenvolvimento da Universidade e a redução do agravamento da crise energética.

1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Primeiramente serão escolhidos quatro modelos de sala de aula predominantes nos Blocos A, B, C e D. Em seguida, serão levantados todos os dados relacionados à iluminação das áreas estudadas. Dentre estes, pretende-se verificar:

- 1 – Parâmetros dimensionais relevantes ao estudo da iluminação e refletâncias das superfícies;
- 2 – Quantidade, especificação e localização das luminárias e lâmpadas;
- 3 – Níveis de iluminância e uniformidade da iluminação;
- 4 – Tipos de acionamento das lâmpadas, localização e atendimento dos circuitos;

Em seguida, após estudo das Normas Brasileiras vigentes aplicáveis, serão definidas as medidas adequadas a cada caso. Para isto, serão realizados cálculos de acordo com o período de ocupação e perfil de tarefa executada em cada ambiente, além de simulações de iluminação natural e artificial no software DIALux.

Após esta primeira parte do estudo, será considerada então, a substituição de determinados equipamentos por outros mais eficientes e/ou mais adequadamente localizados e dimensionados.

Por fim, será calculada a potencial redução de consumo e conseqüente redução de custo na conta de energia elétrica caso estas medidas sejam aplicadas.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Estipula-se a seguinte estrutura para a elaboração deste trabalho:

Capítulo 1 – Introdução à importância da redução do consumo de energia elétrica e conseqüente utilização de sistemas energéticos mais eficientes no cenário atual.

Capítulo 2 – Referencial Teórico: Terminologia relacionada à iluminação, legislação aplicável e fundamentação teórica de cálculos para dimensionamento e simulações.

Capítulo 3 – Caracterização do Objeto de Trabalho: Definição do escopo, levantamento das áreas de estudo e justificativa.

Capítulo 4 – Medidas de eficiência energética propostas para a redução do consumo de energia.

Capítulo 5 – Resultados e discussões das análises e medidas propostas. Conclusões, dificuldades encontradas, considerações finais e sugestões para trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A fim de fornecer embasamento teórico suficiente para compreensão completa dos estudos realizados neste trabalho, são apresentadas a seguir as definições dos termos técnicos utilizados ao longo deste documento, legislações aplicáveis ao estudo e apresentação de tecnologias relacionadas à iluminação.

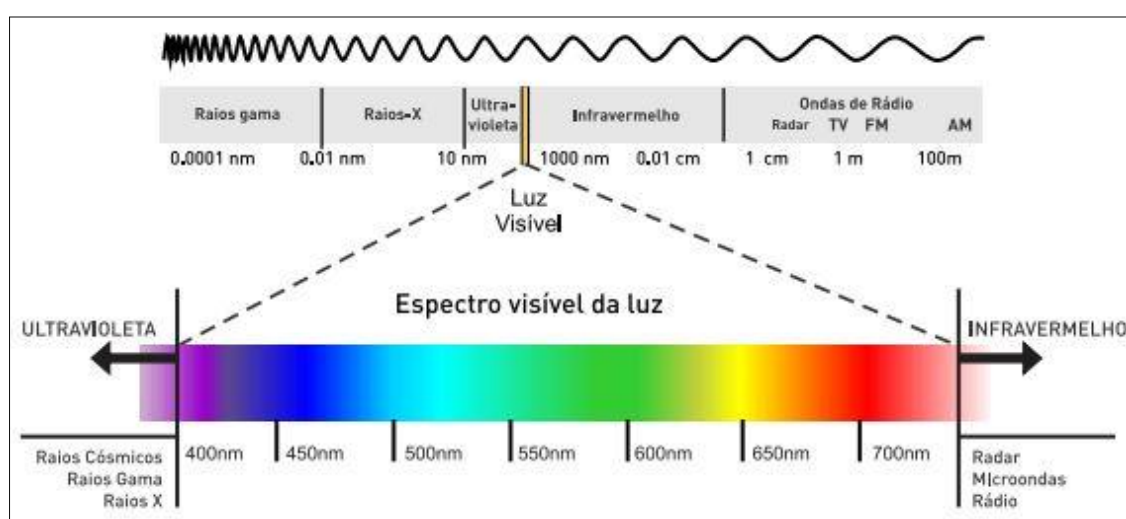
2.1 TERMINOLOGIA

As definições descritas a seguir foram embasadas na Norma Brasileira de Terminologia da Iluminação (NBR 5461) e na Norma Brasileira de Iluminação de Ambientes de Trabalho (NBR 8995).

2.1.1 Luz

A luz pode ser definida como uma onda eletromagnética, cuja radiação situa-se entre a infravermelha e a ultravioleta. Os comprimentos de onda dentro desta faixa estão entre 380 e 780 nm e são perceptíveis ao olho humano, conforme Figura 1.

Figura 1 - Espectro eletromagnético



Fonte: ITAIM Iluminação (2016)

A luz apresenta três grandezas físicas básicas: intensidade (amplitude), frequência e polarização (ângulo de vibração). Especificamente para luz, a intensidade é identificada como o brilho e a frequência como a cor.

2.1.2 Fluxo Luminoso

Define-se como fluxo luminoso (Φ) a radiação total emitida por uma fonte de luz ou fonte luminosa, em todas as direções. Esta grandeza é medida em lúmen (lm).

2.1.3 Intensidade Luminosa

Define-se como intensidade luminosa (I), a percepção da potência emitida por uma fonte luminosa em uma dada direção ou ainda o fluxo luminoso (em lumens) por unidade de ângulo sólido (Ω) (em esferorradiano), conforme Equação 1. Sua unidade é a candela (cd).

$$I = \frac{\Phi}{\Omega} \quad (1)$$

2.1.4 Temperatura de Cor

Segundo a NBR 5461, a temperatura de cor é a temperatura em Kelvin do corpo negro na qual é emitida uma radiação com a mesma cromaticidade do estímulo dado, onde o corpo negro é um objeto hipotético capaz de absorver toda a radiação eletromagnética que nele incide.

2.1.5 Iluminância

A iluminância ou iluminamento (E) corresponde à quantidade de luz que incide sobre um determinado ponto de uma superfície dado pela relação entre o fluxo luminoso incidente e a área desta superfície. Sua unidade padrão é o lux. Onde um lux é um lúmen por metro quadrado, conforme a Equação 2, onde A é a área da superfície.

$$E = \frac{\Phi}{A} \quad (2)$$

Esta grandeza pode também ser obtida através da Equação 3, onde d é a distância da fonte luminosa à superfície e θ é o ângulo de incidência da luz na superfície.

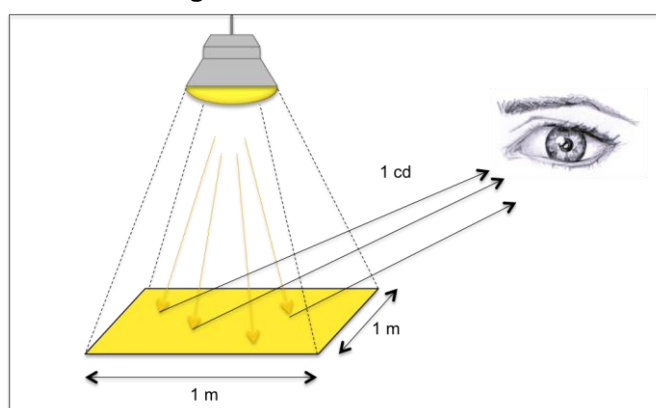
$$E = \frac{I}{d^2} \times \cos \theta \quad (3)$$

A iluminância é amplamente utilizada para a quantificação de valores ótimos de luz necessários para a realização de uma determinada tarefa visual. No Brasil, estes valores encontram-se tabelados na Norma Brasileira 8995-1 *Iluminação de ambientes de trabalho. Parte 1: Interior*.

2.1.6 Luminância

A luminância (L) não faz referência a uma fonte luminosa e sim a uma superfície refletora da intensidade de luz proveniente de uma fonte luminosa. Sendo assim, a luminância é dada pelo quociente entre a intensidade do fluxo luminoso refletido por uma superfície em uma dada direção e a área dessa superfície projetada ortogonalmente sobre um plano perpendicular àquela direção, conforme Figura 2. Sua unidade padrão é a candela por metro quadrado (cd/m^2).

Figura 2 – Luminância



Fonte: Universidade da Catalunha (2016)

Esta grandeza pode ser obtida através das seguintes Equações 4 e 5, onde ρ é a refletância ou coeficiente de reflexão.

$$L = \frac{I}{A \times \cos \theta} \quad (4)$$

$$L = \frac{\rho \times E}{\pi} \quad (5)$$

2.1.7 Refletância, Transmitância e Fator de Absorção

A refletância de uma superfície refere-se à relação percentual de quanto do fluxo luminoso incidente nesta, é refletido, enquanto a transmitância refere-se à parcela do fluxo incidente que atravessa a superfície. Já o fator de absorção por sua vez, refere-se à parcela do fluxo luminoso incidente absorvido pela superfície e transformado em calor.

2.1.8 Ofuscamento

De acordo com a Norma Brasileira 8995-1 (2013), o ofuscamento é a sensação visual produzida por áreas brilhantes dentro do campo de visão, que pode ser experimentado em níveis pouco perceptíveis a níveis de desconforto críticos. Quando ocorre uma variação muito grande de iluminação e/ou velocidade, experimenta-se o ofuscamento, que pode ocorrer devido a dois efeitos distintos: o contraste e a saturação.

O contraste é definido pela situação em que a proporção entre as luminâncias de objetos presentes no campo de visão do indivíduo seja maior que 10:1. Já a saturação ocorre normalmente quando a luminância média da cena excede 25.000 cd/m², desta forma, o olho é saturado com luz em excesso, chegando a provocar perda de visibilidade (LAMBERTS et al., 2012, p.22).

O ofuscamento pode ser classificado em ofuscamento direto e reflexivo. No ofuscamento direto a luz é direcionada diretamente ao campo de visão do indivíduo, enquanto no ofuscamento reflexivo ocorre a reflexão da luz no plano de trabalho, direcionando-a para o campo de visão do indivíduo (OSRAM, 2010), conforme a Figura 3.

Figura 3 – Ofuscamento

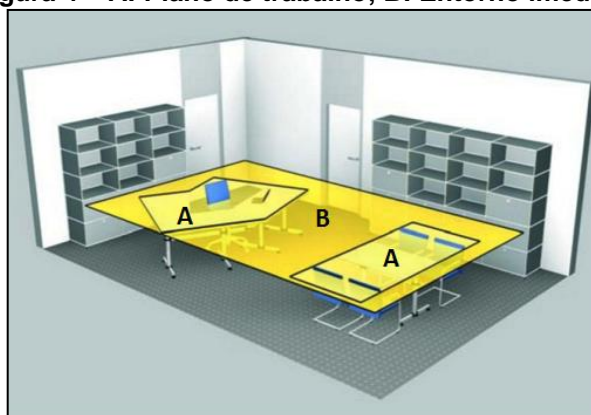
Fonte: CEPEL (2015)

2.1.9 Plano de Trabalho

O plano de trabalho, superfície de trabalho ou área da tarefa, é definido como um plano horizontal, vertical ou inclinado, ou ainda como uma área geral, em que a tarefa visual principal é realizada. Esta área é, portanto o foco de iluminação e análise para garantir níveis de iluminância adequados.

2.1.10 Entorno imediato

O entorno imediato é definido como a área localizada em torno da área da tarefa principal dentro do campo de visão do ocupante. Recomenda-se que este entorno possua no mínimo 0,5m de largura e pode ser considerado como uma faixa que cerca a área da tarefa, conforme Figura 4.

Figura 4 – A: Plano de trabalho; B: Entorno imediato

Fonte: NBR 8995-1 (2013)

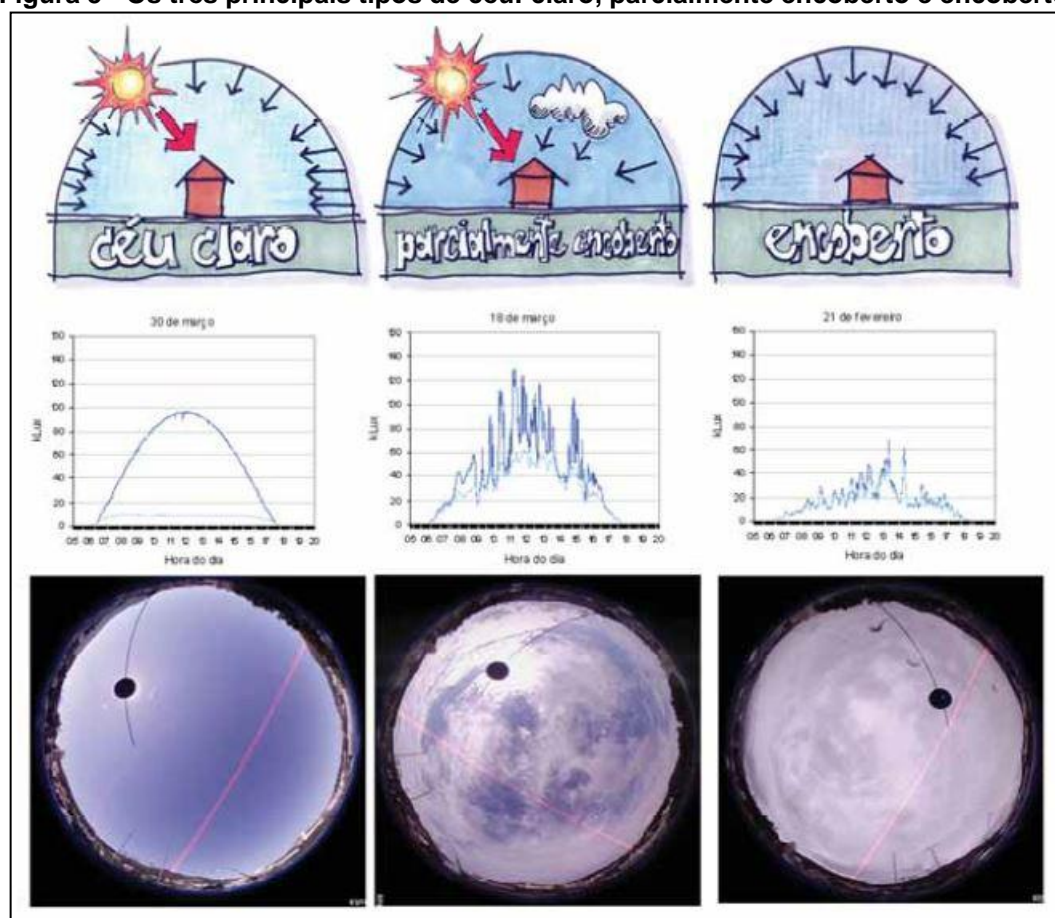
2.2 EQUIPAMENTOS E TECNOLOGIAS DA ILUMINAÇÃO NATURAL

A iluminação natural contribui para a redução do consumo de energia elétrica e proporciona maior bem estar aos ocupantes de um ambiente iluminado naturalmente. Apesar disso, atualmente ainda são poucos os projetos que exploram adequadamente este recurso. Ao propor soluções que permitem o aproveitamento de luz natural deve-se analisar também as necessidades térmicas e acústicas do edifício, já que pelas mesmas aberturas em que a luz penetrará, pode-se transmitir também calor e som ao ambiente interno. Sendo assim, cada caso deve ser analisado sinergicamente com fatores térmicos e sonoros, a fim de produzir a solução mais apropriada para cada ambiente, de acordo com as necessidades dos ocupantes e atividades ali realizadas. (LAMBERTS et al., 2012, p.24).

2.2.1 Tipos de céu

O método da cobertura do céu prescrito pela NOAA (National Oceanic & Atmospheric Administration) estabelece três tipos básicos de céu: claro, parcialmente encoberto e encoberto. É necessário o conhecimento destes modelos de céu para a avaliação da iluminação natural num ambiente, pois eles traduzem as possíveis variações da luz diurna. Sendo assim, qualificam-se os tipos de céu através do montante, em porcentagem, da cobertura de nuvens, onde o céu claro possui de 0 a 35%, o céu parcialmente encoberto possui de 35 a 75% e o céu encoberto de 75 a 100% de cobertura de nuvens, conforme a Figura 5. Os gráficos representam a distribuição luminosa em quilolux ao longo do dia, para um dia específico de análise. Percebe-se que para os três tipos de céu em questão, os picos de iluminância são percebidos por volta do meio-dia. E que quanto menor a quantidade de nuvens presentes no céu, maiores os níveis de iluminância e menores as perturbações.

Figura 5 - Os três principais tipos de céu: claro, parcialmente encoberto e encoberto.



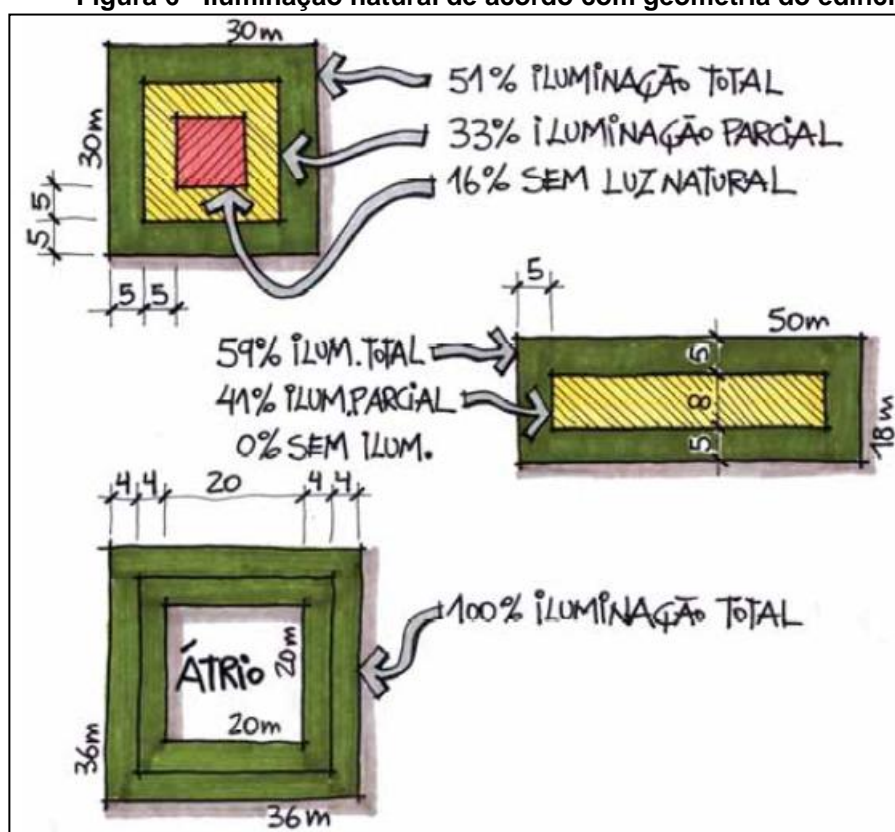
Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira (2014)

2.2.2 Geometria e Orientação do Edifício

A iluminação natural pode ser muito melhor aproveitada, quando sua utilização é pensada desde a fase de concepção arquitetônica do edifício. A arquitetura determinará distribuição e posicionamento de janelas, aberturas zenitais, orientação do prédio, cores e materiais utilizados, dentre outros fatores que irão influenciar diretamente no sistema de iluminação natural.

