CÍNTIA GONÇALVES MENDES DA SILVA

AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DAS LÂMPADAS LED EM LABORATÓRIOS DE ANÁLISES: UMA VISÃO PSICOFÍSICA NOS LABORATÓRIOS DE QUÍMICA E BIOLOGIA DO INSTITUTO FEDERAL DE SÃO PAULO – CÂMPUS SÃO PAULO

Selo Teses & Dissertações

EDITORA IFSP

AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DAS LÂMPADAS LED EM LABORATÓRIOS DE ANÁLISES:

UMA VISÃO PSICOFÍSICA NOS LABORATÓRIOS DE QUÍMICA E BIOLOGIA DO INSTITUTO FEDERAL DE SÃO PAULO – CÂMPUS SÃO PAULO

CÍNTIA GONÇALVES MENDES DA SILVA

Selo Teses & Dissertações

INSTITUTO FEDERAL
DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
São Paulo

EDITORA IFSP

Publicado por
EDIFSP - Editora do Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia de São Paulo

Reitor
Eduardo Antonio Modena

Coordenador da Editora
Rubens Lacerda de Sá

Revisão
Larissa Silva Costa e
Nathalia Rafaella Marcondes Camargo

Diagramação
Larissa Silva Costa e
Nathalia Rafaella Marcondes Camargo

ISBN 978-65-5823-081-6

Dados Internacionais de Catalogação na publicação (CIP)

S586a

Silva, Cíntia Gonçalves Mendes da
Avaliação da utilização das lâmpadas LED em laboratórios de análises : uma visão psicofísica nos laboratórios de química e biologia do Instituto Federal de São Paulo – Câmpus São Paulo / Cíntia Gonçalves Mendes da Silva. – São Paulo: EDIFSP, 2021.
162 p. – (Selo Teses & Dissertações)

E-book
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-5823-081-6

1. Lâmpadas LED. 2. Ligth-emitting diode. 3. Laboratórios de análises - Iluminação. I. Título. II. Coleção.

CDD 621.381522

Elaborada por Izabel Maria Barral Teixeira - CRB8/9913

Dedico este trabalho ao meu filho Leonardo M. C. Marques e ao meu marido Prof. Ms. Luís Cláudio de Matos que foram minhas principais inspirações. Aos meus pais, Therezinha e José, pelo eterno apoio e confiança em meu trabalho.

"Tu te tornas eternamente responsável por aquilo que cativas"

"Aqueles que passam por nós, não vão sós, não nos deixam sós. Deixam um pouco de si, levam um pouco de nós."

Antoine de Saint-Exupéry

Agradecimentos

Ao meu orientador Prof. Dr. Hédio Tatizawa por nunca duvidar que eu pudesse concluir este trabalho. Suas orientações, apoio no meu período mais difícil e contribuições foram mais do que importantes.

Ao Prof. Dr. Alexandre Piantini e ao Prof. Arnaldo G. Kanashiro pelo apoio e amizade.

Aos meus alunos, bolsistas e mais do que amigos, Fernando Henrique Ferreira Salles e Marco Antônio Conte Ramos Pereira que, além de me auxiliar na execução da parte prática do meu experimento, acreditaram que iria dar certo. O apoio deles foi fundamental.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo – Câmpus São Paulo, na figura do Sr. Diretor Geral Prof. Ms Luís Cláudio de Matos, a todos os professores das Coordenadorias de Química e Biologia por cederem o espaço dos laboratórios e terem permitido a instalação de nossos equipamentos para os testes.

Agradeço, de coração, aos amigos Dr. Alexandre Kenchian, Ms. Alberto Akio Shiga, Dr. Jacyro Gramulia Jr., Dr. Ênio Carlos Segatto, Ms. Mario Sergio Cambraia, Ms. Osmir Adão, Ms. Walter Ragnev, futuro Mestre Prof. João Marcos da Silva Brito do IFSP – Câmpus São Paulo pelos incentivos, a todo instante, para nunca desistir.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO **11**
Objetivos 15
Objetivos Gerais 15
Objetivos Específicos 15
Estrutura do Trabalho 16
CAPÍTULO 2:ILUMINAÇÃO **18**
Grandezas Luminotécnicas 18
Propriedades Luminotécnicas da Matéria 24
As Lâmpadas no Mercado Brasileiro 27
Lâmpadas Incandescentes Convencionais 29
Lâmpadas Incandescentes Halógenas 30
Lâmpadas à Descarga de Baixa Pressão 32
LED – *Light Emitting Diode* 34
Reatores para Lâmpadas de Descargas:
A Realidade Brasileira 36
Eletromagnéticos 36
Eletrônicos 38
Diferenças entre Baixa e Alta Performance 40
Reatores com Controle de Luminosidade 41
Certificação 42
Circuitos de Acionamentos para LED 43
Drivers 43
CAPÍTULO 3: CERTIFICAÇÃO E NORMALIZAÇÃO **46**
Órgãos Regulamentadores 46
Certificação 47
A Normalização 48
Fluorescentes Tubulares e Acessórios 49
Lâmpadas LED 51