De acordo com Dutra, Lamberts e Pereira (2012, p. 155), "normalmente, em edifícios com vários pavimentos, uma distância de 5 metros pode ser totalmente iluminada com luz natural, enquanto que os 5 metros além desse limite podem apenas ser parcialmente iluminados". Na figura 6 temos três plantas com a mesma área construída, porém com diferentes possibilidades de iluminação natural.

Figura 6 - Iluminação natural de acordo com geometria do edifício.



Fonte: Dutra, Lamberts e Pereira (2012)

Outro fator de grande influência na iluminação natural é a orientação do prédio. Considerando a posição geográfica do Brasil, a melhor orientação para o aproveitamento de iluminação natural é a norte, já que a "trajetória" solar encontra-se sempre inclinada ao norte. Entretanto, a incidência de luz direta também gera aumento de temperatura, sendo assim, aberturas voltadas para essa orientação devem sempre prever opções de sombreamento para minimizar o calor.

A orientação sul, pode ser também considerada uma boa opção de aproveitamento de luz natural devido à constância da luz. Embora a quantidade de luz em si, possa ser baixa, a qualidade de iluminamento é alta quando se necessita de uma luz fria (branca). A orientação sul é a que menos recebe incidência direta de luz solar, prevenindo situações de aumento de temperatura no ambiente e ofuscamento.

As orientações leste e oeste são consideradas as mais difíceis para projetar o aproveitamento da luz natural, pois recebem incidência direta da luz solar com maior intensidade no verão e menor intensidade no inverno, sendo assim, as

soluções adotadas devem ter caráter dinâmico para adequação a cada época do ano (LAMBERTS et al., 2012, p.153).

2.2.3 Distribuição e Posicionamento de Janelas

As janelas são os principais meios de penetração da luz solar num ambiente. Quanto maior a altura da janela, maior a quantidade de luz natural que adentra o ambiente. De acordo com Dutra, Lamberts e Pereira (2012, p. 157), "a penetração útil da luz natural pela janela é limitada a uma distância de aproximadamente 1,5 vezes a altura da parte superior da janela". Sendo assim, ambientes com pé-direitos maiores, permitem o posicionamento mais elevado das janelas e conseqüentemente maior aproveitamento de luz natural.

As janelas horizontais irão distribuir a luz de forma mais uniforme que janelas verticais, assim como janelas mais espaçadas irão distribuir melhor a luz que janelas concentradas numa pequena área da parede. Entretanto, a área percentual de janela em relação à área de piso deve ser de no máximo 20%, devido à absorção de calor no verão e às perdas de calor no inverno.

Recomenda-se que as janelas sejam sempre posicionadas em mais que uma parede, favorecendo uma iluminação distribuída. Uma iluminação unilateral dificilmente apresentará boa uniformidade, e está mais propícia a gerar pontos de ofuscamento.

2.2.4 Zenitais

A iluminação zenital, definida pela NBR 15215-1 (ABNT 2005b) como a "porção de luz natural produzida pela luz que entra através dos fechamentos superiores dos espaços internos", apresenta grandes vantagens em relação à iluminação lateral obtida através das janelas. A iluminação zenital possui maior uniformidade e recebe luz natural por mais tempo. A principal desvantagem no entanto, é a dificuldade em proteger essas aberturas da radiação solar indesejável. Sendo assim, a fim de minimizar este problema, recomenda-se a utilização de zenitais com vidros ou outros materiais transparentes em posição vertical ou em formatos abaulados, conforme Figura 7.

Figura 7 - Tipos de zenitais



Fonte: Dutra, Lamberts e Pereira (2012)

2.2.5 Brises e Prateleiras de Luz

Os brises e as prateleiras de luz são alternativas que compõem a fachada arquitetônica de um edifício e impedem a incidência direta de radiação solar no interior do edifício, prevenindo o ofuscamento e o aumento excessivo de calor. Os brises podem ser compostos de materiais diversos, sendo os mais utilizados concreto, madeira e alumínio. Geralmente, são compostos por lâminas que podem ser fixas ou móveis, localizadas em frente às aberturas dos edifícios, conforme Figura 8.

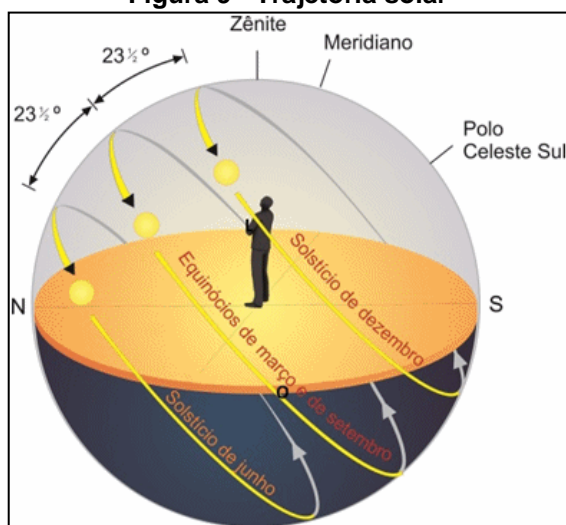
Figura 8 - Brises verticais em fachada



Fonte: MCACoelho (2016)

Devido à posição geográfica do Brasil, recomenda-se que as fachadas dos edifícios voltadas para o Norte utilizem brises. Isto é válido devido à inclinação terrestre, onde, considerando um referencial na Terra, o Sol percorre uma trajetória sempre levemente inclinada ao Norte, conforme Figura 9.

Figura 9 - Trajetória solar

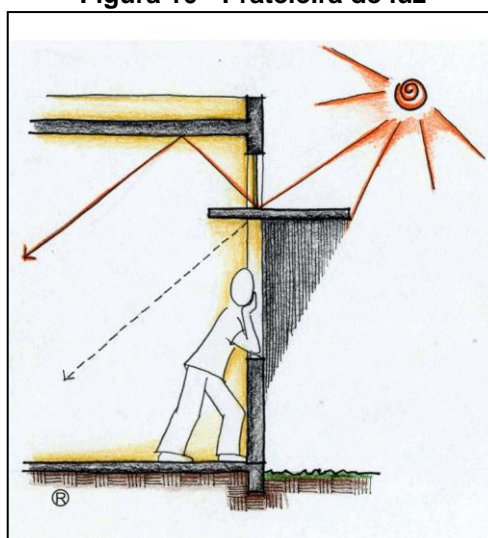


Fonte: Saraiva (2010)

Sendo assim, recomenda-se a utilização de brises com aletas posicionadas horizontalmente nas fachadas voltadas ao Norte, e verticalmente nas fachadas voltadas à Leste e Oeste.

As prateleiras de luz agem como um brise horizontal para as janelas, devendo ser posicionadas acima do nível dos olhos. Sua correta utilização melhora a qualidade da luz natural e permite a penetração mais profundamente de luz no ambiente, conforme Figura 10.

Figura 10 - Prateleira de luz



Fonte: Projeteee (2014)

2.3 EQUIPAMENTOS E TECNOLOGIAS DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL

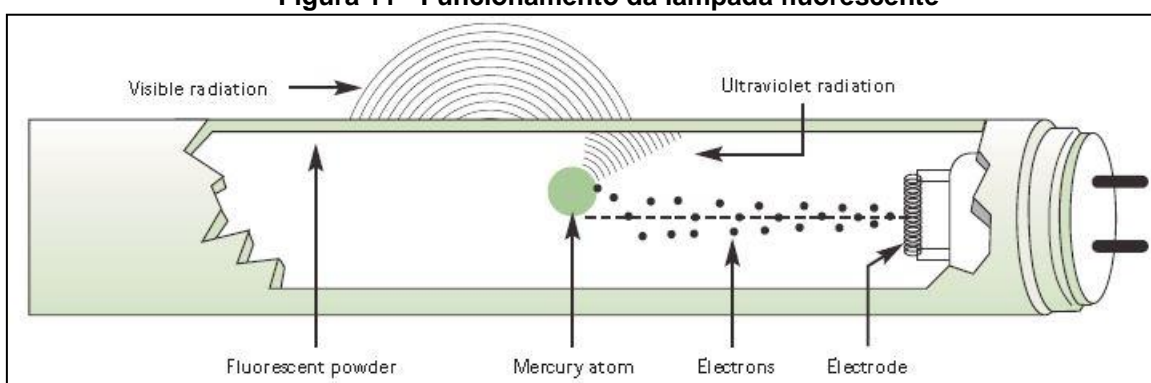
Os equipamentos listados a seguir foram descritos de acordo com as definições apresentadas pela Sociedade de Luz e Iluminação (SLL - The Society of Light and Lighting) no livro *The SLL Lighting Handbook* publicado em 2009.

2.3.1 Lâmpadas Fluorescentes

Atualmente no Brasil, as lâmpadas fluorescentes têm sido amplamente utilizadas na iluminação artificial de edificações. De acordo com Amaral, Cerezini e Polli (2016, vol 11), o Brasil consome cerca de 100 milhões de lâmpadas fluorescentes por ano. Trata-se de um dispositivo de fácil produção, comercializado em diversos formatos e tamanhos, num preço acessível e de grande disponibilidade no mercado.

A lâmpada fluorescente gera radiação ultravioleta através de uma descarga elétrica em meio a um vapor de mercúrio de baixa pressão. Esta descarga é convertida em luz visível quando se encontra com o revestimento de fósforo do interior da lâmpada, conforme Figura 11. A corrente responsável pela geração da descarga elétrica deve ser controlada por meio de um reator, de forma a manter uma operação estável da lâmpada evitando picos e sobrecorrentes.

Figura 11 - Funcionamento da lâmpada fluorescente



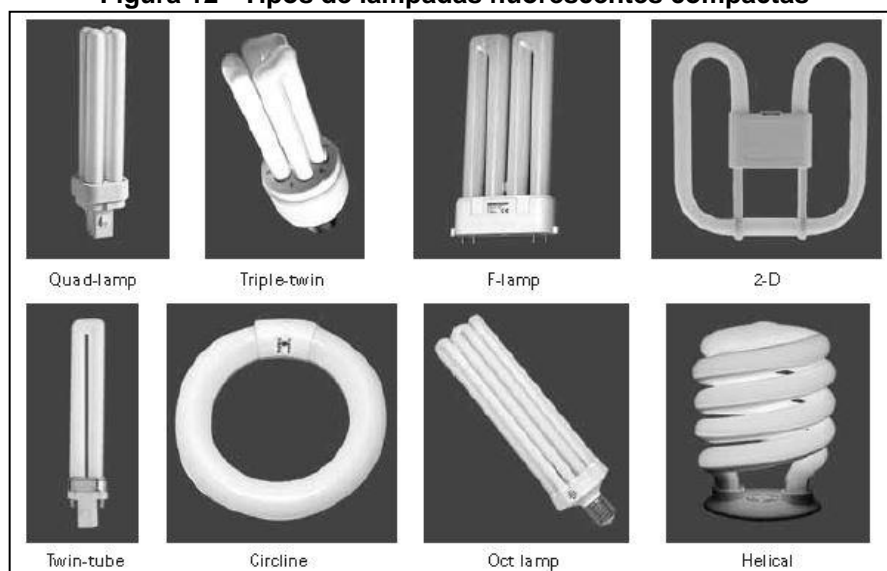
Fonte: SLL (2014)

Existem, basicamente, dois tipos de lâmpadas fluorescentes: as tradicionais tubulares e as lâmpadas fluorescentes compactas. As lâmpadas tubulares possuem uma grande variedade de diâmetros, sendo os principais, T12 de 38mm, T8 de 25mm e T5 de 16mm. Todas essas famílias de lâmpadas são facilmente

encontradas em diversos comprimentos e potências elétricas de consumo, além de apresentar grande variedade de temperaturas de cor.

Em geral, as lâmpadas fluorescentes compactas são menos eficientes que as lâmpadas fluorescentes lineares, entretanto, devido ao seu tamanho reduzido e variedade de formatos, conforme Figura 12, sua utilização torna-se mais adequada em casos onde uma lâmpada menor é necessária. Além disso, algumas lâmpadas fluorescentes compactas possuem reator integrado, o que permite a utilização em soquetes de lâmpadas incandescentes. Esta característica é bastante interessante principalmente para casos de *retrofit* da iluminação.

Figura 12 - Tipos de lâmpadas fluorescentes compactas



Fonte: SLL (2014)

2.3.2 LED

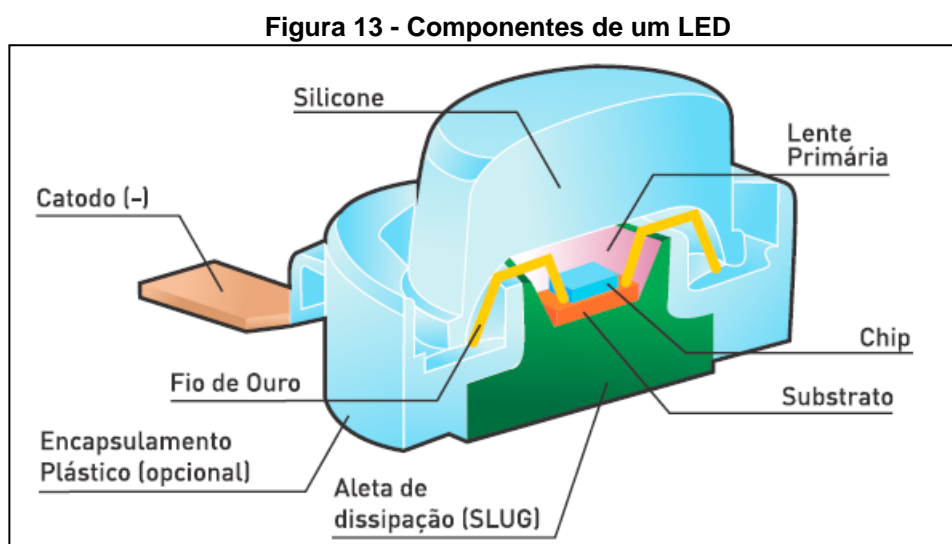
O diodo emissor de luz, mais conhecido pela sigla em inglês LED (Lighting Emitting Diode), tem sido amplamente difundido no mercado brasileiro, e sua utilização na iluminação artificial de edificações está em constante expansão. Segundo Griesang, Santos e Moraes (2016), "cada vez mais, as LEDs são facilmente encontradas nas lojas de iluminação e no comércio em geral e se destacam por consumirem menos energia elétrica do que as fluorescentes compactas, hegemônicas no mercado". Além de apresentar grande variedade de tamanhos, formatos, cores, potências e aplicações, os LEDs costumam apresentar eficiência e

vida útil maior se comparado às alternativas mais comuns no mercado, como as lâmpadas fluorescentes.

Os LEDs são compostos por materiais semicondutores que são dopados de forma a apresentarem elétrons livres, tornando-se cristais do tipo N, ou elétrons faltantes, tornando-se cristais do tipo P. Em seguida, é feita a justaposição dos semicondutores N e P formando o que se chama de junção P-N. Quando um elétron livre do cristal N encontra uma lacuna do cristal P ocorre o que é chamado de recombinação do par elétron-lacuna. Durante este processo um fóton é emitido, isto é, emite-se luz.

A fonte de energia tem seu pólo negativo forçando os elétrons na direção das lacunas, enquanto o pólo positivo força as lacunas em direção aos elétrons. Sendo assim, mantém-se um fluxo constante de recombinações permitindo a emissão constante de luz pelo LED.

Para ampliar e melhor distribuir a intensidade da luz emitida, são utilizadas lentes e diferentes formas de encapsulamento, conforme Figura 13. Este componente do LED garante versatilidade de fluxo luminoso.

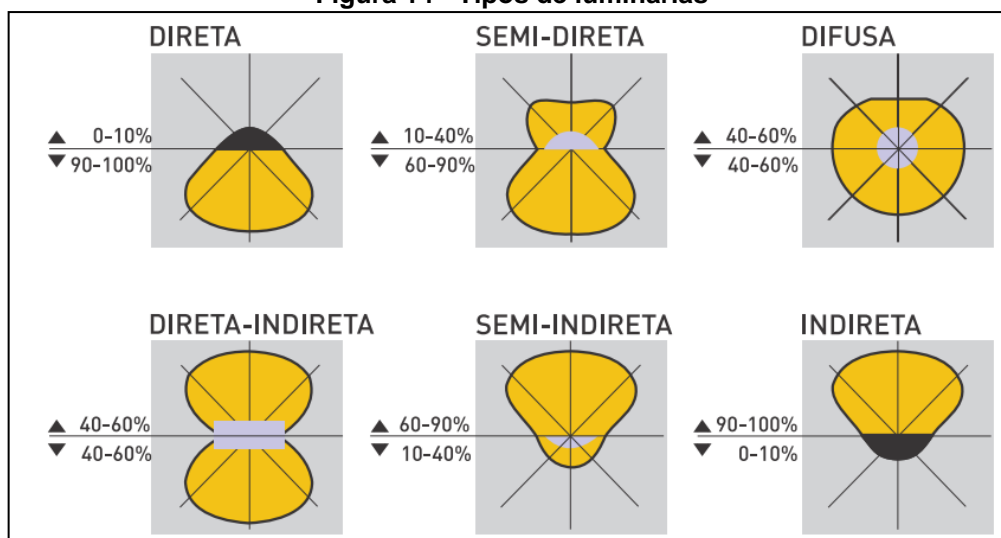


Fonte: ITAIM Iluminação (2016)

2.3.3 Luminárias

As luminárias podem distribuir, filtrar ou modificar o fluxo luminoso emitido pelas lâmpadas. De modo geral, estas podem ser classificadas conforme Figura 14.

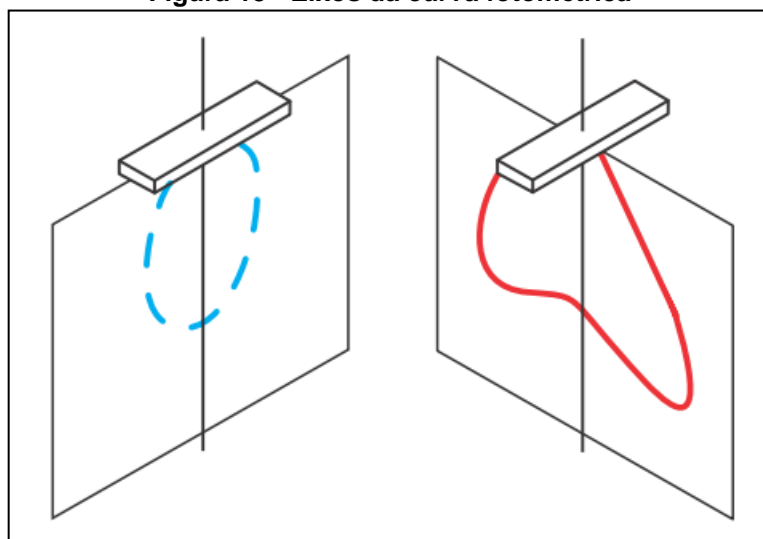
Figura 14 - Tipos de luminárias



Fonte: ITAIM Iluminação (2016)

Sendo assim, os aspectos construtivos das luminárias garantem o resultado final de percepção da iluminação. O corpo das luminárias devem apresentar características mecânicas, térmicas e elétricas condizentes com o seu local de instalação e tipo de uso. Além disso, as luminárias podem apresentar componentes acessórios como refletores, aletas, difusores e refratores. Os refletores, como o próprio nome sugere, refletem e distribuem o fluxo luminoso emitido pelas lâmpadas, já os refratores redirecionam, por refração, a distribuição deste fluxo. As aletas e difusores por sua vez, possibilitam o controle e mitigação do ofuscamento (ITAIM, 2016).