CAPÍTULO 4: O OLHO HUMANO E A PERCEPÇÃO DE CORES **56**
A Fisiologia do Olho: Os Fotorreceptores 56
A Visão Humana e a Colorimetria 58
Percepção de Cores 58
Curva de Sensibilidade do Olho Humano 59
Especificação de Cor de uma Fonte de Luz 60
Colorimetria 62
A Evolução das Cores 63
Diagrama de Cromaticidade CIE (1931) 71
CAPÍTULO 5: DISTÚRBIOS DA VISÃO **74**
Daltonismo 74
Tipos de Daltonismo 75
Testes Padrões Aplicados à Percepção de Cores 77
Teoria dos Testes/Metodologia 79
Testes Específicos 84
Outros Anomaloscópios 84
Testes com Placas Pseudoisocromáticas 85
Testes de Arranjos 88
Testes Emergentes 88
Avaliação Visual da Cor 90
Estudo de Caso do uso de Lâmpadas LED já Realizado no Brasil 93
CAPÍTULO 6: METODOLOGIA **99**
Análise dos Painéis LED 111
Aplicação dos Testes 119
CAPÍTULO 7: ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS **125**
Análises Gerais 125
Estatísticas dos Respondentes 127
Observações dos Mediadores 129

Análises Estatísticas 137
CAPÍTULO 8: CONCLUSÕES 144
REFERÊNCIAS 147
LISTA DE FIGURAS 155
LISTA DE FIGURAS 158
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS 160
RESUMO 161

CAPÍTULO 1
INTRODUÇÃO

Todos os grupos sociais do mundo, desde os pequenos e isolados aos grandes e dominantes, estão passando por alteração de seus hábitos, tradições e meios de convivência. O conceito da preservação do meio ambiente e a otimização nos gastos dos recursos naturais, faz com que a sociedade repense muitas questões que hoje são relevantes. O gasto excessivo de energia por causa do crescimento descontrolado das metrópoles, implica no uso de mais recursos para atender esta demanda e, com isso, o meio ambiente e os recursos naturais vão diminuindo. Hoje, os pesquisadores estão muito preocupados em encontrar alternativas para a redução do uso de energia e, consequentemente, a preservação de um percentual maior deste meio ambiente. Essa preocupação é premente em função de se viver em um planeta onde os recursos são limitados e dessa forma, com o aumento dos gastos dos recursos naturais, para satisfazer as necessidades, torna a possibilidade de um colapso mundial em um fato que ocorrerá mais cedo ou mais tarde.

Por esse motivo, a busca constante por alternativas de uso dos recursos naturais, de forma mais racional, tem se intensificado nos últimos anos, a fim de permitir

à humanidade a sua sobrevivência sem abrir mão dos confortos que as novas tecnologias trouxeram.

Uma dessas tecnologias bastante exploradas nos últimos 15 anos foi a utilização do LED (*Light-emitting diode*) como fonte de iluminação alternativa às já existentes e mais comuns. Foi somente a partir da década de 90 que os LED evoluíram decorrentes de uma tecnologia conhecida como InGaN (construídos com uma composição dos elementos Índio, Gálio e Nitrogênio) onde foi possível a criação de LED com comprimento de ondas menores nas cores azul, verde e ciano de onde mais tarde surgiu a criação do LED branco. A evolução do LED para aplicações de iluminação de ambientes, a partir daí, virou objeto de estudo e, hoje se pode contar, no mercado, com várias opções disponíveis do LED para uso geral em iluminação.

Após estas quase duas décadas de constantes pesquisas e obtenção de ótimos resultados de desempenho e confiabilidade, uma questão começou a surgir para muitos: O LED é um ótimo meio para iluminação de interiores e áreas externas, tem uma via útil muito elevada, em relação aos tipos de lâmpadas e acessórios disponíveis no mercado e, principalmente, reduz o consumo de energia consideravelmente devido à sua relação lm/W que cresce a cada surgimento de novas opções e tecnologias na fabricação do mesmo, mas qual é a aceitação do olho humano para este novo conceito de iluminação, no momento em que se está utilizando esse tipo de lâmpada em ambientes de trabalho com uma frequência cada vez maior?