Através da curva fotométrica de uma dada luminária é possível compreender como se dará a distribuição da luz desta. A intensidade luminosa é apresentada num diagrama polar, em candela por 1000 lúmens do fluxo nominal da lâmpada. Geralmente, este diagrama dá a distribuição do fluxo luminoso nos planos longitudinal e transversal ao eixo da luminária (ITAIM, 2016) conforme Figura 15.

Figura 15 - Eixos da curva fotométrica

Fonte: ITAIM Iluminação (2016)

As luminárias apresentam ainda um rendimento, que corresponde a razão entre o fluxo total emitido pela luminária e a soma do fluxo luminoso das lâmpadas utilizadas naquela luminária. Como a luminária gera absorção, reflexão e transmissão da luz, de acordo com a sua estrutura e materiais, a quantidade de luz emitida pela luminária será sempre menor que aquela emitida pelas lâmpadas que se encontram no seu interior. Estes dados geram o Fator de Utilização (U), no qual compara-se o fluxo luminoso que atinge uma superfície e a soma dos fluxos luminosos das lâmpadas fora da luminária (ITAIM, 2016).

2.3.4 Sensores para Controle da Iluminação

Um dos sensores mais utilizados atualmente para o controle da iluminação é o sensor de presença e/ou de movimento. Este sensor aciona automaticamente as luzes ao identificar a presença ou a movimentação de um ocupante, e desliga também automaticamente as luzes ao não identificar a presença ou movimentação de um ocupante após um tempo pré determinado. Desta forma, a iluminação artificial se mantém acionada apenas quando necessária, ou seja, quando existem pessoas de fato ocupando o ambiente a ser iluminado.

A iluminação artificial pode ser utilizada de forma suplementar à iluminação natural, onde esta só será acionada quando não mais houver luz natural suficiente no ambiente. Este acionamento se dá de forma automática, e pode ser instantâneo,

do tipo liga/desliga, ou gradual, chamado de dimmer. O tipo liga/desliga tem custo reduzido, porém dimmers apresentam maior economia de energia e causam menores distúrbios na percepção visual dos usuários, já que o nível de iluminação não sofre variações bruscas (SLL, 2009).

Deve-se pensar num agrupamento dos circuitos de luminárias que permita o acionamento separado para cada grupo desejado, onde seja possível, por exemplo, manter as luminárias mais próximas das janelas apagadas enquanto as demais estejam acesas. Embora este tipo de configuração possa ser efetuado manualmente pelo usuário, um dimmer tornaria esta tarefa muito melhor executada e suavizaria as transições entre diferentes níveis de iluminação.

O dimmer atua em conjunto com o sensor fotoelétrico, onde, o sensor indicará o nível de luz que está sendo recebido, e o dimmer ajustará o fluxo luminoso das lâmpadas para suprirem o nível de lux pré-determinado.

Além disso, pode-se também utilizar temporizadores, capazes de acionar ou desligar uma ou mais lâmpadas de acordo com um período de tempo determinado pelo usuário do sistema. Este recurso permite o acionamento e desligamento automático, fazendo com que as luzes permaneçam acesas apenas naquele período útil do dia (SLL, 2009).

2.4 LEGISLAÇÃO APLICÁVEL

O sentido visual humano necessita de luz para identificar tanto objetos quanto movimentos, e transmitir essa informação ao cérebro. A iluminação, seja ela natural, artificial ou uma combinação de ambas, tem papel importante em prover luz suficiente para que seja possível a correta percepção do ambiente que nos cerca. Portanto, uma iluminação adequada permite aos ocupantes de determinado ambiente, a realização de tarefas com precisão e segurança. Em contrapartida, a iluminação quando dimensionada de maneira inadequada pode causar danos à saúde e afetar a produtividade dos indivíduos que estão sob sua influência (DUTRA, LAMBERTS e PEREIRA, 2012). A fim de promover ambientes com iluminação corretamente dimensionada, órgãos brasileiros e internacionais publicaram diversas normas e leis que especificam os requisitos mínimos para o desenvolvimento de um sistema de iluminação eficiente e seguro.

2.4.1 NR-17 – Ergonomia

No Brasil, o Ministério do Trabalho estabeleceu uma série de Normas Regulamentadoras (NR) relativas à segurança e saúde do trabalhador. O cumprimento destas normas é de caráter obrigatório pelas instituições que possuam empregados sob a Consolidação das Leis do Trabalho (CLT). Sendo assim, estas normas aplicam-se a empresas privadas e públicas; órgãos públicos de administração direta e indireta; e órgãos dos Poderes Legislativo e Judiciário. O não cumprimento das disposições legais e regulamentares previstas nestas normas implicará ao empregador a aplicação de penalidades definidas na legislação pertinente.

Dentre as 36 Normas Regulamentadoras, destaca-se a NR17 relativa à Ergonomia. Esta Norma prevê, dentre outros aspectos de conforto, parâmetros de iluminação adequados aos locais de trabalho. O item 17.5.3. da NR17 (2007) exige que “em todos os locais de trabalho, deve haver iluminação adequada, natural ou artificial, geral ou suplementar, apropriada à natureza da atividade.” Tendo em vista que o trabalhador permanece a maior parte do seu dia em seu posto de trabalho, é imprescindível que este ambiente em específico possua níveis adequados de iluminância para evitar o desgaste visual e para que as tarefas sejam realizadas com segurança.

A norma demonstra ainda, como devem ser feitas as análises da iluminação para que estas exigências sejam atendidas. De acordo com a Secretaria de Inspeção do Trabalho (2002, p.44), deve-se verificar as condições de iluminamento primeiramente por uma fase exploratória. Essa fase compreende não só o levantamento das características técnicas da iluminação, das superfícies de trabalho e das superfícies do ambiente (teto, parede e piso), mas também a análise da atividade realizada naquele espaço, complementada por entrevistas com os trabalhadores e observação dos equipamentos utilizados para o desempenho daquela função, como computadores e máquinas perigosas.

Em seguida, deve-se ter conhecimento dos níveis mínimos de iluminamento citados no subitem 17.5.3.3 da NR17. Este subitem faz referência aos valores presentes na norma brasileira registrada no INMETRO, NBR 5413, norma esta que foi substituída pela NBR8995-1. Para a medição e verificação destes parâmetros

deve-se seguir as instruções previstas nos subitens 17.5.3.4 e 17.5.3.5. Estes subitens estabelecem a estratégia de medição onde a análise deve ser feita com o auxílio de um luxímetro com fotocélula corrigida para sensibilidade do olho humano em função do ângulo de incidência na superfície de trabalho ou num plano horizontal a 0,75m do piso.

Nota-se que a Norma aborda de forma generalista as condições de iluminância dos postos de trabalho, focando de forma incisiva apenas os níveis de iluminamento mínimos dispostos na NBR 5413, a qual foi substituída pela NBR 8995-1, de acordo com o tipo de atividade realizada no espaço analisado. É sabido que o iluminamento adequado não depende apenas da quantidade de fluxo luminoso incidente no plano de trabalho, mas também da refletância dos materiais, das dimensões do detalhe a ser observado ou detectado, do contraste com o fundo etc. A Secretaria de Inspeção do Trabalho (2002, p.45) afirma que, “ater-se apenas aos valores preconizados nas tabelas sem levar em conta as exigências da tarefa pode levar a projetos de iluminamento totalmente ineficazes.” Deve-se, portanto, considerar a busca conjunta de soluções para garantir ao trabalhador os níveis de iluminamento condizentes ao desempenho de suas tarefas, levando em consideração também o conforto visual.

2.4.2 NBR 8995-1 - Iluminação de ambientes de trabalho

Para garantir índices corretos de iluminância em projetos luminotécnicos, o Comitê Brasileiro de Eletricidade (ABNT/CB-03) juntamente com a Comissão de Estudo de Aplicações Luminotécnicas e Medições Fotométricas (CE-03:034.04) elaboraram a Norma Brasileira: “Iluminação de ambientes de trabalho Parte 1: Interior” (ABNT - NBR ISO/CIE 8995-1). Esta norma entrou em vigor no dia 21 de Abril de 2013, cancelando e substituindo a partir desta data as anteriores: ABNT NBR 5413:1992 e a ABNT NBR 5382:1985.

Assim como as normas anteriores, a NBR 8995 especifica os requisitos para iluminação em locais de trabalho internos a fim de garantir conforto e segurança aos frequentadores daquele espaço. Sendo assim, a iluminação deve proporcionar uma sensação de bem-estar aos ocupantes, caracterizada pelo conforto visual. Deve também promover um correto desempenho visual mantendo, portanto, os ocupantes

aptos a desempenhar suas tarefas visuais rápida e precisamente, mesmo durante longos períodos de tempo e sob circunstâncias adversas.

De acordo com a Norma 8995, a fim de satisfazer conforto, desempenho e segurança visual, é necessário que todos os parâmetros que contribuem para o ambiente luminoso sejam analisados, sendo os principais: distribuição da luminância; iluminância; ofuscamento; direcionalidade da luz; aspectos da cor da luz e superfícies; cintilação; luz natural e manutenção.

A NBR 8995 apresenta valores tabelados para a iluminância (E_m), índice limite de ofuscamento unificado (UGR_L) e o índice mínimo de reprodução de cor (R_a) de cada tipo de ambiente, tarefa ou atividade. De acordo com a NBR 8995, “a iluminância e sua distribuição nas áreas de trabalho e no entorno imediato têm um maior impacto em como uma pessoa percebe e realiza a tarefa visual de forma rápida, segura e confortável”. Deste modo, o plano de trabalho deve contar com o nível de iluminância mínimo indicado e deve possuir a maior uniformidade possível, ou seja, a razão entre o valor mínimo e médio de iluminância não deve ser menor que 0,7. Já o entorno imediato deve apresentar uniformidade igual ou superior a 0,5. Esta medida garante que a iluminância se altere de forma gradual, evitando pontos escuros ou contraste excessivo no ambiente, mitigando assim, a fadiga visual.

De acordo com a NBR 8995, estes níveis de iluminância tabelados levam em consideração as características de manutenção da lâmpada, da luminária, do ambiente e do programa de manutenção, onde não se recomenda que o fator de manutenção calculado seja inferior a 0,7.

O índice limite de ofuscamento unificado (UGR_L) refere-se ao valor máximo permitido do índice de ofuscamento unificado de acordo com o ambiente e tarefa realizada, onde os valores são adotados na escala 13-16-19-22-25-28 em que 13 representa o ofuscamento desconfortável menos perceptível. A NBR 8995 considera que “é importante limitar o ofuscamento aos usuários para prevenir erros, fadiga e acidentes”. Sendo assim, a norma sugere proteção contra visão direta às lâmpadas e o escurecimento das janelas por antepares, como brises, persianas etc.

O Índice de Ofuscamento Unificado (UGR) tabelado é obtido através do método tabular que considera as características fotométricas da luminária no ambiente analisado, as características das refletâncias das superfícies do ambiente e a proporção das dimensões do ambiente analisado e do espaçamento entre as luminárias instaladas. Este método tabular é baseado na Equação 6.

$$UGR = 8 \times \log \left[\frac{0,25}{L_b} \sum \frac{L^2 \omega}{p^2} \right] \quad (6)$$

Onde

- L_b é a luminância de fundo (cd/m^2);
- L é a luminância da parte luminosa de cada luminária na direção do olho do observador (cd/m^2);
- ω é o ângulo sólido da parte luminosa de cada luminária junto ao olho do observador (esferorradiano);
- p é o índice de posição Guth de cada luminária, individualmente relacionado ao seu deslocamento a partir da linha de visão;

De acordo com Kawasaki (2011), o método tabular compara o ambiente analisado a uma tabela padronizada que lista os valores UGR para 19 salas-padrão e diferentes combinações de refletância para a luminária selecionada. Os cálculos para estas salas-padrão são baseados no pressuposto de que os observadores estão posicionados no ponto médio de cada parede, observando longitudinalmente e transversalmente as luminárias ao longo dos eixos da sala.

O índice mínimo de reprodução de cor (R_a) define o valor mínimo aceitável de redução da qualidade da reprodução de cor de uma lâmpada. Este valor pode variar de 0 a 100, sendo que a NBR 8995 não recomenda a utilização de lâmpadas com R_a inferior a 80 em interiores onde as pessoas trabalham ou permanecem por longos períodos, independente da atividade realizada. Isto deve-se ao fato de que as cores devem ser reconhecíveis e claramente discriminadas para segurança do ocupante, de acordo com a ISO 3864.

2.4.3 NBR 15215 – Iluminação Natural

A Norma Brasileira 15215 foi promulgada com o objetivo de disponibilizar conceitos básicos, definições, procedimentos de cálculo e análise relacionados ao estudo de iluminação natural, de forma a, auxiliar profissionais envolvidos em projetos que tratem do assunto. Este documento permite que seja projetado um

ambiente que controla e aproveita melhor a luz natural disponível, maximizando suas vantagens e reduzindo suas desvantagens.

A norma é dividida em quatro partes, sendo a primeira relativa a termos gerais e conceitos básicos da iluminação natural; a segunda relativa a procedimentos de cálculo para estimativa da disponibilidade de luz natural; a terceira sobre procedimentos de cálculo para determinação da iluminação natural em ambientes internos e a quarta sobre procedimentos de medição para verificação da iluminação natural em ambientes internos.

A Norma determina, primeiramente, os parâmetros relativos à geometria solar. São eles: declinação, altura e azimute solar. Posteriormente, a Norma aborda a distribuição geral de luminâncias e a distribuição de iluminâncias para cada tipo de céu em planos verticais e horizontais. Para isto, a abóbada celeste é subdividida em diversas zonas, e cada zona possui um valor de luminância único. Sendo assim, quanto maior o número de zonas, maior a precisão atingida. A subdivisão empregada no método gráfico apresentado nesta Norma utiliza 220 zonas com variações angulares de altura e azimute múltiplas de 10°.

Atualmente, existem diversos softwares capazes de simular a distribuição dos raios solares em qualquer ponto do planeta através da utilização de parâmetros de latitude, longitude e características do céu, tornando muito mais viável a aplicação dos cálculos descritos nesta Norma.

2.4.4 PROCEL Edifica - Eficiência Energética em Edificações

O PROCEL Edifica é um programa nacional de eficiência energética em edificações instituído pela ELETROBRAS em 2003. O programa incentiva o uso eficiente dos recursos naturais e sua conservação, reduzindo portanto, os desperdícios e impactos ao meio ambiente. Para viabilizar a atuação do programa, os Ministérios de Minas e Energia, e das Cidades, assim como centros de pesquisa, universidades e o setor da construção civil trabalham em conjunto, promovendo manuais, palestras, pesquisas e auditorias de obras.

De acordo com o Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética (PROCEL Info, 2016), "o consumo de energia elétrica nas edificações corresponde a cerca de 45% do consumo faturado no país. Estima-se um potencial de redução

deste consumo em 50% para novas edificações e de 30% para aquelas que promoverem reformas que contemplem os conceitos de eficiência energética em edificações." Sendo assim, para a divulgação e ensinamento destes conceitos, o PROCEL Edifica atua em 6 vertentes: Capacitação, Tecnologia, Disseminação, Regulamentação, Habitação e Eficiência Energética e Planejamento.

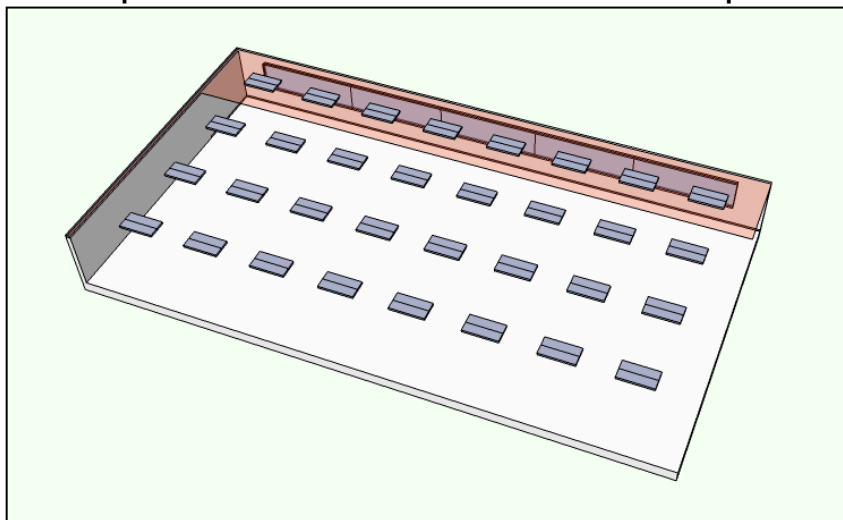
Dentre as ações do Programa, destaca-se a criação do Selo Procel Edificações, estabelecido em Novembro de 2014. De acordo com Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética (PROCEL Info, 2016), o selo é um instrumento de adesão voluntária que tem por objetivo principal identificar as edificações que apresentem as melhores classificações de eficiência energética, motivando assim, o mercado consumidor a adquirir e utilizar imóveis mais eficientes.

O método de avaliação dos critérios em conformidade com Selo está descrito no Regulamento para Concessão do Selo Procel de Economia de Energia para Edificações, bem como nos Critérios Técnicos específicos e baseiam-se no Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética em Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) e no Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética em Edificações Residenciais (RTQ-R) do Programa Brasileiro de Edificações – PBE Edifica. Nos edifícios comerciais, de serviços e públicos são avaliados os sistemas de envoltória, iluminação e condicionamento de ar, enquanto que nas unidades habitacionais avalia-se envoltória e o sistema de aquecimento de água.

Para classificação do sistema de iluminação especificamente são considerados quatro requisitos principais: divisão dos circuitos, contribuição da luz natural, desligamento automático do sistema de iluminação e limite de potência de iluminação.

De acordo com o Manual para Aplicação do RTQ-C (p. 121, 2013), "cada ambiente deve possuir no mínimo um dispositivo de controle manual que permita acionamento independente da iluminação interna do ambiente com facilidade". E ainda, quando houver ambientes com abertura(s) voltada(s) para ambientes externos, átrios não cobertos ou coberturas translúcidas, e estes possuírem mais de uma fileira de luminárias paralelas, deve haver um controle de desligamento independente para as luminárias próximas às janelas, conforme Figura 16. Desta forma, os ocupantes podem ajustar a iluminação às suas necessidades próprias e reduzir o consumo de energia.

Figura 16 - Exemplos de circuitos com controle de acionamento perto das janelas.



Fonte: Manual RTQ-C (2013)

Além disso, para ambientes internos maiores que 250 m², o Regulamento Técnico da Qualidade (2013), prevê que deverá existir um dispositivo de desligamento automático do sistema de iluminação. Este dispositivo poderá realizar o desligamento em horários pré-determinados, ou utilizando-se de sensores de presença que desliguem a iluminação 30 minutos após a não detecção de ocupantes ou ainda através do acionamento de outro controle ou sistema de alarme que indique que o ambiente está desocupado.

Para determinação dos limites de potência da iluminação interna existem dois métodos possíveis: da área do edifício ou das atividades do edifício. De acordo com o Regulamento Técnico da Qualidade (2013), o método da área do edifício identifica a atividade principal da edificação avaliada e sua respectiva densidade de potência de iluminação limite (DPI_L - W/m²) para cada nível de eficiência.