A sensibilidade do olho humano para a detecção de cores, seus comportamentos entre outros aspectos, acabou sendo um tema bem explorado na última década, não somente pela pesquisa natural da fisiologia da visão, mas também pelo fato do surgimento de novas fontes de luz que podem ser utilizadas de forma alternativa às tradicionais. A lâmpada de indução, a fibra ótica e o próprio LED são exemplos claros de tecnologias que surgiram e que ainda se desconhece alguns aspectos de funcionamento além da receptividade humana ao seu produto.

A Portaria Interministerial MME/MCT/MDIC nº 1.007/2010 estabelece que, a partir de junho de 2012, as lâmpadas incandescentes deixarão de ser fabricadas escalonadamente conforme se pode ver nas tabelas 1 e 2.

TABELA 1 – EFICIÊNCIA MÍNIMA EXIGIDA PELA PORTARIA INTERMINISTERIAL PARA LÂMPADAS INCANDESCENTES DOMÉSTICAS DE 127V

Lâmpadas incandescentes domésticas de 127V – 750 horas					
	EFICIÊNCIA MÍNIMA (lm/W)				
Potência (W)	30/06/2012	30/06/2013	30/06/2014	30/06/2015	30/06/2015
Acima de 150	20,0	24,0			
101 a 150	19,0	23,0			
76 a 100		17,0	22,0		
61 a 75		16,0	21,0		
41 a 60			15,5	20,0	
26 a 40				14,0	19,0
Até 25				11,0	15,0

FONTE: PORTARIA INTERMINISTERIAL MME/MCT/MDIC Nº 1.007/2010

TABELA 2 – EFICIÊNCIA MÍNIMA EXIGIDA PELA PORTARIA INTERMINISTERIAL PARA LÂMPADAS INCANDESCENTES DOMÉSTICAS DE 220V

Lâmpadas incandescentes domésticas de 220V – 1.000 horas					
	EFICIÊNCIA MÍNIMA (lm/W)				
Potência (W)	30/06/2012	30/06/2013	30/06/2014	30/06/2015	30/06/2015
Acima de 150	18,0	22,0			
101 a 150	17,0	21,0			
76 a 100		14,0	20,0		
61 a 75		14,0	19,0		
41 a 60			13,0	18,0	
26 a 40				11,0	16,0
Até 25				10,0	15,0

FONTE: PORTARIA INTERMINISTERIAL MME/MCT/MDIC Nº 1.007/2010

Isso representa que as lâmpadas incandescentes que não estiverem dentro da faixa estabelecida deixarão de ser fabricadas e, portanto, o mercado vai precisar substituir essa falta por alguma outra opção. Isso já vem acontecendo, conforme mostrado na tabela 3. Segundo a Abilux (Associação Brasileira da Indústria de Iluminação), a lâmpada LED já aparece sendo comercializada.

TABELA 3 – CONSUMO DE LÂMPADAS RESIDENCIAIS 2012/2013

Consumo de lâmpadas residenciais (milhões por ano)	
Incandescentes	250
Fluorescentes Compactas	200
Fluorescentes Tubulares	90
Halógenas	20
Led	0,5

FONTE: ABILUX – COMEMORAÇÃO DE 80 ANOS

Ainda, segundo projeção da Abilux, o consumo das lâmpadas LED tende a crescer 100% ao ano no Brasil. Diante deste cenário, a pesquisa das lâmpadas LED, em diversos âmbitos, é de suma importância e o comportamento da visão humana junto a essa tecnologia é uma área que precisa ser explorada.

A interferência desse tipo de tecnologia na percepção das cores, pode alterar significativamente resultados importantes em pesquisas e análise de dados, onde a definição da cor pode representar alterações em testes de laboratórios químicos e biológicos, como exames de cromatografia e análise clínicas.

OBJETIVOS

OBJETIVOS GERAIS

O objetivo deste trabalho é avaliar a influência da lâmpada LED na identificação de cores em laboratórios de análises químicas, biológicas, ambientes onde se trabalha com alimentos e outros tantos onde é possível considerar que a identificação de cores é essencial, locais esses onde as lâmpadas LED estejam sendo utilizadas como iluminação geral ou em usos específicos.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Identificar todas as características importantes dos ambientes e que possam influenciar nas definições do projeto luminotécnico elaborado;

Elaborar os projetos luminotécnicos utilizando a ferramenta de simulação Dialux EVO de forma a se obter uma reprodução bem próxima à realidade após a instalação das fontes de luz;

Aplicar os testes propostos para identificar as cores no ambiente escolhido com as três fontes de luz: lâmpada fluorescente tradicional, painel de LED e lâmpada tubular LED;

Fazer um comparativo com os resultados obtidos para identificar possíveis distorções na identificação de cores utilizando o método de comparação.

ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em oito capítulos, sendo este primeiro a introdução e a justificativa, hipóteses e objetivos dos estudos; o segundo capítulo descreve algumas grandezas luminotécnicas, um histórico das lâmpadas mais utilizadas e as lâmpadas LED, reatores e *drivers* utilizados no mercado; no terceiro capítulo um resumo das normas mais importantes aplicadas à LED no Brasil; no quarto capítulo um histórico sobre a evolução das cores, as paletas de cores utilizadas, diagrama de cromaticidade e a exploração da visão humana e como ela detecta as cores; no quinto capítulo, são explorados os distúrbios mais importantes e que poderiam causar alguma alteração nos dados obtidos além de incluir a descrição de testes padrão para identificação de cores; no sexto capítulo, é apresentado toda a metodologia do estudo com a descrição do local e como os testes foram aplicados;

no capítulo sete, são apresentados os dados obtidos durante o estudo e a análise deles e, finalmente, o oitavo capítulo onde é apresentada a conclusão. Ainda foram incluídos anexos das simulações dos projetos luminotécnicos e a folha teste aplicada.

CAPÍTULO 2
ILUMINAÇÃO

Quando se fala sobre iluminação, é de suma importância citar as terminologias e alguns termos utilizados em projetos para que se possa compreender melhor toda a linguagem utilizada nesta pesquisa.

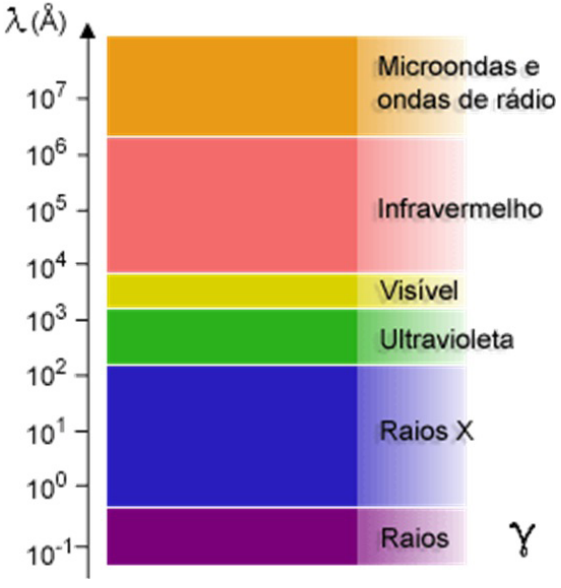
GRANDEZAS LUMINOTÉCNICAS

Iniciando pelas grandezas luminotécnicas serão citadas as mais relevantes utilizadas neste estudo. São elas (dados retirados do Dicionário Brasileiro de Eletricidade):

Luz

É a radiação eletromagnética capaz de produzir uma sensação visual, que será interpretada pelo cérebro. A faixa de comprimento de onda (λ), que produz esta sensação é situada entre 380 nm a 780 nm. A figura 1 apresenta a curva de espectro eletromagnético onde se pode ver a faixa descrita anteriormente.

FIGURA 1 - CURVA DE ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO



FONTE: PESQUISA HTTP://ENSINONOVO.IF.USP.BR

Fluxo Luminoso – (Φ) – Unidade: lúmen [lm]

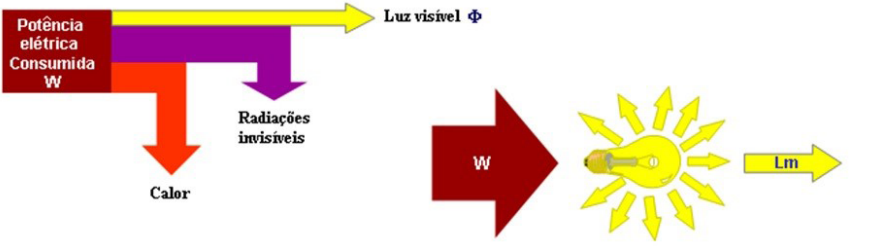
O fluxo luminoso é a quantidade de energia luminosa emitida por uma fonte de luz, medida em lúmens, na tensão nominal de funcionamento.