Em seguida determina-se as áreas iluminadas que compõem o edifício, e multiplica-se a área por sua respectiva DPI_L, resultando na potência limite do edifício. Para avaliação do nível de eficiência do sistema de iluminação, compara-se a potência limite calculada à potência real instalada do edifício. Deve-se ressaltar que este método é aplicável apenas a edificações que são caracterizadas por no máximo três atividades principais, e desta forma, a potência limite do edifício como um todo será a soma das potências limites para cada atividade do edifício.

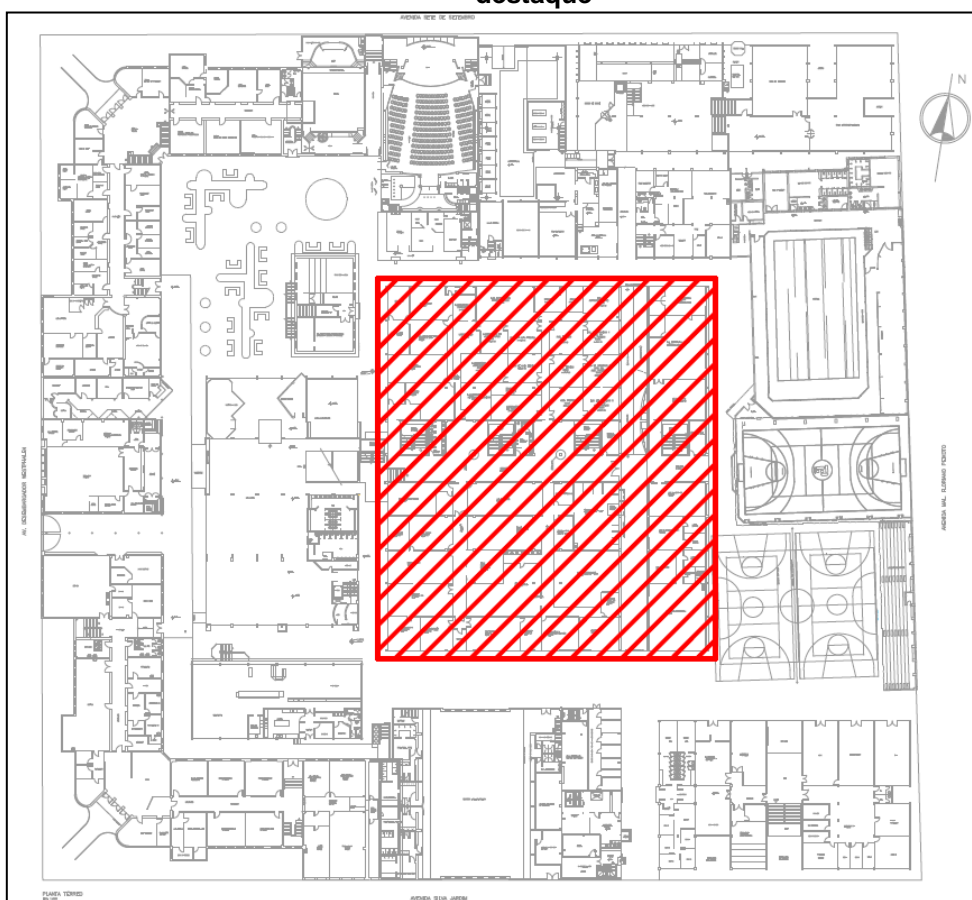
No caso de uma edificação com uma diversidade maior de atividades por ambiente, deve-se optar pelo método das atividades do edifício. Este método avalia separadamente cada ambiente iluminado e sua respectiva atividade, atribuindo a cada área iluminada uma densidade de potência da iluminação limite (DPI_L) específica para a atividade. De forma análoga, deve-se multiplicar as respectivas DPI_L por suas áreas correspondentes, e somar todos os resultados encontrados para obter a potência limite do edifício. Comparando-se a potência calculada com a potência real instalada, é possível identificar o nível de eficiência da edificação.

Para atestar o nível de eficiência da edificação e realizar os cálculos e testes, é necessário um Organismo de Inspeção Acreditado (OIA) pelo Inmetro. Este órgão é responsável por realizar a avaliação do edifício e categorizar seu nível de eficiência, para então o Selo ser emitido pela Eletrobrás.

3 CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

O estudo foi realizado na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Curitiba na Sede Centro. A instituição conta com diversos prédios que são divididos em blocos para facilitar o mapeamento e deslocamento pela unidade. As análises relacionadas à iluminação natural e artificial foram feitas em quatro salas de aula dos blocos A, B, C e D, conforme Figura 17.

Figura 17 - Planta geral da UTFPR Câmpus Curitiba Sede Centro - blocos A, B,C e D em destaque

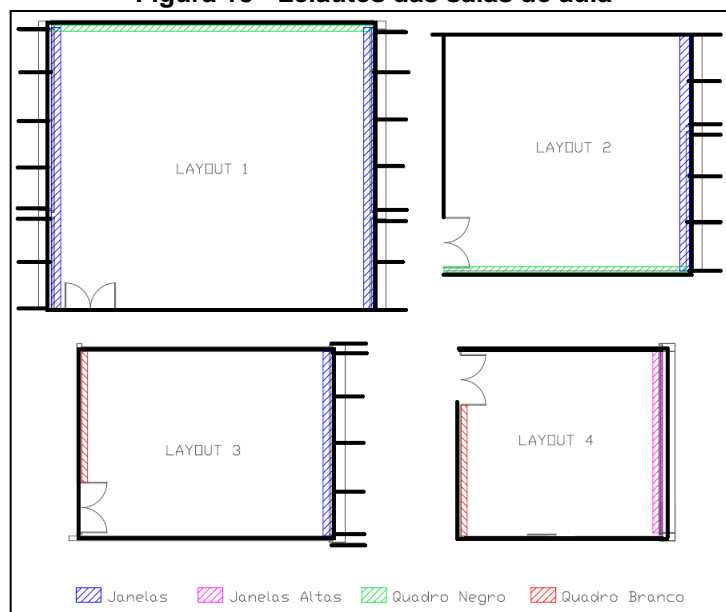


Fonte: Autoria Própria (2017)

Os blocos A, B, C e D fazem parte do mesmo prédio e possuem além do andar térreo, outros três andares. Os pavimentos possuem basicamente o mesmo leiaute formado por um corredor amplo central, e salas de aula adjacentes que podem ser acessadas através de corredores secundários.

As salas de aula possuem basicamente quatro leiautes característicos, conforme Figura 18.

Figura 18 - Leiautes das salas de aula



Fonte: Autoria Própria (2017)

O "leiaute 1" será atribuído às salas localizadas no final dos corredores, estes ambientes apresentam janelas nas suas duas fachadas laterais, conforme Figura 19. Este leiaute será representado pela análise da Sala A – 101.

Figura 19 - Sala A-101 - leiaute 1



Fonte: Autoria Própria (2017)

Dentre as demais salas de aula dos blocos A, B e C, em sua maioria possuem o "*leiaute 2*", onde temos uma sala menor, com apenas uma das fachadas laterais com janelas, conforme Figura 20. Este leiaute será representado pela análise da Sala A – 102.

Figura 20 - Sala A-102 - leiaute 2



Fonte: Autoria Própria (2017)

Já algumas salas dos blocos B e D no primeiro pavimento, apresentam o "*leiaute 3*", onde as janelas estão localizadas ao fundo. Este leiaute será representado pela análise da Sala D – 105, conforme Figura 21.

Figura 21 - Sala D-105 – leiaute 3



Fonte: Autoria Própria (2017)

Destaca-se também a possibilidade de aproveitamento de luz natural em algumas salas do Bloco C Térreo, que apresentam o “*leiaute 4*,” onde os ambientes possuem maior pé-direito e janelas na parte superior. Este leiaute será representado pela análise da Sala C – 003, conforme Figura 22.

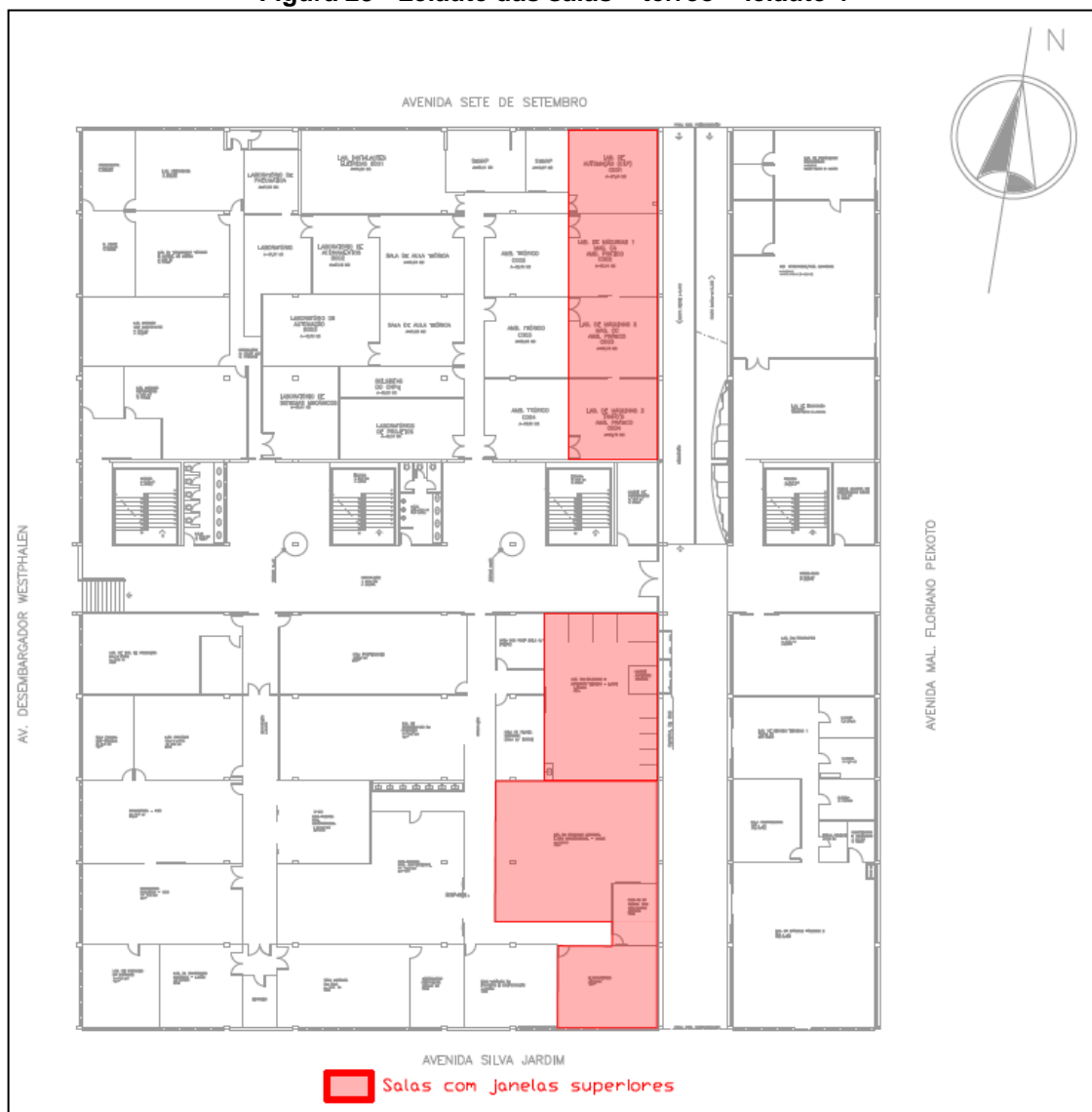
Figura 22 – Sala C-003 - leiaute 4



Fonte: Autoria Própria (2017)

A distribuição dos tipos de Leiautes de Salas no Edifício dos blocos A, B, C e D, pode ser observada nas plantas apresentadas nas Figuras 23, 24, 25 e 26.

Figura 23 - Leiaute das salas – térreo – leiaute 4



Fonte: Autoria Própria (2017)

Figura 24 - Leiaute das salas – 1º Pav.



Fonte: Autoria Própria (2017)

Figura 25 - Leiaute das salas – 2º Pav.



Fonte: Autoria Própria (2017)

Figura 26 - Leiaute das salas – 3º Pav.



Fonte: Autoria Própria (2017)

3.1.1 Dimensões e Orientação

Com o auxílio de uma trena milimetrada, foram levantadas todas as dimensões relevantes ao estudo da iluminação nos ambientes. Os dados resumidos podem ser observados na Tabela 1.

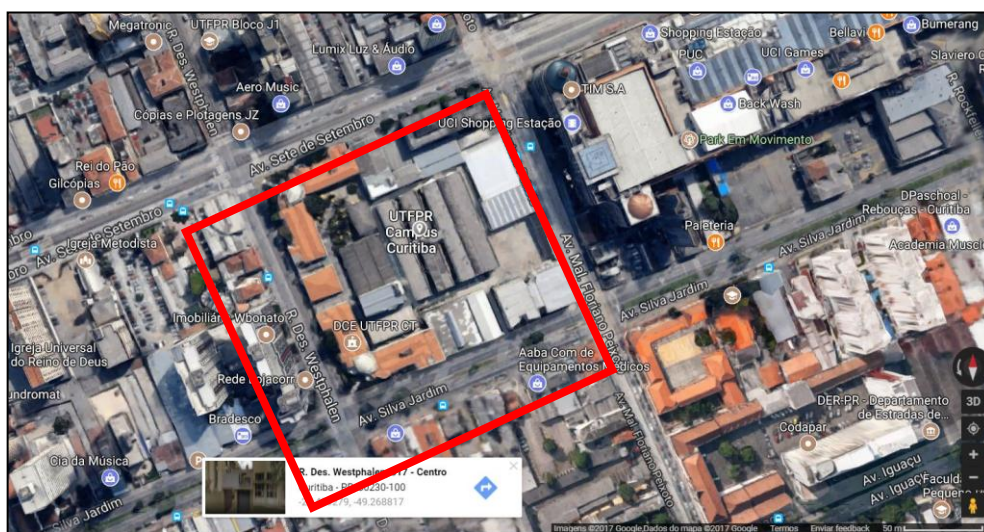
Tabela 1 - Dimensões das salas em estudo

Ambiente	Comprimento (m)	Largura (m)	Altura do chão à luminária (m)	Altura do Plano de Trabalho à luminária (m)
A - 101	8,9	10,2	2,8	2,0
A - 102	7,4	7,7	2,8	2,0
D - 105	7,9	5,8	2,6	1,8
C - 003	12,3	5,8	3,8	3,0

Fonte: Autoria Própria (2017)

Através de imagens de geosatélite disponíveis online, tem-se que o prédio está localizado na latitude $-25,44^\circ$ e longitude $-49,27^\circ$, orientado 15° à noroeste, conforme Figura 27.

Figura 27 - Imagem de geosatélite – localização e orientação



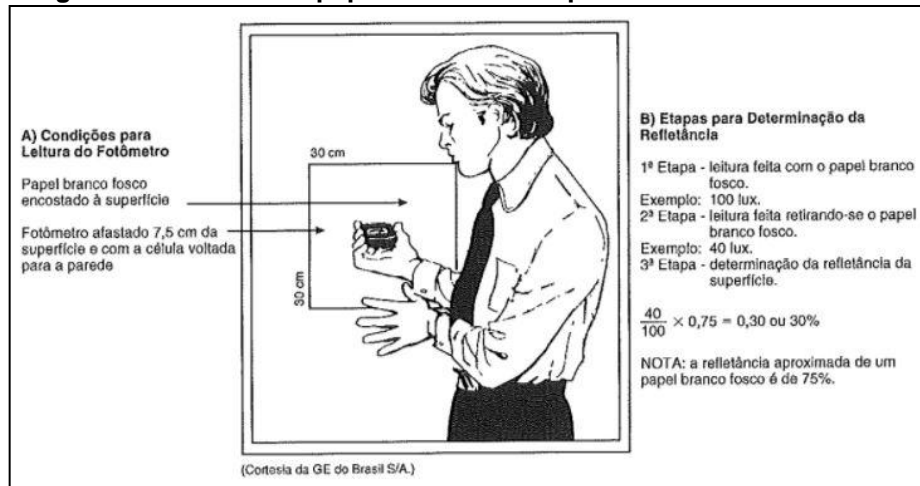
Fonte: Google Maps (2017)

3.1.2 Refletâncias

Para medir as refletâncias aproximadas das superfícies das salas em estudo, foi considerado o “Método do papel branco fosco”, de acordo com Creder (2007), deve-se posicionar uma folha de ofício branco, fosca, na superfície que se quer medir a refletância, e com o auxílio de um luxímetro, posicionado a 7,5cm da

superfície deve-se medir a iluminância com a folha e sem a folha, conforme Figura 28.

Figura 28 - Método do papel branco fosco para determinar refletância



Fonte: CREDER (2007)

Assim, faz-se o cálculo comparativo, conforme a Equação 7, sabendo que a refletância aproximada de um papel branco fosco é de 75%.

$$\rho = \frac{E_{sem\ papel}}{E_{com\ papel}} \times 0,75 \quad (7)$$

Onde,

ρ é a refletância aproximada da superfície;

$E_{sem\ papel}$ é a iluminância medida da superfície sem o papel branco fosco

$E_{com\ papel}$ é a iluminância medida da superfície com o papel branco fosco

Além disso, a NBR 8995-1 estabelece que as refletâncias das superfícies internas dos cômodos de trabalho estejam entre:

- Piso: 10 e 50%
- Parede: 30 e 80%
- Teto: 60 e 90%
- Plano de trabalho: 20 e 60%

Sendo assim, tendo em vista que as salas de aula possuem os mesmos materiais de revestimento das superfícies, foram medidas as refletâncias do teto, piso, parede, mesa e quadro negro da sala A-101, e seus valores serão

considerados para as demais salas, com exceção do piso e quadro branco da sala C-003, cujas refletâncias foram medidas separadamente. As refletâncias medidas são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Refletâncias Aproximadas das Superfícies

Superfície	Iluminância sem o papel (lux)	Iluminância com o papel (lux)	Refletância aproximada
Piso vinílico	311	728	32%
Parede	478	551	65%
Teto	756	859	66%
Mesa	568	734	58%
Quadro negro	212	836	19%
Piso madeira	214	668	24%
Quadro branco	583	741	59%

Fonte: Autoria Própria (2017)

3.1.3 Fator de Manutenção

Os ambientes em estudo podem ser classificados como "Salas de aulas noturnas, classes e educação de adultos" presente no tópico 28 (Construções educacionais) da Tabela apresentada no Anexo 1. Esta tabela pertence à NBR 8995-1, onde são estabelecidos os níveis mínimos de iluminância mantida, limite de ofuscamento unificado e índice de reprodução de cor, de acordo com o ambiente, tarefa ou atividade da área analisada. Sendo assim, temos que as salas de aula em análise devem apresentar iluminância mantida mínima de 500 lux, UGR_L de 19 e R_a de 80. Ainda neste tópico, é descrito que quadros negros devem também apresentar estes mesmos valores especificados.