Eficiência Energética – Unidade lúmen por watt [lm/W]

As lâmpadas se diferenciam entre si não só pelo Fluxo Luminoso que elas irradiam, mas também pela potência elétrica que consomem. Para poder compará-las, é necessário que se saiba quantos lúmens são gerados por watt absorvido. A essa grandeza dá-se o nome de Eficiência Energética (conceito conhecido antigamente como "Rendimento Luminoso"). A figura 2 demonstra,

de forma simplificada, o fluxo do aproveitamento da luz a partir de sua fonte.

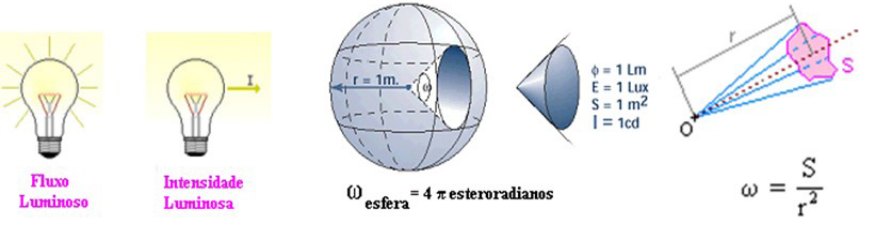
FIGURA 2 - APROVEITAMENTO DE ENERGIA EM LÂMPADAS
FONTE: PESQUISA HTTP://ENSINONOVO.IF.USP.BR



Intensidade luminosa – (I) – Unidade: candela [cd]

É o limite da relação entre o fluxo luminoso em um ângulo sólido (ω) em torno de uma direção dada e o valor desse ângulo sólido. Na figura 3, se pode ver uma ilustração que representa esta definição.

FIGURA 3 - ILUSTRAÇÃO DA INTENSIDADE LUMINOSA



FONTE: MANUAL DA ILUMINAÇÃO - OSRAM

Conforme definição constante no Sistema Internacional:

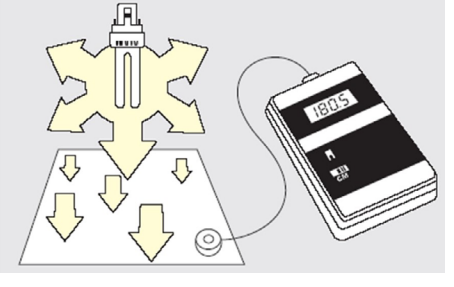
> "A candela é a intensidade luminosa, numa dada direção de uma fonte que emite uma radiação monocromática de frequência 540 x 10^{12} hertz e cuja intensidade energética nessa direção é 1/683 watt por esterradiano."

Se a fonte luminosa irradiasse a luz uniformemente em todas as direções, o Fluxo Luminoso se distribuiria na forma de uma esfera. Tal fato, porém, é quase impossível de acontecer, razão pela qual é necessário medir o valor dos lúmens emitidos em cada direção.

Iluminância ou Iluminamento – (E) – Unidade: lux [Lux]

É o fluxo luminoso incidente por unidade de área iluminada. Pode-se, também, defini-lo como sendo a densidade de fluxo luminoso recebido em um determinado ponto. A figura 4 ilustra bem o conceito de Iluminância.

FIGURA 4 - ILUSTRAÇÃO DE ILUMINÂNCIA



FONTE: MANUAL DA ILUMINAÇÃO - OSRAM

A equação 1 detalha o que a grandeza representa.

$$E = \frac{d\Phi}{dS} \quad (1)$$

Onde:

E = Iluminância – [Lux]

dΦ = Variação de Fluxo luminoso (lm)

dS = Variação de Área (m²)

Luminância – (L) – Unidade: candela por metro quadrado [cd/m²]

Os raios de luz não são visíveis, a menos que sejam refletidos em uma superfície e aí transmitam a sensação de claridade aos olhos. Essa sensação de claridade é chamada de Luminância.

Para sua determinação é utilizada a equação 2:

$$L = \frac{dI}{dS} \quad (2)$$

Onde:

L = Luminância, em cd/m²

I = Intensidade Luminosa, em cd

S = área projetada, em m²

Quando a superfície considerada não é perpendicular à direção da luz, deve-se considerar a superfície

aparente projetada através do ângulo α. A equação 3 apresenta a forma de cálculo para esta condição:

$$L = \frac{I}{S.\cos\alpha} \quad (3)$$

Onde:

L = Luminância, em cd/m²

I = Intensidade Luminosa, em cd

S = área projetada, em m²

α = ângulo considerado, em graus

Como é difícil medir a Intensidade Luminosa que provém de um corpo não radiante (através de Reflexão), pode-se recorrer à fórmula 4, a saber:

$$L = \frac{\rho.E}{\pi} \quad (4)$$

Onde:

ρ = Refletância ou Coeficiente de Reflexão

E = Iluminância sobre essa superfície

Como os objetos refletem a luz diferentemente uns dos outros, fica explicado porque a mesma Iluminância pode dar origem a Luminâncias diferentes. É importante acrescentar que o Coeficiente de Reflexão é a relação entre o Fluxo Luminoso refletido e o Fluxo Luminoso incidente em uma superfície. Esse

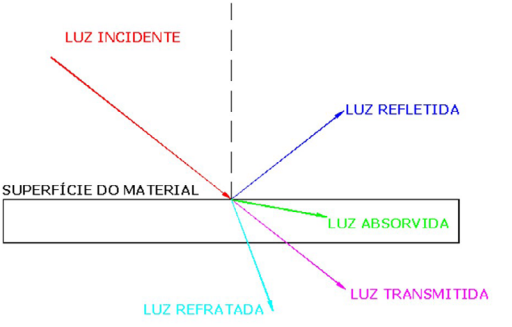
coeficiente é geralmente dado em tabelas, cujos valores estão em função das cores e dos materiais utilizados.

PROPRIEDADES LUMINOTÉCNICAS DA MATÉRIA

Grande parte da luz emitida no espaço é absorvida, refletida, refratada ou transmitida pelas superfícies dos materiais.

A figura 5 ilustra todas as propriedades luminotécnicas da matéria.

FIGURA 5 - ILUSTRAÇÃO DAS PROPRIEDADES LUMINOTÉCNICAS DA MATÉRIA



FONTE: MANUAL DA ILUMINAÇÃO - OSRAM

Absorção da Luz

Transformação de energia radiante numa forma diferente de energia por interação com a matéria.

Reflexão da Luz

Devolução da radiação por uma superfície, sem modificação da frequência dos componentes monocromáticos.

Refração da Luz

Modificação na direção de propagação de radiação, determinada pela modificação de sua velocidade, ao atravessar um meio não homogêneo, ou passando de um meio para o outro.

Transmissão da Luz

Passagem de radiação através de um meio, em modificação da frequência dos componentes monocromáticos.

Temperatura de Cor – (T) – Unidade: Kelvin [K]

Um corpo metálico aquecido passa desde o vermelho até o branco. Quanto mais claro o branco (semelhante à luz diurna ao meio-dia), maior é a Temperatura de Cor (aproximadamente 6500K). A luz amarelada, como de uma lâmpada incandescente, está em torno de 2700 K. É importante destacar que a cor da luz em nada interfere na Eficiência Energética da lâmpada, não sendo válida a impressão de que quanto mais clara, mais potente é a lâmpada. Quando se diz que um sistema de iluminação apresenta luz "quente", a temperatura de cor apresenta tons com variações do amarelo. No caso de luz "fria", a temperatura de cor apresenta tons brancos com variações do azul. Isso pode ser ilustrado na figura 6.

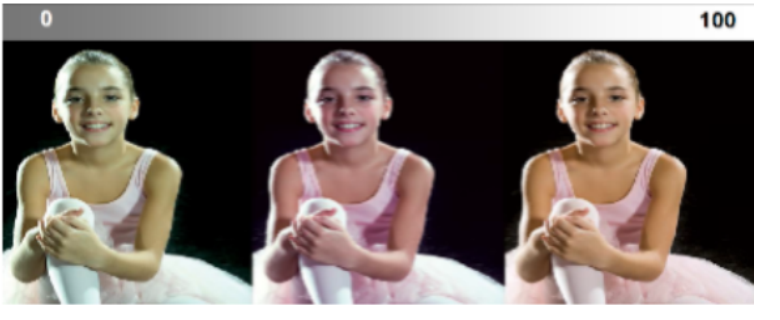
FIGURA 6 - A DIFERENÇA DAS TEMPERATURAS DE COR

FONTE: MANUAL DA ILUMINAÇÃO - OSRAM

Índice de Reprodução de Cores (IRC ou Ra)

Este índice foi criado pela Comissão Internacional de Iluminação, CIE (Commission Internationale de l'Eclairage), com o intuito de classificar as fontes luminosas por sua capacidade de reproduzir com fidelidade as cores quando comparadas com um iluminante padrão CIE. A figura 7 ilustra as diferenças da reprodução de cores com iluminação com temperaturas diferentes.