Considerando que a Norma 8995-1, prevê um valor de iluminância mantida e não instantânea, é necessário levar em consideração a manutenção do sistema de iluminação do ambiente. Para isso, é possível determinar o fator de manutenção (MF) do ambiente. De acordo com a Norma 8995-1(2013), o fator de manutenção é um múltiplo de fatores, determinado pela Equação 8.

$$MF = FMFL \times FSL \times FML \times FMSS \quad (8)$$

Onde:

FMFL - Fator de manutenção do fluxo luminoso considera a depreciação do fluxo luminoso da lâmpada;

FSL - Fator de sobrevivência da lâmpada considera o efeito de falha por envelhecimento da lâmpada;

FML - Fator de manutenção da luminária considera os efeitos de redução do fluxo luminoso devido ao acúmulo de sujeira nas luminárias;

FMSS - Fator de manutenção das superfícies da sala considera a redução da refletância devido à deposição de sujeira nas superfícies da sala;

Considerando as características dos ambientes analisados, será assumido o fator de manutenção de referência para sistemas de iluminação de interiores com lâmpadas fluorescentes presente na Norma 8995-1. Sendo assim, temos um fator de manutenção de 0,67, que segundo a NBR 8995-1(2013) refere-se a um ambiente com carga de poluição normal, ciclo de manutenção de três anos, 2.000 h/ano de vida até a queima com substituição da lâmpada a cada 12.000h, substituição individual, luminárias com uma tendência normal de coleta de poeira, FMFL=0,91; FSL=1; FML=0,80; FMSS=0,90.

3.1.4 Lâmpadas

Para o estudo da iluminação artificial, foram coletadas todas as quantidades e potências elétricas das lâmpadas utilizadas nos ambientes analisados. Este levantamento foi realizado nos dias 15, 16 e 17 de Agosto de 2016 podendo, portanto, sofrer alterações à medida que as lâmpadas forem substituídas. Os dados adquiridos das salas em destaque para o estudo podem ser observados na Tabela 3.

Tabela 3 - Quantidade de lâmpadas e tipos de instalação

Local	Qtd de lâmpadas			Tipo de instalação			
	32W	58W	65W	Lâmpadas por luminária	Embutida no forro	Sobreposta	Em Perfilado
A-101		12	24	1		X	
A-102		5	15	1		X	
D-105	16			1			X
C-003	36			2	X		

Fonte: Autoria Própria (2017)

Todas as lâmpadas registradas para as salas de aula, escadas e corredores são do tipo tubular fluorescente. Na maioria dos casos a leitura do fabricante da lâmpada tornou-se inviável devido ao estado de conservação da marca impressa no equipamento ou seu posicionamento. Todavia, das lâmpadas coletadas, é possível destacar os modelos OSRAM Lumilux T8 58W, Sylvania T12 65W e Sylvania T8 32W. A ficha técnica completa destas lâmpadas encontram-se no Anexo 2.

3.1.5 Controles da iluminação

Toda iluminação artificial dos blocos é comandada através de interruptores manuais simples e/ou paralelos de duas ou mais teclas, permitindo acionamento de no máximo quatro retornos distintos, conforme Figura 29.

Figura 29 – Interruptor bloco A



Fonte: Aatoria Própria (2017)

3.1.6 Luminárias

Não foi possível identificar o fabricante das luminárias utilizadas nas salas de aula, entretanto, é possível afirmar que as luminárias utilizadas nas salas A-101, A-102 e D-105 são de sobrepôr modelo similar a TMS028 da Philips, conforme Figura 30.

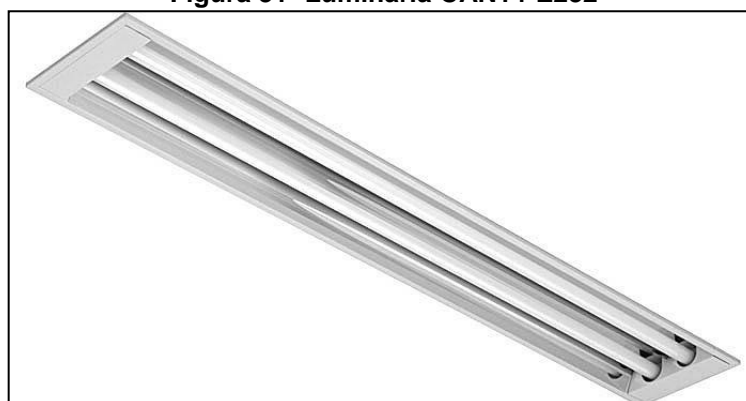
Figura 30 - Luminária TMS028

Fonte: Philips (2016)

Para as salas A-101 e A-102 serão consideradas as luminárias TMS028 1xTL-D58W cuja lâmpada associada esta luminária apresentaria fluxo luminoso de 3811lm, conforme ficha técnica apresentada no Anexo 3.

Para a sala D-105 serão consideradas as luminárias TMS028 1xTL-D36W cuja lâmpada associada esta luminária apresentaria fluxo luminoso de 2438lm, conforme ficha técnica apresentado no Anexo 3.

Para a sala C-003, serão consideradas as luminárias similares ao modelo CAN14-E232 da Lumicenter, conforme Figura 31.

Figura 31- Luminária CAN14-E232

Fonte: Lumicenter (2016)

De acordo com os dados do catálogo Lumicenter Linha Comercial T8 (2016), estas luminárias suportam 2 lâmpadas de 32, 36 ou 40W, e seu rendimento aproximado é de 84%, conforme Figura 32. Para fins de cálculo do estudo de caso, será considerada a luminária CAN14 – E232 com lâmpadas T8 Sylvania 32W.

Figura 32 - Especificações Técnicas Luminária CAN14-E

Código	Acessórios/Opcional	Lâmpada	Rendimento	IP	Garantia	Medida A(mm)	Medida B (mm)	Medida C (mm)	Nicho (mm)
CAN14-E116		1x16W-T8	84%	20	2 anos	130	47	633	114x617
CAN14-E132		1x32W-T8	84%	20	2 anos	130	47	1243	114x1227
CAN14-E2110		2x110W-T12	84%	20	2 anos	235	62	2493	215x2437
CAN14-E216	VIG	2x16W-T8	84%	20	2 anos	200	47	633	184x617
CAN14-E232	VIG	2x32W-T8	84%	20	2 anos	200	47	1243	184x1227

Fonte: Lumicenter (2016)

3.1.7 Horário de Funcionamento e Consumo Energético

O mapa de salas que serão utilizadas para apresentação de aulas varia semestralmente. Com exceção de alguns laboratórios de acesso restrito, todas as salas podem ser utilizadas em qualquer horário, dentro do período das 7h30 da manhã até às 23 horas da noite, sendo pré-estabelecidos alguns intervalos de 20 minutos entre as aulas. Sendo assim, temos uma utilização média diária de 5 horas no período da manhã, 5 horas no período da tarde e 4 horas e 10 minutos no período da noite, conforme Tabela 4.

Tabela 4 – Horários das Aulas UTFPR 2017

Período	Início	Término	Duração	Total
M1	07:30	08:20	00:50	05:00
M2	08:20	09:10	00:50	
M3	09:10	10:00	00:50	
M4	10:20	11:10	00:50	
M5	11:10	12:00	00:50	
M6	12:00	12:50	00:50	
T1	13:00	13:50	00:50	05:00
T2	13:50	14:40	00:50	
T3	14:40	15:30	00:50	
T4	15:50	16:40	00:50	
T5	16:40	17:30	00:50	
T6	17:50	18:40	00:50	
N1	18:40	19:30	00:50	04:10
N2	19:30	20:20	00:50	
N3	20:20	21:10	00:50	
N4	21:20	22:10	00:50	
N5	22:10	23:00	00:50	

Fonte: Autoria Própria (2017)

Para estimar o consumo energético da iluminação, será considerado o mapa de salas utilizado no segundo semestre letivo de 2017, onde as salas foram ocupadas conforme Figuras 33, 34, 35 e 36.

Figura 33 – Horários de utilização sala A-101

Período	Início	Término	SEG	TER	QUAR	QUI	SEX
M1	07:30	08:20		A-101			A-101
M2	08:20	09:10		A-101	A-101	A-101	A-101
M3	09:10	10:00	A-101	A-101	A-101	A-101	
M4	10:20	11:10	A-101	A-101	A-101		A-101
M5	11:10	12:00	A-101	A-101	A-101	A-101	A-101
M6	12:00	12:50	A-101	A-101		A-101	
T1	13:00	13:50	A-101	A-101	A-101	A-101	A-101
T2	13:50	14:40	A-101	A-101	A-101		A-101
T3	14:40	15:30		A-101			A-101
T4	15:50	16:40	A-101	A-101	A-101	A-101	A-101
T5	16:40	17:30	A-101	A-101	A-101	A-101	A-101
T6	17:50	18:40		A-101	A-101	A-101	A-101
N1	18:40	19:30		A-101	A-101		A-101
N2	19:30	20:20			A-101		
N3	20:20	21:10			A-101		
N4	21:20	22:10			A-101		
N5	22:10	23:00			A-101		

Fonte: Autoria Própria (2017)

Figura 34 – Horários de utilização sala A-102

Período	Início	Término	SEG	TER	QUAR	QUI	SEX
M1	07:30	08:20	A-102	A-102	A-102	A-102	A-102
M2	08:20	09:10	A-102	A-102	A-102	A-102	A-102
M3	09:10	10:00	A-102	A-102	A-102		A-102
M4	10:20	11:10	A-102	A-102	A-102	A-102	A-102
M5	11:10	12:00	A-102	A-102	A-102	A-102	A-102
M6	12:00	12:50		A-102	A-102		A-102
T1	13:00	13:50		A-102			
T2	13:50	14:40	A-102	A-102	A-102	A-102	
T3	14:40	15:30	A-102	A-102	A-102	A-102	
T4	15:50	16:40	A-102	A-102		A-102	A-102
T5	16:40	17:30	A-102	A-102		A-102	A-102
T6	17:50	18:40	A-102	A-102	A-102	A-102	A-102
N1	18:40	19:30	A-102	A-102	A-102	A-102	A-102
N2	19:30	20:20	A-102	A-102	A-102	A-102	A-102
N3	20:20	21:10		A-102		A-102	A-102
N4	21:20	22:10	A-102			A-102	
N5	22:10	23:00	A-102			A-102	

Fonte: Autoria Própria (2017)

Figura 35 – Horários de utilização sala D-105

Período	Início	Término	SEG	TER	QUAR	QUI	SEX
M1	07:30	08:20			D-105		
M2	08:20	09:10			D-105		
M3	09:10	10:00			D-105		
M4	10:20	11:10			D-105		
M5	11:10	12:00					
M6	12:00	12:50					
T1	13:00	13:50				D-105	
T2	13:50	14:40				D-105	
T3	14:40	15:30	D-105			D-105	
T4	15:50	16:40	D-105			D-105	
T5	16:40	17:30	D-105				
T6	17:50	18:40	D-105	D-105			
N1	18:40	19:30		D-105	D-105		
N2	19:30	20:20	D-105	D-105	D-105	D-105	
N3	20:20	21:10	D-105	D-105		D-105	
N4	21:20	22:10	D-105	D-105		D-105	D-105
N5	22:10	23:00	D-105	D-105		D-105	D-105

Fonte: Autoria Própria (2017)

Figura 36 – Horários de utilização sala C-003

Período	Início	Término	SEG	TER	QUAR	QUI	SEX
M1	07:30	08:20			C-003		C-003
M2	08:20	09:10			C-003		C-003
M3	09:10	10:00			C-003		C-003
M4	10:20	11:10			C-003		C-003
M5	11:10	12:00					
M6	12:00	12:50					
T1	13:00	13:50					
T2	13:50	14:40					C-003
T3	14:40	15:30					C-003
T4	15:50	16:40					C-003
T5	16:40	17:30					C-003
T6	17:50	18:40					
N1	18:40	19:30		C-003			C-003
N2	19:30	20:20	C-003	C-003		C-003	C-003
N3	20:20	21:10	C-003	C-003		C-003	C-003
N4	21:20	22:10		C-003		C-003	C-003
N5	22:10	23:00		C-003		C-003	C-003

Fonte: Autoria Própria (2017)

Em resumo, temos uma utilização mensal em horas, considerando-se 4 semanas no mês, conforme Tabela 5.

Tabela 5 - Horas de ocupação mensal

Sala	Manhã	Tarde	Noite	Total
A-101	73,33	83,33	20,00	176,67
A-102	90,00	73,33	56,67	220,00
D-105	13,33	30,00	56,67	100,00
C-003	26,67	13,33	53,33	93,33

Fonte: Autoria Própria (2017)

Conforme observado nas apresentações das aulas e nas medições realizadas para iluminação natural neste estudo, nota-se que as salas não oferecem um controle de ofuscamento eficiente que permita a penetração de luz natural sem causar desconfortos. Sendo assim, os ocupantes optam por fechar as cortinas e acender as luzes, independente do período de utilização das salas. Com isso, multiplicando-se as horas de ocupação mensal das salas por suas respectivas potências instaladas da iluminação, temos o consumo mensal médio de cada sala por período, conforme Tabela 6.

Tabela 6 - Consumo energético mensal médio

Ambiente	Potência Instalada (W)	Consumo (kWh)			Consumo Total (kWh)
		Manhã	Tarde	Noite	
A-101	2256	165,440	188,000	45,120	398,560
A-102	1265	113,850	92,767	71,683	278,300
D-105	512	6,827	15,360	29,013	51,200
C-003	1152	30,720	15,360	61,440	107,520

Fonte: Autoria Própria (2017)

De acordo com a tabela tarifária da COPEL vigente em Junho de 2017, a Universidade Tecnológica Federal do Paraná enquadra-se na Tarifa Horossazonal Verde, cuja tarifa com impostos na ponta é de R\$0,3691/kWh e de R\$0,23881/kWh fora da ponta. Sendo assim, os custos mensais médios com iluminação por sala, podem ser observados na Tabela 7, onde o horário de ponta é considerado das 18h às 21h.

Tabela 7 – Custo Energético Médio Mensal

Sala	Ponta	Fora da Ponta	Total
A-101	R\$ 24,98	R\$ 79,02	R\$ 104,00
A-102	R\$ 28,01	R\$ 48,34	R\$ 76,35
D-105	R\$ 6,93	R\$ 7,74	R\$ 14,67
C-003	R\$ 14,17	R\$ 16,51	R\$ 30,68

Fonte: Autoria Própria (2017)

3.1.8 Iluminância – Iluminação Artificial

A Norma Brasileira de iluminação em vigor 8995-1 (ABNT, 2013) estabelece de forma geral que as medições e verificações devem ser feitas nas áreas pertinentes e repetidamente em pontos específicos. O tamanho da malha de cálculo é definido através da Equação 9.

$$p = 0,2 \times 5^{\log_{10} d} \quad (9)$$

Sendo,

p o tamanho da malha em metros;

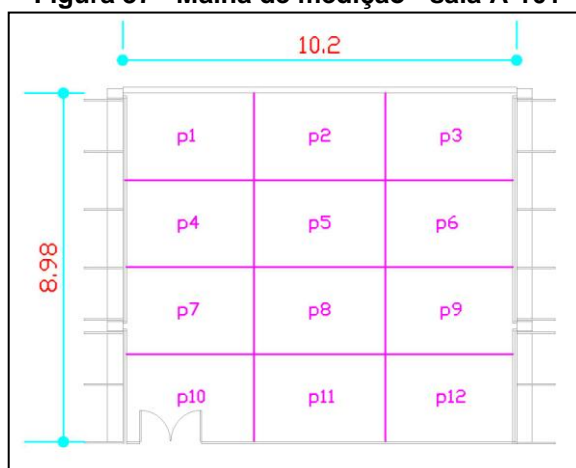
d a maior dimensão do ambiente de referência em metros.

O número de pontos de medição é estabelecido pela relação d para p. Assim, a malha de cálculo é subdividida em retângulos com pontos de medição centrais, conforme Tabela 8. Para melhor adequação à geometria do ambiente, sugerem-se alguns arredondamentos, ocasionando no conjunto de pontos de medição distribuídos conforme Figuras 37, 38, 39 e 40.

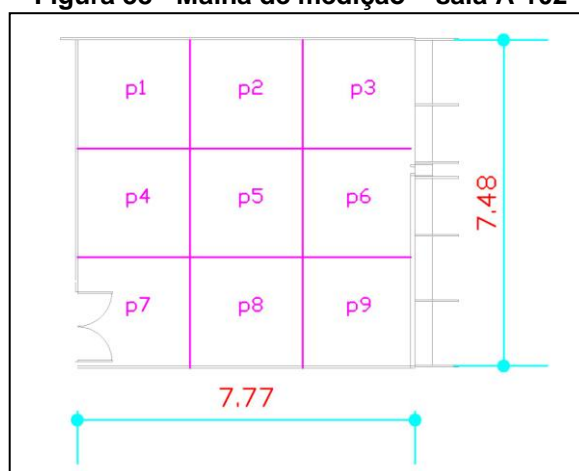
Tabela 8 - Parâmetros de cálculo da malha de medição

Sala	Leiaute	d (m)	p	d/p	Número de Pontos
A-101	1	10,2	1,013938	10,05978988	12
A-102	2	7,8	0,840577	9,279343225	9
D-105	3	7,9	0,848095	9,314996236	9
C-003	4	12,3	1,155689	10,643	12

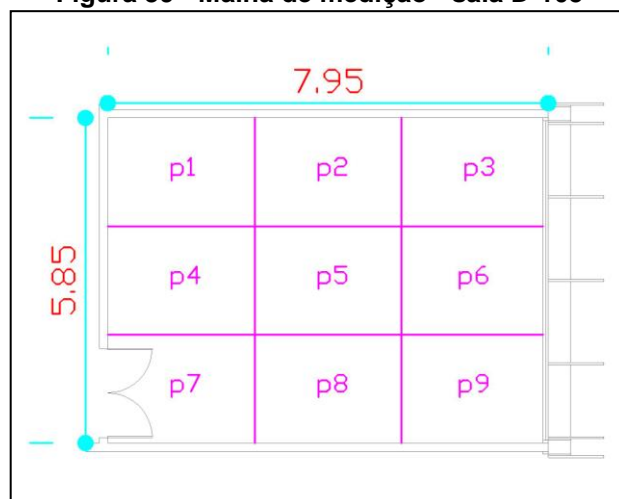
Fonte: Autoria Própria (2017)

Figura 37 - Malha de medição - sala A-101

Fonte: Autoria Própria (2017)

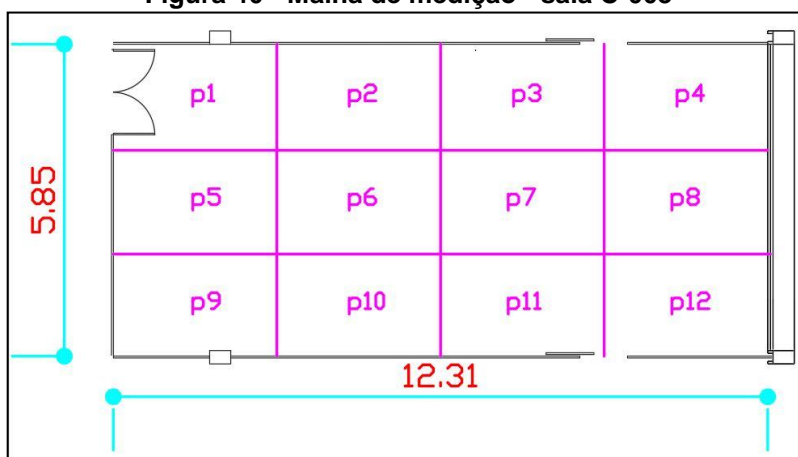
Figura 38 - Malha de medição – sala A-102

Fonte: Autoria Própria (2017)

Figura 39 - Malha de medição - sala D-105

Fonte: Autoria Própria (2017)

Figura 40 - Malha de medição - sala C-003



Fonte: Autoria Própria (2017)

As medições foram realizadas no dia 16 de Junho de 2016 às 20h com todas as luzes acesas e cortinas fechadas. O aparelho utilizado para medição foi um luxímetro digital modelo MLM-1011 da marca Minipa, conforme Figura 41.