FIGURA 7 - IMAGENS QUE DESTACAM AS DIFERENÇAS DA REPRODUÇÃO DE CORES



FONTE: MANUAL DA ILUMINAÇÃO - OSRAM

AS LÂMPADAS NO MERCADO BRASILEIRO

As lâmpadas utilizadas na iluminação são classificadas de acordo com o seu mecanismo básico de produção de luz. São elas:

Lâmpadas incandescentes

Seu princípio de funcionamento se baseia na emissão de luz pela incandescência de um filamento superaquecido através da passagem de uma corrente elétrica. Em temperaturas mais elevadas, os átomos são excitados e passa a existir a emissão de luz na faixa visível quando estes decaem para um estado de menor energia. Portanto, o filamento de uma lâmpada incandescente deve ser projetado para que a sua temperatura alcance a incandescência e a porcentagem da radiação emitida na faixa do espectro visível.

Lâmpadas de descarga

As lâmpadas de descarga funcionam como o próprio nome diz, através de descargas elétricas em gases que podem ser classificadas em, pelo menos, dois tipos:

» Descarga de "*Townsend*" e
» Descarga luminescente, entre outros tipos.

Uma lâmpada à descarga apresenta um invólucro translúcido, conhecido como tubo de descarga, em cujas extremidades existem eletrodos, que podem ser hastes metálicas ou filamentos, cuja função é emitir elétrons quando aquecidos. No interior do tubo, existe uma mistura de gases com vapores metálicos a uma dada pressão. Ao se aplicar uma diferença de

potencial externa, os elétrons emitidos pelo eletrodo negativo (cátodo) são acelerados em direção ao eletrodo positivo (ânodo), colidindo no caminho, com átomos de vapor metálico. Colisões elásticas provocam aumento de temperatura sem quebrar a estabilidade do átomo, ao passo que as inelásticas provocam sua ionização. O decaimento do átomo para o seu estado de menor energia é acompanhado de emissão de radiação. A luz emitida pelas lâmpadas à descarga apresenta, em geral, uma distribuição espectral discreta, contendo as raias características dos átomos que compõem o vapor metálico.

Lâmpadas de LED

Surgiram, efetivamente, em 1962, quando um engenheiro Nick Holonyak Jr., da *General Electric*, colocou em uso o LED na cor exclusivamente vermelha. Foram utilizados para sinalização de dispositivos elétricos em geral.

Ao longo dos anos, a tecnologia de construção do LED foi aprimorando e novas opções surgiram no mercado, cuja utilização ficou mais ampla. Até que surge o LED Branco que veio a conquistar os profissionais da área de iluminação que começaram a experimentar o uso para iluminação de objetos e, num curto espaço de tempo, para iluminação de ambientes externos e internos.

Na tabela 4, é apresentado um histórico cronológico da evolução do LED bastante interessante e rico em informações.

TABELA 4 – HISTÓRICO DA EVOLUÇÃO DO LED

Ano	Acontecimento
1907	O inglês Henry Joseph Round, após a realização de suas pesquisas, descobriu que existem materiais inorgânicos que podem acender quando uma corrente elétrica é aplicada.
1921	O físico russo, Oleg Lossew, observou novamente o "efeito circular" da emissão de luz.
1927	O físico, Oleg Lossew novamente, publicou com detalhes a criação do LED amarelo.
1935	O físico francês, Georges Destriau, descobre a emissão de luz no sulfeto de zinco. Ele chama o efeito de "Luz de Lossew", porém, hoje Georges Destriau recebe o crédito como inventor da eletroluminescência.
1951	O desenvolvimento de um transistor marca uma etapa científica à frente na física de semicondutores. Agora é possível explicar a emissão de luz.
1955	O Dr. Ruben Braunstein, realizou experiências com emissão de infravermelho utilizando semicondutores de GaAS (gálio e arsênio).
1962	O primeiro diodo de luminescência vermelha (tipo GaAsP- gálio, arsênio e fósforo), desenvolvido pelo americano Nick Holonyak, entra no mercado. O primeiro LED na área do comprimento de onda visível marca o nascimento do LED produzido industrialmente.
1971	Como resultado do desenvolvimento de novos materiais de semicondutores, os LEDs são produzidos em novas cores: verde, laranja e amarelo.
1993	O japonês Shuji Nakamura desenvolve o primeiro LED azul brilhante e um LED muito eficiente na faixa do espectro verde (diodo InGaN- índio, gálio e nitrogênio). Algum tempo depois ele também desenvolveu o LED branco.
1995	O primeiro LED com luz branca da conversão da luminescência é apresentado e lançado no mercado dois anos mais tarde.
2006	Os primeiros diodos de emissão de luz com 100 lúmens por watt são produzidos. Essa eficiência pode ser superada somente pelas lâmpadas de descarga de gás.
2010	Os LEDs de uma determinada cor com eficiência luminosa gigante de 250 lúmens por watt já estão sendo desenvolvidos sob condições em laboratório. O progresso continua a avançar. Hoje, mais desenvolvimento em direção ao OLED é visto como a tecnologia do futuro.