Figura 41 - Luxímetro MLM-1011



Fonte: Tecnoferramentas (2017)

De acordo com Brevigliero, Possebom e Spinelli (2009), o luxímetro é o aparelho utilizado para medição de iluminância. Trata-se de um aparelho constituído por um mini amperímetro ligado a uma célula fotoelétrica. Quando a luz incide sobre a fotocélula, gera-se uma corrente que carrega positivamente o semicondutor da célula, enquanto a parte metálica do sensor fica carregada negativamente, gerando assim uma diferença de potencial. Essa corrente é então lida pelo aparelho e convertida para o valor equivalente em lux nos luxímetros digitais ou através de uma escala graduada nos luxímetros analógicos.

Foram realizadas três medições para cada ponto, onde antes de iniciar as medições, o luxímetro foi exposto por aproximadamente 10 minutos ao ambiente para que as fotocélulas pudessem se estabilizar. A média aritmética dos três valores de medição, aferidos por ponto, estão presente na Tabela 9.

Tabela 9 - Medições de lux da iluminação artificial

Sala	Ponto	Lux
A-101	p1	441
	p2	675
	p3	250*
	p4	450
	p5	737
	p6	590
	p7	459
	p8	670
	p9	477
	p10	460
	p11	555
	p12	511
A-102	p1	480
	p2	570
	p3	417
	p4	652
	p5	676
	p6	380
	p7	411
	p8	520
	p9	401
D-105	p1	498
	p2	502
	p3	558
	p4	445
	p5	678
	p6	786
	p7	456
	p8	783
	p9	563

C-003	p1	421
	p2	554
	p3	562
	p4	407
	p5	502
	p6	551
	p7	440
	p8	589
	p9	543
	p10	552
	p11	568
	p12	427

* Lâmpada queimada.

Fonte: Autoria Própria (2017)

Em todas as salas analisadas observou-se o mau funcionamento de diversas lâmpadas. A baixa emissão de fluxo luminoso e o fenômeno de cintilação (efeito “flicker”) foram recorrentes. Além disso, na sala A-101 foram observadas lâmpadas queimadas. Estes fatores implicaram na medição de níveis de lux mais baixos do que o esperado para as especificações técnicas dos equipamentos instalados.

3.1.9 Iluminância – Iluminação Natural

Utilizando-se os mesmos parâmetros para determinação de pontos de medição da iluminação artificial, foram aferidas as medições de iluminação natural nos dias 16 de Junho de 2016 e 18 de Novembro de 2016, às 10 horas da manhã e às 15h30 horas da tarde, representando períodos de posicionamento mais elevado e mais baixo do Sol, nas estações extremas do ano (verão e inverno). As medições no período da manhã e tarde ocorreram com todas as luzes apagadas e cortinas abertas a fim de mensurar a iluminância fornecida pela fonte de luz natural. A média aritmética dos três valores de medição, aferidos por ponto, estão presente nas Tabelas 10 e 11.

Tabela 10 - Medições aferidas com luxímetro no dia 16 de Junho de 2016

		Illum. Natural (lux)	
Sala	Ponto	Manhã	Tarde
A-101	p1	75689	83500
	p2	65789	53000
	p3	4500	3200
	p4	76559	77300
	p5	455	361
	p6	3897	2910
	p7	67890	63600
	p8	245	252
	p9	3940	2810
	p10	72453	68500
	p11	54789	52100
	p12	3456	2630
A-102	p1	36	57
	p2	1022	1009
	p3	2520	2450
	p4	46	74
	p5	62	115
	p6	802	2213
	p7	77	92
	p8	495	876
	p9	921	1970
D-105	p1	80	35
	p2	138	67
	p3	546	102
	p4	95	56
	p5	231	89
	p6	755	120
	p7	102	45
	p8	342	78
	p9	890	138
C-003	p1	899	356
	p2	905	343
	p3	1909	556
	p4	4493	235
	p5	923	546
	p6	1220	657
	p7	2223	456
	p8	4321	876
	p9	892	1258
	p10	1054	543
	p11	2311	1235
	p12	4521	2234

Fonte: Autoria Própria (2017)

Tabela 11 - Medições aferidas com luxímetro no dia 18 de Novembro de 2016

Sala	Ponto	Illum. Natural (lux)	
		Manhã	Tarde
A-101	p1	77829	83500
	p2	88799	53000
	p3	9837	3200
	p4	78922	77300
	p5	456	361
	p6	3567	2910
	p7	57890	63600
	p8	459	252
	p9	4567	2810
	p10	55667	68500
	p11	44332	52100
	p12	3456	2630
A-102	p1	36	57
	p2	1022	1009
	p3	2520	2450
	p4	46	74
	p5	62	115
	p6	802	2213
	p7	77	92
	p8	495	876
	p9	921	1970
D-105	p1	467	254
	p2	1265	678
	p3	4567	1895
	p4	673	376
	p5	2783	879
	p6	5687	2109
	p7	678	356
	p8	2783	997
	p9	5674	2788
C-003	p1	345	578
	p2	564	678
	p3	1092	985
	p4	2463	4571
	p5	678	578
	p6	1892	1900
	p7	3451	4561
	p8	6782	6783
	p9	1234	2123
	p10	2341	3456
	p11	2345	4215
	p12	4567	4679

Fonte: Autoria Própria (2017)

3.1.10 Uniformidade da Iluminação Artificial

De acordo com as medições apresentadas na seção 3.1.8, é possível calcular a uniformidade da iluminação dos ambientes através da equação 10.

$$U = \frac{E_{min}}{E_{med}} \quad (10)$$

Onde

U é a uniformidade calculada

E_{min} é o valor mínimo da iluminância

E_{med} é o valor médio da iluminância, obtido através da média aritmética de todos os pontos medidos.

Sendo assim, temos as uniformidades calculadas conforme Tabela 12.

Tabela 12 – Uniformidade Calculada dos Ambientes

Ambiente	E_{min}	E_{med}	U
A-101	250	523	0,48
A-102	380	501	0,76
C-003	445	585	0,76
D-105	407	510	0,8

Fonte: Aatoria Própria (2017)

3.1.11 Nível de Eficiência Energética

Para calcular o nível de eficiência do sistema de iluminação, foi utilizado o método da área do edifício especificado no Manual RTQ-C do PROCEL Edifica, onde a potência total instalada, levantada por inspeção foi dividida pela área do ambiente iluminado, conforme Tabela 13. E ainda, de acordo com a Tabela de densidade de potência de iluminação limite presente no Anexo 4, a principal atividade do edifício pode ser classificada como "Escola/Universidade", onde a DPI_L para nível A de eficiência é de 10,7W/m²; para nível B de 12,3W/m²; para nível C de 13,9W/m²; e para nível D de 15,5W/m². Sendo assim, observa-se que apenas a sala

D-105 alcançou o nível de eficiência B, enquanto as demais podem ser consideradas ineficientes.

Tabela 13 - Densidade de Potência

Ambiente	Potência Instalada (W)	Área (m ²)	DPI Calculada (W/m ²)
A-101	2256	90,78	24,85
A-102	1265	56,98	22,20
D-105	512	45,82	11,17
C-003	1152	71,34	16,15

Fonte: Autoria Própria (2017)

4 MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

As salas de aula dos Blocos A, B, C e D do Câmpus Curitiba Sede Centro da UTFPR apresentam sistemas de iluminação passíveis de uma modernização que proporcionarão grande economia no consumo de energia. Sendo assim, este trabalho tem por objetivo identificar as oportunidades de melhoria no sistema de iluminação atual que proporcionariam maior eficiência energética a este.

Tendo em vista que as principais características relevantes à análise da iluminação, como equipamentos, superfícies de refletância, disposição das janelas, entre outros, são similares entre as salas de mesmo leiaute, para simplificação do estudo, foi analisada uma sala de cada leiaute, e seus resultados serão extrapolados para as demais. O “*leiaute 1*” está representado pela sala A-101, o “*leiaute 2*” pela sala A-102, o “*leiaute 3*” pela sala D-105, e o “*leiaute 4*” pela sala C-003.

Foram empregados quatro métodos de análise para a construção deste estudo: Inspeção visual *in loco*; Medição dos parâmetros relevantes *in loco*; Cálculos luminotécnicos e Simulações dos principais ambientes através do software DIALux.

4.1 REDIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO

4.1.1 Método dos Lúmens

Tendo em vista a baixa uniformidade da iluminância e alta densidade de potência, sugere-se o redimensionamento do sistema baseado no Método dos Lúmens. De acordo com Creder (2012), o Método dos Lúmens determina a quantidade de luminárias necessárias num dado ambiente através da relação do nível de iluminância pretendido, as dimensões e refletâncias do ambiente e a depreciação do equipamento.

As dimensões do recinto são consideradas através do Índice do Local. De acordo com Creder (2012), “este índice relaciona as dimensões do recinto, comprimento, largura e altura de montagem, ou seja, altura da luminária em relação ao plano de trabalho”. Para este estudo, será considerada a altura da luminária ao chão para garantir iluminamento mais abrangente e homogêneo. O cálculo para obtenção do índice é dado pela Equação 11.

$$k = \frac{c \times l}{h_m (c + l)} \quad (11)$$

Onde: c – comprimento do local;

l – largura do local;

h_m – altura de montagem da luminária

Assim, temos para as dimensões listadas na sessão 4.2.1. os Índices do Local listados na Tabela 14.

Ambiente	k
A – 101	1,70
A – 102	1,35
D – 105	1,29
C – 003	1,04

Fonte: Autoria Própria (2017)

Em seguida, deve-se calcular o Coeficiente de Utilização (U). De acordo com Creder (2012), o coeficiente de utilização relaciona o fluxo luminoso inicial emitido pela luminária e o fluxo recebido no plano de trabalho, sendo assim, este coeficiente depende das dimensões do local. Este coeficiente pode ser fornecido pelo fabricante da luminária ou através da Equação 12.

$$U = k \times \eta \quad (12)$$

Onde:

U – coeficiente de utilização;

K – índice do local;

η – eficiência da luminária.

Assim, para os dados das luminárias apresentados na sessão 4.1.2, com rendimento de 86 e 84% temos os coeficientes de utilização listados na Tabela 15.

Ambiente	U
A – 101	1,46
A – 102	1,16
D – 105	1,11
C – 003	0,87

Fonte: Autoria Própria (2017)

De acordo com NBR 8995-1, a iluminância mínima exigida para salas de aula é de 500 lux, e o fator de manutenção foi calculado de acordo com sessão 4.

De forma que, o fluxo luminoso total desejado para o ambiente é dado pela Equação 13.

$$\phi = \frac{A \times E}{U \times MF} \quad (13)$$

Onde:

Φ – fluxo luminoso total (lm)

A – área do ambiente (m²)

E – iluminância (lux)

U – coeficiente de utilização

MF – fator de manutenção

Sendo assim, temos o fluxo luminoso total por ambiente conforme Tabela 16.

Tabela 16 - Fluxo Total por ambiente

Ambiente	Área (m ²)	E (lux)	U	MF	Φ (lm)
A - 101	90,78	500	2,04	0,67	46.338
A - 102	56,98	500	1,62	0,67	36.626
D - 105	45,82	500	1,60	0,67	30.822
C - 003	71,34	500	1,10	0,67	60.942

Fonte: Autoria Própria (2017)

E, portanto, o número de luminárias é obtido através da razão do fluxo luminoso total pelo fluxo unitário de cada luminária, conforme Equação 14.

$$N = \frac{\phi}{\varphi} \quad (14)$$

Onde:

N – número de luminárias

Φ – fluxo luminoso total (lm)

φ - fluxo por luminária (lm)

Sendo assim, conforme seção 3.1.6, as luminárias consideradas para as salas A-101 e A-102 apresentam fluxo luminoso unitário aproximado 3.811lm, resultando na necessidade de 12 luminárias para sala A-101 e 10 luminárias para sala A-102 respectivamente. A luminária considerada para sala D-105 possui fluxo luminoso unitário aproximado de 2.438lm, resultando na necessidade de 13 luminárias. Já para sala C-003 temos a luminária cujo fluxo luminoso unitário aproximado é de 4.700lm, resultando na necessidade de aproximadamente 13 luminárias, conforme Tabela 17.

Tabela 17 - Quantidade de luminárias por ambiente após redimensionamento

Ambiente	Φ (lm)	ϕ (lm)	N
A - 101	33.148	3.811	12
A - 102	26.206	3.811	10
D - 105	21.398	2.438	13
C - 003	48.240	4.700	13

Fonte: Autoria Própria (2017)

Considerando a geometria das salas, sugere-se o arredondamento da quantidade de luminárias a fim de proporcionar uma distribuição mais uniforme, sendo assim sugere-se 16 luminárias para sala A-101, 12 luminárias para sala A-102, 15 luminárias para sala D-105 e 15 luminárias para sala C-003. Desta forma é obtido o nível de iluminação requerido para a realização das atividades com uma redução na potência instalada, e conseqüentemente no consumo de energia conforme Tabelas 18 e 19.

Tabela 18 - Resultado do Redimensionamento da Iluminação

Sala	Potência Instalada (W)		Nº luminárias	
	Atual	Proposta	Atual	Proposta
A-101	2256	928	36	16
A-102	1265	696	20	12
D-105	512	480	16	15
C-003	1152	960	18	15

Fonte: Autoria Própria (2017)

Tabela 19 - Consumo após Redimensionamento da Iluminação

Ambiente	Potência Instalada (W)	Consumo (kWh)			Consumo Total (kWh)
		Manhã	Tarde	Noite	
A-101	928	68,053	77,333	18,560	163,947
A-102	696	62,640	51,040	39,440	153,120
D-105	480	6,400	14,400	27,200	48,000
C-003	960	25,600	12,800	51,200	89,600

Fonte: Autoria Própria (2017)

4.2 SUBSTITUIÇÃO DE LÂMPADAS

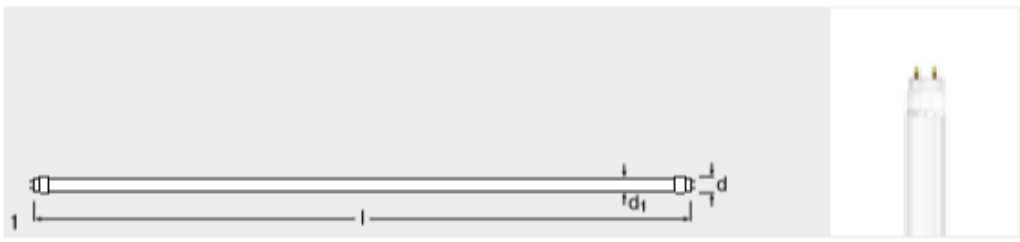
Tendo em vista a alta densidade de potência dos ambientes analisados, sugere-se a substituição das lâmpadas atuais por LED de fluxo luminoso similar, a fim de fornecer o mesmo resultado de iluminação, porém consumindo menos energia elétrica.

De acordo com Lopes e Oliveira (2013), os LEDs tornaram-se populares devido à sua alta eficiência e elevado tempo de vida útil que são traduzidos num alto rendimento luminoso, custo de manutenção reduzido, poucas perdas para o ambiente, baixa tensão de operação e alta confiabilidade.

Para manter a equivalência de fluxo luminoso das lâmpadas atuais, foram selecionadas as lâmpadas SubstiTUBE T8 Advanced UO EM da fabricante OSRAM, conforme Figura 42.

Figura 42 - Ficha técnica lâmpada LED

SubstiTUBE® T8 Advanced UO EM
LED lamps, stick shaped, 27.3 mm with G13 base



Product name	GTIN (EAN)	l [mm]	Color	K	W	lm	Energy Class	Life (h)	No. of LEDs	5 years OSRAM Guarantee
STBAU-1.2m-16W-840-EM	4052899956438	1200	Cool White	4000	16	2400	A++	25	1	CCG
STBAU-1.2m-16W-865-EM	4052899956445	1200	Cool Daylight	6500	16	2400	A++	25	1	
STBAU-1.5m-24W-840-EM	4052899956476	1500	Cool White	4000	24	3600	A++	25	1	
STBAU-1.5m-24W-865-EM	4052899956483	1500	Cool Daylight	6500	24	3600	A++	25	1	

Fonte: OSRAM (2017)

. Sendo assim, é possível substituir as lâmpadas fluorescentes T8 de 58W por equivalente LED de 24W e as lâmpadas fluorescentes T8 de 32W por equivalentes LED de 16W, obtendo-se o mesmo nível de iluminância desejado porém garantindo a redução da potência instalada, conforme Tabela 20, e consequentemente a redução de consumo de energia elétrica presente na Tabela 21.

Tabela 20 - Potência Instalada proposta após substituição por LED

Sala	Potência Instalada (W)			
	Atual	Troca por LED	Redimensionada	Redimens. + LED
A-101	2256	864	870	384
A-102	1265	480	696	288
D-105	512	256	480	240
C-003	1152	576	960	480

Fonte: Aatoria Própria (2017)

Tabela 21 - Consumo após redimensionamento e substituição por LED

Ambiente	Potência Instalada (W)	Consumo (kWh)			Consumo Total (kWh)
		Manhã	Tarde	Noite	
A-101	384	28,160	32,000	7,680	67,840
A-102	288	25,920	21,120	16,320	63,360
D-105	240	3,200	7,200	13,600	24,000
C-003	480	12,800	6,400	25,600	44,800

Fonte: Autoria Própria (2017)

4.3 UTILIZAÇÃO DE CONTROLES DA ILUMINAÇÃO

Para garantir o acionamento das lâmpadas apenas quando necessário, sugere-se a utilização de sensores de presença para o controle da iluminação. De acordo com a fabricante de equipamentos para iluminação OSRAM (2014), é possível alcançar até 35% de economia de energia ao utilizar os sistemas de controle da iluminação por detecção de presença.

Entre o período de ocupação das salas previsto para ministração de aulas, das 7h30 da manhã às 23h00 da noite, existem intervalos de 10 ou 20 minutos que podem representar períodos de não ocupação das salas. Estes intervalos somados representam 6% do período total em que a Universidade permanece aberta. Devido à dificuldade de rastreabilidade dos reais desperdícios ocasionais sem a presença de ocupantes nos ambientes, assumiu-se um potencial de economia de 50% sobre este possível período de desocupação nos intervalos das aulas. Ou seja, das 15,5 horas em que as salas podem estar ocupadas, sugere-se que 0,5 horas de uso indevido da iluminação será eliminado pela utilização de sensores de presença.

4.4 APROVEITAMENTO DA ILUMINAÇÃO NATURAL

Conforme medições e simulações apresentadas nas seções anteriores é possível afirmar que os ambientes analisados possuem grande potencial de aproveitamento da iluminação natural. Sendo assim, sugere-se a utilização de sistemas de dimerização das lâmpadas instaladas próximas às aberturas.

De acordo com a CEPEL(2015), os sensores de luz detectam o nível de iluminação tanto da luz natural quanto artificial, fazendo com que grupos de

luminárias sejam controlados de acordo com sua posição no ambiente e nível de luz disponível permitindo que um nível de iluminação pré-definido seja mantido.

Os sensores de luminosidade traduzem a iluminância do ambiente em um sinal capaz de ser identificado pelos reatores responsáveis por fornecer potência às lâmpadas, dessa forma, a lâmpada recebe apenas a corrente necessária para emitir o fluxo luminoso desejado (OLIVEIRA, 2014). Na Figura 43 é possível observar os modelos *Luxsense* e *MicroLuxsense*.

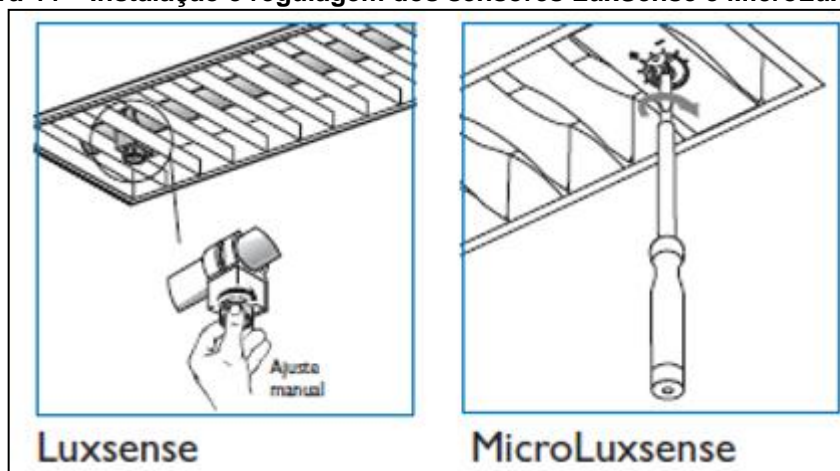
Figura 43 – Sensores de luminosidade



Fonte: Philips (2009)

A instalação do sensor *Luxsense* é feita diretamente na lâmpada, enquanto o *MicroLuxsense* deve ser fixado à luminária, o ajuste do nível de iluminação desejado é realizado no próprio aparelho, conforme Figura 44.

Figura 44 – Instalação e regulagem dos sensores LuxSense e MicroLuxsense

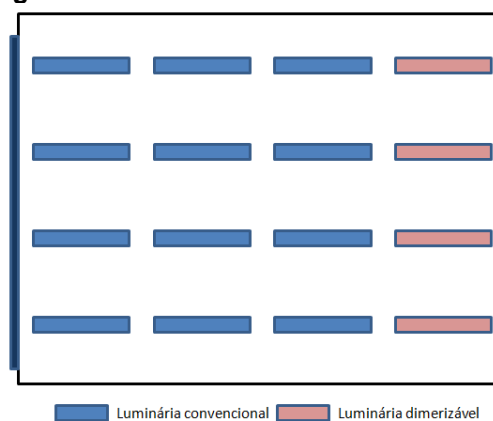


Fonte: Philips (2009)

Através da simulação do software DIALux é possível afirmar que em todas as salas há a possibilidade de implantação de dimerização nas luminárias próximas às aberturas, entretanto, devido ao ofuscamento e desconforto gerado pelos raios solares, sugere-se a utilização de persianas angulares, a fim de minimizar a incidência de iluminação direta.

O leiaute 1 representado pela sala A-101 apresenta luminosidade natural nas laterais. Desta forma, aplicando-se dimerização às luminárias localizadas nas fileiras mais próximas das janelas é possível reduzir o consumo destas lâmpadas para que forneçam apenas potência suficiente para compor a iluminação e atingir o nível de 500 lux, conforme Figura 45.

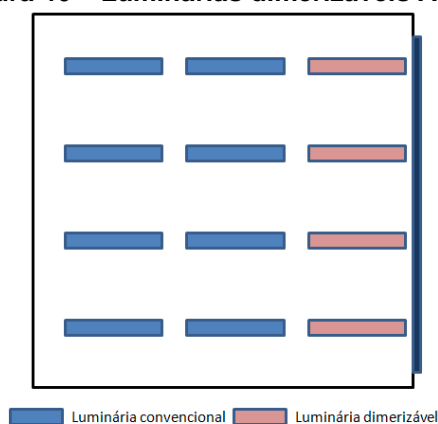
Figura 45 – Luminárias dimerizáveis A-101



Fonte: Autoria Própria (2017)

O leiaute 2 representado pela sala A-102 apresenta luminosidade natural apenas do lado direito, conforme Figura 46.

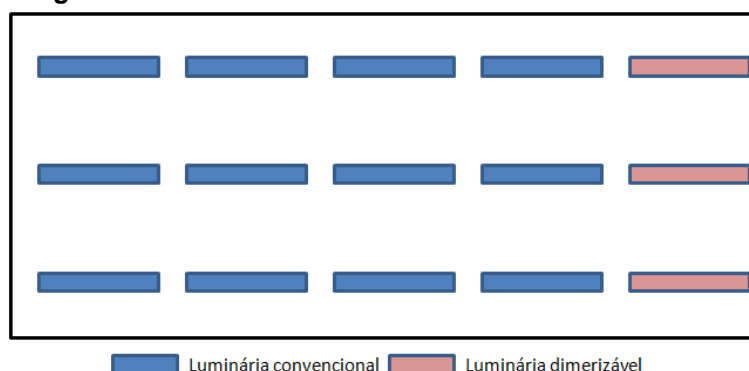
Figura 46 – Luminárias dimerizáveis A-102



Fonte: Autoria Própria (2017)

Os leiautes 3 e 4 representados pelas salas D-105 e C-003 respectivamente apresentam luminosidade ao fundo, conforme Figura 47.

Figura 47 – Luminárias dimerizáveis salas D-105 e C-003



Fonte: Autoria Própria (2017)

Ao todo, após redimensionamento da disposição das luminárias conforme sugerido na seção 4.1, sugere-se a dimerização de 4 luminárias da sala A-101, 4 luminárias da sala A-102, 3 luminárias da sala D-105 e 3 luminárias da sala C-003. De acordo com os resultados obtidos por simulação no software DIALux, todas as luminárias sugeridas deverão ser ajustadas com potência: 0% entre 7h30 e 9h30; 30% entre 9h31 e 10h30; 60% entre 10h31 e 12h30; 80% entre 12h31 e 14h30; conforme Tabela 22.

Tabela 22 – Potência das luminárias dimerizadas por período de utilização

Período	A - 101	A - 102	D - 105	C - 003
Entre 7h30 e 9h30	0	0	0	0
Entre 9h31 e 10h30	28,8W	28,8W	14,4W	28,8W
Entre 10h31 e 12h30	57,6W	57,6W	28,8W	57,6W
Entre 12h31 e 14h30	76,8W	76,8W	38,4W	76,8W

Fonte: Autoria Própria (2017)

De acordo com o mapa de salas do segundo semestre do ano letivo de 2017, nos períodos citados para dimerização, as salas são utilizadas mensalmente de acordo com a Tabela 23.

Tabela 23 – Horas de Utilização no mês

Período	A - 101	A - 102	D - 105	C - 003
Entre 7h30 e 9h30	25,33	38,67	8	16
Entre 9h31 e 10h30	10,67	11,33	2	5,33
Entre 10h31 e 12h30	33,33	36	0,67	5,33
Entre 12h31 e 14h30	31,33	18	6	2,67
Entre 14h31 e 23h00	79,33	110,67	78,67	64

Fonte: Autoria Própria (2017)

Desta forma, o consumo energético médio estimado, considerando lâmpadas LED de 24W e 16W dimerizáveis após redimensionamento do sistema, pode ser encontrado na Tabela 24, através da multiplicação das horas de utilização por período pela potência instalada dimerizada e não-dimerizada.

Tabela 24 – Consumo Mensal em kWh das luminárias dimerizadas e convencionais

Período	A-101		A-102		D-105		C-003	
	dimer.	normal	dimer.	normal	dimer.	normal	dimer.	normal
Entre 7h30 e 9h30	0,00	7,30	0,00	4,86	0,00	1,54	0,00	6,14
Entre 9h31 e 10h30	0,31	3,07	1,11	2,18	0,03	0,38	0,15	2,05
Entre 10h31 e 12h30	1,92	9,60	0,65	6,91	0,02	0,13	0,31	2,05
Entre 12h31 e 14h30	2,41	9,02	2,76	3,46	0,23	1,15	0,21	1,03
Entre 14h31 e 23h00	7,62	22,85	10,62	21,25	1,84	15,10	6,14	24,58
Total (kWh)	64,08		53,81		20,42		42,64	

Fonte: Aatoria Própria (2017)

5 DISCUSSÃO DE RESULTADOS E CONCLUSÕES

Este estudo teve como propósito identificar e provar o benefício da utilização de medidas de eficiência energética aplicáveis ao sistema de iluminação de salas de aula dos Blocos A, B, C e D do Câmpus UTFPR Sede Centro a fim de reduzir o consumo de energia elétrica. A suposição feita a partir do problema foi de que fazendo o levantamento das características dos ambientes e uma análise do sistema de iluminação atual seria possível diagnosticar oportunidades de melhorias e adequações a fim de melhorar o desempenho energético do sistema de iluminação vigente.

De modo geral, o sistema de iluminação dos ambientes mostrou-se suficiente para cumprir os requisitos mínimos de iluminância exigidos pela NBR 8995-1, porém apresenta alta densidade de potência, o que sugere a utilização de equipamentos pouco eficientes. Apesar de possuírem grandes aberturas de janelas, que permitem a penetração de iluminação natural em abundância, este recurso é pouco utilizado, devido à falta de equipamentos adequados para o controle de ofuscamento gerado e controle de luminosidade. Além disso, os circuitos de acionamento não permitem muita flexibilidade aos usuários, fazendo com que, em muitos casos, as luzes permaneçam acesas desnecessariamente.

De acordo com as medições e simulações, ficou evidente o grande potencial de aproveitamento de luz natural e de redução do consumo de energia elétrica através da utilização de lâmpadas e luminárias mais eficientes, equipamentos de controle de ofuscamento que permitam o aproveitamento da luz natural, equipamentos de acionamento automático e um melhor dimensionamento da iluminação.

De acordo com as medições e simulações realizadas pode-se observar que as salas de aula possuem grande potencial de aproveitamento da iluminação natural nos períodos matutinos e do começo da tarde, onde é possível atingir os níveis de iluminância requisitados pela Norma Brasileira 8995-1 com pouco complemento de iluminação artificial. Entretanto, deve-se ser analisada em trabalhos futuros relacionados ao tema, a utilização de equipamentos de controle de ofuscamento mais eficientes que os brises e cortinas presentes hoje nas salas de aula. Estes dispositivos fazem com que a luz natural complemente a iluminação do plano de

trabalho sem causar desconforto aos ocupantes do ambiente. Desta forma, é possível reduzir o consumo de energia substituindo a iluminação artificial por iluminação natural.

A Norma Brasileira 8995-1 (p. 28, 2013) referente à iluminação de ambientes de trabalho em espaços fechados demonstra que salas de aula para educação de adultos e aulas noturnas devem possuir iluminância mínima de 500 lux em toda sua área interna. Neste sentido, a iluminação artificial instalada atualmente nos ambientes analisados se mostra suficiente para atender os níveis de mínimos de iluminância da Norma Brasileira 8995-1, porém apresenta alta densidade de potência, o que acarreta um alto consumo de energia elétrica e baixa eficiência energética. Sugere-se a utilização de equipamentos de iluminação mais eficientes, como os LEDs e a utilização de luminárias dimerizáveis nas fileiras de equipamentos posicionados próximo às janelas. Desta forma, as lâmpadas utilizariam apenas potência suficiente para gerar o fluxo luminoso necessário para complementar a iluminação natural.

Além disso, a Norma 8995-1(2013) sugere uma uniformidade planejada U_1 maior ou igual a 0,6, tendo em vista que, este valor é suficiente para garantir que uma uniformidade mínima de 0,7 seja observada nas mesas individuais. A partir das medições realizadas nota-se uniformidade adequada, do ponto de vista de nível de iluminamento, entretanto, sugere-se a utilização de lâmpadas e luminárias iguais em toda a extensão do ambiente, sanando possíveis desconfortos visuais devido à variação de fluxo luminoso e temperaturas de cor.

Para reforçar a utilização eficiente do sistema de iluminação, sugere-se também a utilização de sistemas automáticos de acionamento/desligamento, tais como sensores de presença ou de movimento. Estes dispositivos garantem que os ambientes serão utilizados apenas quando necessários, evitando desperdícios.

Diante dos pontos citados, é possível afirmar que o sistema de iluminação dos ambientes em estudo apresenta grande potencial de redução do consumo de energia elétrica se aplicadas as medidas de eficiência energética sugeridas. O redimensionamento da quantidade de luminárias utilizadas nas salas analisadas proporcionaria uma economia de aproximadamente 380,9kWh/mês. Esta medida somada à substituição das lâmpadas fluorescentes por LED proporcionaria uma economia total de aproximadamente 635,5kWh/mês em relação à situação encontrada no período deste estudo. Além disso, realizando a substituição das

luminárias analisadas por equipamentos dimerizáveis somaria uma economia total de aproximadamente 654,6kWh/mês. E por fim, a utilização de sensores de presença para redução de desperdícios da iluminação acarretaria um potencial de redução de consumo de 14kWh/mês. Sendo assim, os ambientes analisados consumiriam cerca de 167kWh/mês que representa uma redução de 80% da energia anteriormente utilizada para iluminação dos ambientes, conforme Tabela 25.

Tabela 25 – Consumo Médio Mensal por Sala após Medidas de Eficiência Energética

	Inicial	Redim.	Redim.+LED	Redim. + LED + Dimer.	Redim. + LED + Dimer. Sensor de Pres.
A-101	398,56	163,947	67,84	64,08	60,16
A-102	278,3	153,12	63,36	53,81	51,05
D-105	51,2	48	24	20,42	18,06
C-003	107,52	89,6	44,8	42,64	37,61
Total	835,58	454,66	200	180,95	166,89

Fonte: Aatoria Própria (2017)

Dada à importância do tema, torna-se necessário o desenvolvimento de análises mais aprofundadas dos ambientes e do sistema de iluminação a fim de promover as adequações necessárias para tornar o sistema mais eficiente. Sugere-se a produção de estudos para os demais Blocos do campus, assim como, propostas de outras oportunidades de redução do consumo de energia elétrica e aumento da eficiência energética aplicáveis à iluminação.

Por fim, foi possível listar as medidas de eficiência energética aplicáveis à iluminação de algumas salas de aula dos Blocos A, B, C e D do Câmpus UTFPR Curitiba Sede Centro através da análise das suas características arquitetônicas e geométricas, geolocalização, equipamentos utilizados para iluminação e acionamento, disposição dos ocupantes nos ambientes e perfil de utilização da iluminação, resultando num grande potencial de redução do consumo de energia elétrica.

REFERÊNCIAS

AMARAL, K.M.;CEREZINI, M.T.;POLLI, H.Q. **Avaliação dos Aspectos e Impactos Ambientais em uma Instituição de Ensino com o Uso da Ferramenta FMEA.** InterfacEHS - Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade. Vol. 11 no 1 - junho de 2016, São Paulo: Centro Universitário Senac.

CEPEL - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. **Guia para Eficiência Energética nas Edificações Públicas.** 2015

COSTA, G.J.C. **Iluminação Econômica: Cálculo e Avaliação.** 4ª edição. Porto Alegre: EDIPUCRS,2006.

CREDER, H. **Instalações Elétricas.** 15ª edição. LTC, 2007.

DIALux evo; **Features DIALux Functions.** Acesso em Janeiro de 2017:
<https://www.dial.de/en/software/dialux/features/>

DUTRA, L.;LAMBERTS,R.;PEREIRA, R.O.F. **Eficiência Energética na Arquitetura.** 3ª edição. 2012.

FERREIRA, C. C; SOUZA, R. V. G. **Investigação Sobre o Potencial de Economia de Energia da Iluminação Natural.** X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. UFMG. Laboratório de Conforto e Eficiência Energética em Edificações. 2009.

FARIAS, L.M.;SELLITTO, M.A. **Uso da Energia ao Longo da História: Evolução e Perspectivas Futuras.** Revista Liberato, Novo Hamburgo, v. 12, n. 17, p. 01-106, jan./jun. 2011.

GARG, V.; BANSAL, N. K. **Smart Occupancy Sensors to Reduce Energy Consumption.** Center for Energy Studies, Indian Institute of Technology, 1999.

GIL, G.M.; MONTSERRAT, M.C. **Curso on-line de iluminación.** Universitat Politecnica de Catalunya, Barcelona Tech, 2015.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. **Energia e Meio Ambiente no Brasil**. Estudos Avançados 21 (59) 2007.

GOOGLE MAPS. **UTFPR Campus Curitiba**. 2017. Disponível em: <https://www.google.com.br/maps/place/UTFPR+Campus+Curitiba>. Acesso em: Janeiro de 2017.

GRIESANG, L.; SANTOS, S.T.R.; MORAIS, G.C. **As Vantagens do Uso das Lâmpadas LED Comprovadas Através da Modelagem Matemática**. Anais do VII Salão de Ensino e Extensão UNISC, 2016.

Homis Controle e Instrumentação. **Catálogo de Equipamentos**. 2016

Integrated Doorsets. **Leaderflush Shapland**. Light Reflectance Values. Acesso em Outubro de 2016: <http://www.leaderflushshapland.co.uk/Integrated-doorsets/Technical-Resources/Light-reflectance-values-PVC-laminates>

ITAIM Iluminação. **Catálogo LED 2016-2017**, 2016.

KAWASAKI, J.I. **UGR - Novo Parâmetro para Análise do Controle de Ofuscamento**. Portal O Setor Elétrico. Edição 63. Abril 2011.

Lei nº10.924 - **Lei de Eficiência Energética**, 2001.

LOPES, M. J.; OLIVEIRA A. P. A. **Estudo e Proposta para Eficiência Energética em Salas de Aula da Pontifícia Universidade Católica do Paraná Utilizando Tecnologia LED**. Trabalho de Conclusão de Curso do curso Engenharia Elétrica com ênfase em Telecomunicações. PUC-PR. Curitiba. 2013.

LUMICENTER Lighting. **Catálogo Luminárias Comerciais**. Linha Comercial T8 CAN. Acesso em Agosto de 2016: <http://www.lumicenteriluminacao.com.br/pt/catalogo/classe/CAN.html>

MARTINS, A.L.P.; ELIEL, R.A.; DONATO, L. **Petróleo e Questão Energética: Uma Abordagem Para o Ensino de Geografia**. Revista Geográfica de América Central Número Especial EGAL, 2011- Costa Rica II Semestre 2011 pp. 1-09.

MCACoelho. **Residência MIC**. Portifólio Residencial, 2016. Acesso em Outubro de 2016: <http://www.mcacoelho.com.br/?portfolio=residencia-mic>

National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA). **National Weather Service**. 2000.

Norma Brasileira **Iluminação de Ambientes de Trabalho – Parte 1: Interior**. ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013 .

Norma Brasileira **Iluminância de Interiores**. ABNT NBR 5413: 1992 .

Norma Brasileira **Iluminação Natural**. ABNT NBR 15215: 2004.

Norma Regulamentadora **Ergonomia**. NR17 :2007.

Norma Brasileira **Terminologia - Iluminação**. ABNT NBR 5461 :1991.

OLIVEIRA, H. Q. **Estudo Preliminar de um Sistema Gerenciável de Iluminação Fluorescente Tubular Combinado com a Iluminação Natural para Redução do Consumo de Energia Elétrica**. Universidade Federal de Santa Maria, 2014.

OSRAM, **Curso de Iluminação: Conceitos e Projetos**. 2010.

PHILIPS, **Guia de Projetos com Controle de Iluminação**, 2012.

PROCEL. ELETROBRÁS. **Manual RTQ-C Comercial, de Serviço e Público**. Versão 3. Com base na Portaria nº 372/2013

PROCEL. ELETROBRÁS. **PROCEL Info - Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética**. Acesso em Outubro de 2016: <http://www.procelinfo.com.br>

PROJETEEE. **Tipos de Proteção Solar**. Estratégias de Sombreamento, 2014. Acesso em Outubro de 2016: <http://150.162.76.139/aplicacao/60/>

SARAIVA, M.F.O. **Movimento anual do Sol e Estações do ano.** Texto apresentado na disciplina FIS02010 Fundamentos de Astronomia e Astrofísica - UFRGS, 2010.

Secretaria de Inspeção do Trabalho. **Manual de Aplicação da Norma Regulamentadora Nº 17**,2002.

SOUZA, M.B. **Potencialidade de Aproveitamento da Luz Natural Através da Utilização de Sistemas Automáticos de Controle para Economia de Energia Elétrica.** Tese de Doutorado, Florianópolis, 2003.

SPINELLI, R.; BREVIGLIERO, E.; POSSEBON, J. **Higiene Ocupacional: agentes biológicos, físicos e químicos.** 4ª edição. São Paulo: Ed. Senac São Paulo, 2009. 448p.

TECNOFERRAMENTAS, **Luxímetro Display LCD 3½ dígitos Faixa 0-100.000Lux Minipa MLM-1011.**2017. Disponível em: http://www.tecnoferramentas.com.br/luximetro-digital-minipa-mlm_1011/p. Acesso em: Janeiro de 2017.

The Society of Light and Lighting. **The SLL Code for Lighting.** CIBSE 2014.

The Society of Light and Lighting. **The SLL Lighting Handbook.** CIBSE 2009.

ANEXO 1

Tabela Condições Mínimas de Iluminação

Fonte: NBR 8995-1 (2013)

Tipo de ambiente, tarefa ou atividade	\bar{E}_m lux	UGR_L	R_a	Observações
Sala de leitura	500	19	80	Recomenda-se que a iluminação seja controlável.
Quadro negro	500	19	80	Prevenir reflexões especulares.
Mesa de demonstração	500	19	80	Em salas de leitura 750 lux.
Salas de arte e artesanato	500	19	80	
Salas de arte em escolas de arte	750	19	90	$T_{cp} > 5\ 000\ K$.
Salas de desenho técnico	750	16	80	
Salas de aplicação e laboratórios	500	19	80	
Oficina de ensino	500	19	80	
Salas de ensino de música	300	19	80	
Salas de ensino de computador	500	19	80	Para trabalho com VDT, ver 4.10.
Laboratório linguístico	300	19	80	
Salas de preparação e oficinas	500	22	80	
Salas comuns de estudantes e salas de reunião	200	22	80	
Salas dos professores	300	22	80	
Salas de esportes, ginásios e piscinas	300	22	80	Para as instalações de acesso público, ver CIE 58 – 1983 e CIE 62 – 1984.
29. Locais de assistência médica				
Salas de espera	200	22	80	Iluminância ao nível do piso.
Corredores: durante o dia	200	22	80	Iluminância ao nível do piso.
Corredores: durante a noite	50	2	80	Iluminância ao nível do piso.
Quartos com claridade	200	22	80	Iluminância ao nível do piso.
Escritório dos funcionários	500	19	80	
Sala dos funcionários	300	19	80	
Enfermarias				
— iluminação em geral	100	19	80	Iluminância ao nível do piso.
— iluminação de leitura	300	19	80	
— exame simples	300	19	80	
Exames e tratamento	1 000	19	90	
Iluminação noturna, iluminação de observação	5	19	80	
Banheiros e toaletes para os pacientes	200	22	80	
Sala de exames em geral	500	19	90	
Exames do ouvido e olhos	1 000		90	Luminária para exame local.
Leitura e teste da visão colorida com gráficos de visão	500	16	90	

ANEXO 2

Ficha Técnica das Lâmpadas

Sylvania T12 – 65W
Sylvania T8 – 32 W
Fonte : Catálogo de Lâmpadas Sylvania (2017)

Especificações Técnicas										
Potência	Bulbo	Compr. (mm)	Diâm. (mm)	Base	Fluxo Lum. (lm)	Rendimento (lm/W)	Temperatura de Cor	IRC	Unid. p/cx.	Vida Média (horas)
BRANCA CONFORT										
16W	T-8	604	26	G13	1.070	67	4.000 K	65	25	7.500
32W	T-8	1.214	26	G13	2.350	74	4.000 K	65	25	7.500
LUZ DO DIA PLUS										
15W	T-8	452	26	G13	840	56	5.200 K	72	25	7.500
15W	T-12	452	38	G13	750	50	5.200 K	72	25	7.500
20W	T-12	604	38	G13	1.060	53	5.200 K	72	25	7.500
30W	T-8	909	26	G13	2.000	67	5.200 K	72	25	7.500
30W	T-12	909	38	G13	2.100	70	5.200 K	72	25	7.500
40W	T-12	1.214	38	G13	2.700	68	5.200 K	72	25	12.000
60W-HO	T-12	1.166	38	D.C.E.	3.800	63	5.200 K	72	25	12.000
65W	T-12	1.500	38	G13	4.500	69	5.200 K	72	25	12.000
85W-HO	T-12	1.775	38	D.C.E.	5.700	67	5.200 K	72	15	12.000
110W-HO	T-12	2.385	38	D.C.E.	7.750	70	5.200 K	72	15	12.000
BRANCO REAL PLUS										
60W-HO	T-12	1.166	38	D.C.E.	2.900	48	3.400 K	86	15	12.000
DAYLIGHT										
8W	T-5	302	16	G5	340	43	6.500 K	65	25	6.000
15W	T-8	452	26	G13	610	41	6.500 K	65	25	7.500
18W	T-8	604	26	G13	1.050	58	6.500 K	65	25	7.500
30W	T-8	909	26	G13	2.025	68	6.500 K	65	25	7.500
32W	T-8	1.214	26	G13	2.100	66	6.500 k	65	25	7.500
36W	T-8	1.214	26	G13	2.500	69	6.500 k	65	25	7.500



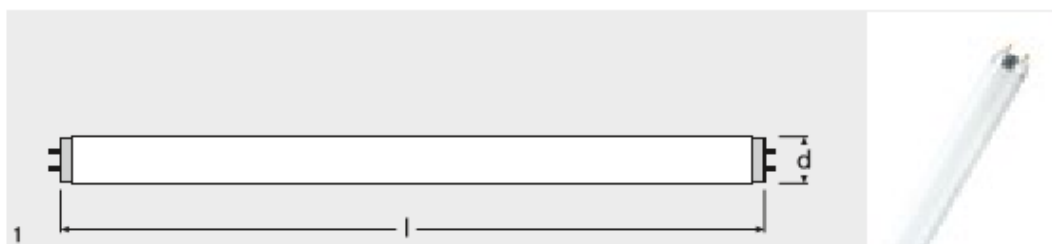
Lâmpadas Fluorescentes Tubulares

OSRAM T8 – 58W

Fonte: Catálogo de Lâmpadas OSRAM Linha Lumilux (2017)

LUMILUX® T8

Tubular fluorescent lamps 26 mm, with G13 base



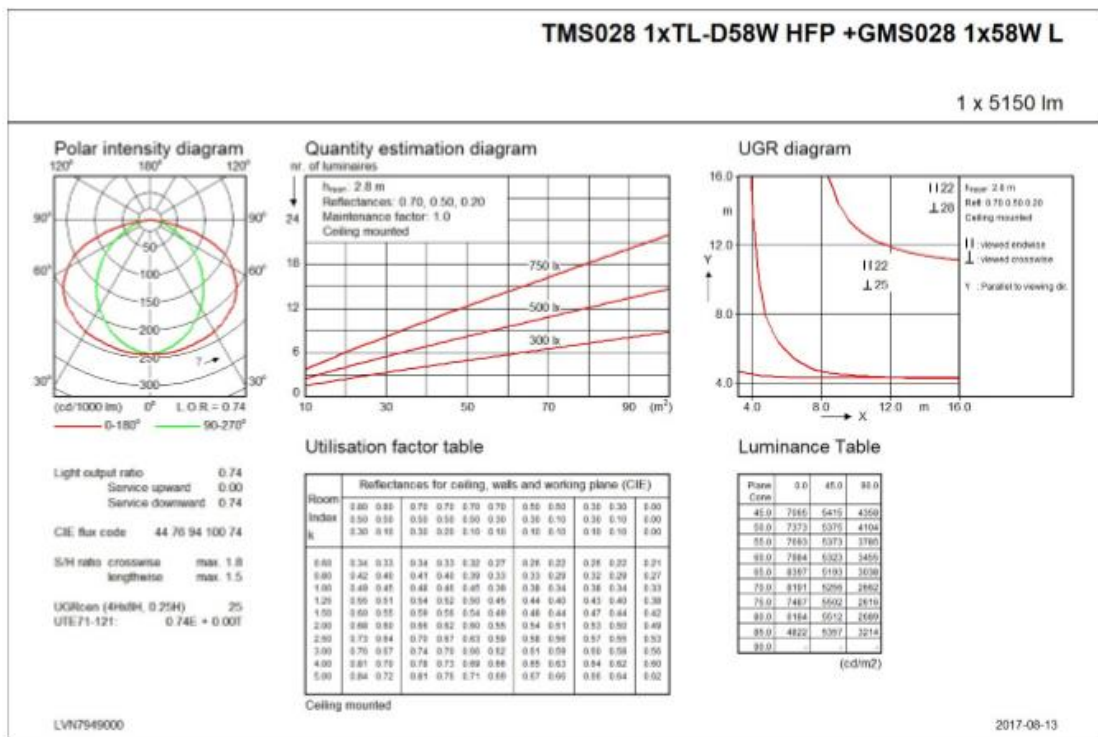
Product name	GTIN (EAN)	W	R _a	Im 25°C		l [mm]				No.
L 10 W/827	4050300446165	10	≥80	650	827	470	A	25	1	
L 15 W/827	4050300446042	15	≥80	950	827	438	B	25	1	
L 15 W/830	4050300446028	15	≥80	950	830	438	B	25	1	
L 15 W/840	4050300446004	15	≥80	950	840	438	B	25	1	
L 15 W/865	4050300446189	15	≥80	900	865	438	B	25	1	
L 16 W/827	4050300446080	16	≥80	1250	827	720	A	25	1	
L 16 W/830	4008321959065	16	≥80	1250	830	720	A	25	1	
L 16 W/840	4050300446066	16	≥80	1250	840	720	A	25	1	
L 18 W/827	4050300517834	18	≥80	1350	827	590	A	25	1	
L 18 W/830	4050300517810	18	≥80	1350	830	590	A	25 ¹⁾	1	
L 18 W/835	4050300447964	18	≥80	1350	835	590	A	25	1	
L 18 W/840	4050300517797	18	≥80	1350	840	590	A	25 ¹⁾	1	
L 18 W/865	4050300517773	18	≥80	1300	865	590	A	25	1	
L 18 W/880	4008321027962	18	≥80	1300	880	590	A	25	1	
L 23 W/830	4050300446264	23	≥80	1900	830	970	A	25	1	
L 23 W/840	4050300446240	23	≥80	1900	840	970	A	25	1	
L 30 W/827	4050300518077	30	≥80	2400	827	895	A	25	1	
L 30 W/830	4050300518053	30	≥80	2400	830	895	A	25	1	
L 30 W/840	4050300518039	30	≥80	2400	840	895	A	25	1	
L 30 W/865	4050300518015	30	≥80	2350	865	895	A	25	1	
L 30 W/880	4008321027986	30	≥80	2350	880	895	A	25	1	
L 36 W/827	4050300517919	36	≥80	3350	827	1200	A+	25	1	
L 36 W/830	4050300517896	36	≥80	3350	830	1200	A+	25 ¹⁾	1	
L 36 W/835	4050300447988	36	≥80	3350	835	1200	A+	25	1	
L 36 W/840	4050300517872	36	≥80	3350	840	1200	A+	25 ¹⁾	1	
L 36 W/865	4050300517858	36	≥80	3250	865	1200	A	25	1	
L 36 W/880	4008321002976	36	≥80	3010	880	1200	A	25	1	
L 38 W/830	4050300518152	38	≥80	3300	830	1047	A	25	1	
L 38 W/840	4050300518138	38	≥80	3300	840	1047	A	25	1	
L 58 W/827	4050300603049	58	≥80	5200	827	1500	A	25	1	
L 58 W/830	4050300517971	58	≥80	5200	830	1500	A	25 ¹⁾	1	
L 58 W/835	4050300448008	58	≥80	5200	835	1500	A	25	1	
L 58 W/840	4050300517957	58	≥80	5200	840	1500	A	25 ¹⁾	1	
L 58 W/865	4050300517933	58	≥80	5000	865	1500	A	25	1	
L 58 W/880	4008321002990	58	≥80	4900	880	1500	A	25	1	
L 70 W/835	4008321003911	70	≥80	6200	835	1778	A	25	1	
L 70 W/840	4008321003959	70	≥80	6200	840	1778	A	25	1	

¹⁾ Also available in industrial packs (... NP) for bulk orders. Contains 30 lamps.

ANEXO 3

TMS028 1xTL-D58W Fonte: Catálogo Digital de Lâmpadas Philips (2017)

Luminaire : TMS028 1xTL-D58W HFP +GMS028 1x58W
 Total Lamp Flux : 5150 lm
 Light Output Ratio : 0.74
 Luminous Flux : 3811 lm
 Power : 55 W
 LxBxH : 1.53x0.17x0.07 m
 Ballast : HF Performer



© 2014 Koninklijke Philips N.V. (Royal Philips)
All rights reserved.

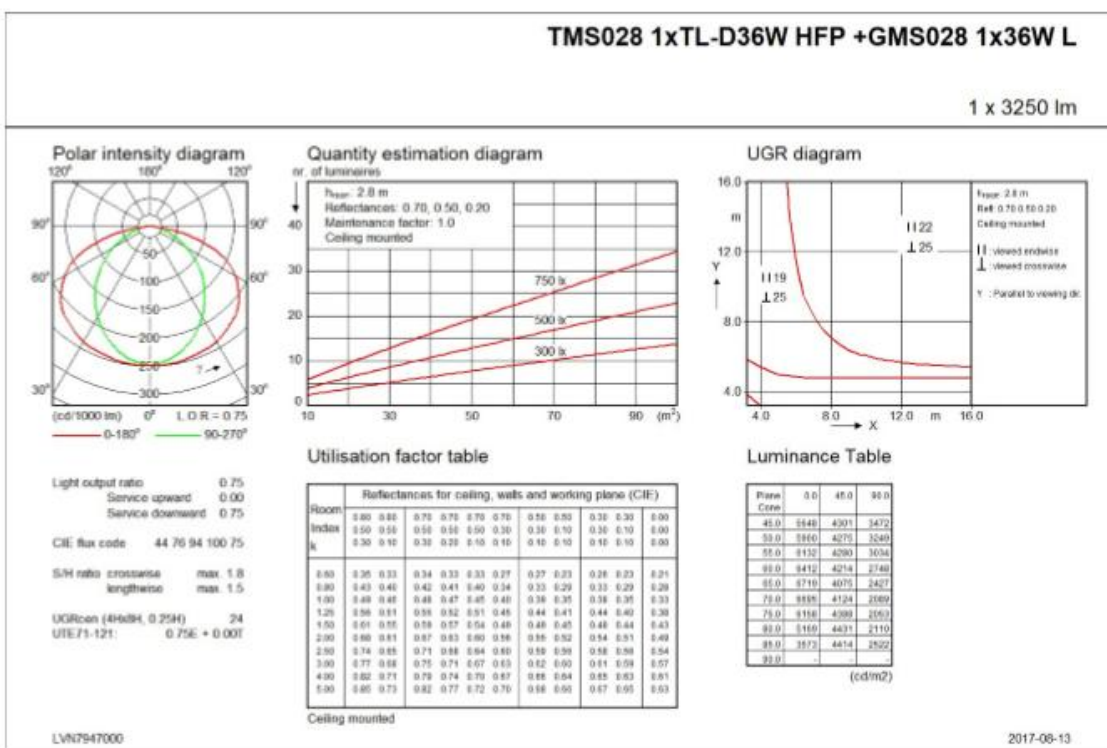
Specifications are subject to change without notice. Trademarks are the property of Koninklijke Philips N.V. (Royal Philips) or their respective owners.

www.philips.com/lighting

data subject to change

TMS028 1xTL-D36W Fonte: Catálogo Digital de Lâmpadas Philips (2017)

Luminaire : TMS028 1xTL-D36W HFP +GMS028 1x36W
 Total Lamp Flux : 3250 lm
 Light Output Ratio : 0.75
 Luminous Flux : 2438 lm
 Power : 36 W
 LxBxH : 1.23x0.17x0.07 m
 Ballast : HF Performer



© 2014 Koninklijke Philips N.V. (Royal Philips)
 All rights reserved.

Specifications are subject to change without notice. Trademarks are the property of Koninklijke Philips N.V. (Royal Philips) or their respective owners.

ANEXO 4

Tabela PROCEL de DPI

Fonte: Manual RTQ-C Comercial, de Serviço e Público. Versão 3. Com base na Portaria nº 372/2013

Tabela 4.1: Limite máximo aceitável de densidade de potência de iluminação (DPI_L) para o nível de eficiência pretendido – Método da área do edifício

Função do Edifício	Densidade de Potência de Iluminação limite	Densidade de Potência de Iluminação limite	Densidade de Potência de Iluminação limite	Densidade de Potência de Iluminação limite
	W/m ² (Nível A)	W/m ² (Nível B)	W/m ² (Nível C)	W/m ² (Nível D)
Academia	9,5	10,9	12,4	13,8
Armazém	7,1	8,2	9,2	10,3
Biblioteca	12,7	14,6	16,5	18,4
Bombeiros	7,6	8,7	9,9	11,0
Centro de Convenções	11,6	13,3	15,1	16,8
Cinema	8,9	10,2	11,6	12,9
Comércio	15,1	17,4	19,6	21,9
Correios	9,4	10,8	12,2	13,6
Venda e Locação de Veículos	8,8	10,1	11,4	12,8
Escola/Universidade	10,7	12,3	13,9	15,5
Escritório	9,7	11,2	12,6	14,1
Estádio de esportes	8,4	9,7	10,9	12,2
Garagem – Ed. Garagem	2,7	3,1	3,5	3,9
Ginásio	10,8	12,4	14,0	15,7
Hospedagem, Dormitório	6,6	7,6	8,6	9,6
Hospital	13,0	15,0	16,9	18,9
Hotel	10,8	12,4	14,0	15,7
Igreja/Templo	11,3	13,0	14,7	16,4
Restaurante	9,6	11,0	12,5	13,9
Restaurante: Bar/Lazer	10,7	12,3	13,9	15,5
Restaurante: Fast-food	9,7	11,2	12,6	14,1
Museu	11,4	13,1	14,8	16,5
Oficina	12,9	14,8	16,8	18,7
Penitenciária	10,4	12,0	13,5	15,1
Posto de Saúde/Clinica	9,4	10,8	12,2	13,6
Posto Policial	10,3	11,8	13,4	14,9
Prefeitura – Inst. Gov.	9,9	11,4	12,9	14,4
Teatro	15,0	17,3	19,5	21,8
Transportes	8,3	9,5	10,8	12,0
Tribunal	11,3	13,0	14,7	16,4