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

LÂMPADAS INCANDESCENTES CONVENCIONAIS

São constituídas de um filamento de tungstênio, mantido no interior de um bulbo sob vácuo ou com

uma atmosfera gasosa não halógena. São classificadas de acordo com o seu campo de aplicação:

» Lâmpada de médio e grande porte para orientação e iluminação geral de interiores e exteriores;

» Lâmpadas em miniatura para utilização em aplicações automotivas, sinalização, luminárias portáteis ou de uso especial;

» Lâmpadas fotográficas para aplicações em projetores, estúdio e câmaras escuras e

» Lâmpadas infravermelhas para aquecimento e aplicações medicinais.

A ilustração apresentada na figura 8 exibe um dos tipos de lâmpadas incandescentes disponível no mercado:

A figura 8 mostra alguns modelos de lâmpadas incandescentes disponíveis no mercado.

FIGURA 8 - ILUSTRAÇÃO DE MODELO DE LÂMPADAS INCANDESCENTES

FONTE: MANUAL DA ILUMINAÇÃO - OSRAM

LÂMPADAS INCANDESCENTES HALÓGENAS

A lâmpada halógena é uma lâmpada incandescente na qual se adiciona um elemento halógeno, em geral, iodo

ou bromo. O elemento halógeno reage quimicamente com as partículas de tungstênio sublimadas, formando haletos que apresentam uma temperatura de condensação inferior a 250°C. Mantendo-se a temperatura do bulbo acima deste valor, evita-se o depósito de material sublimado sobre o mesmo.

Por outro lado, correntes térmicas transportam os haletos novamente para as regiões de alta temperatura onde ocorre a sua dissociação e o tungstênio retorna ao filamento. A necessidade de elevadas temperaturas de filamento exige a presença de uma atmosfera protetora, geralmente uma mistura de nitrogênio com um gás inerte (argônio ou criptônio) na proporção de 0,1% a 1% do elemento halógeno, para reduzir a taxa de sublimação do tungstênio.

As ilustrações apresentadas na figura 9, exibe alguns tipos de lâmpadas incandescentes halógenas disponíveis no mercado.

FIGURA 9 - ILUSTRAÇÃO DE LÂMPADAS INCANDESCENTES HALÓGENAS

(a) (b) (c) (d)

(a) Dicróica em tensão de rede; (b) Refletora em tensão de rede; (c) Halógenas em tensão de rede; (d) Com refletor dicróico

FONTE: MANUAL DE ILUMINAÇÃO OSRAM

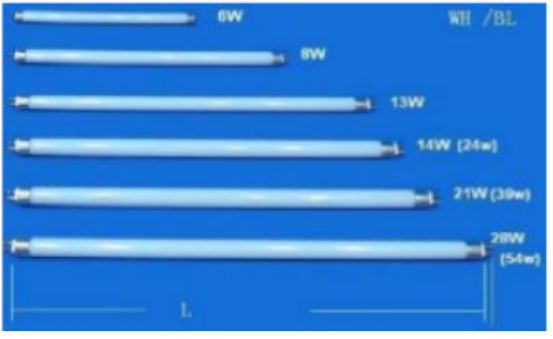
LÂMPADAS À DESCARGA DE BAIXA PRESSÃO

As lâmpadas à descarga de baixa pressão utilizam vapores metálicos (mercúrio ou sódio) a pressões da ordem de 10^{-3} atmosferas e operam com uma densidade de potência de arco da ordem de 0,5 W/cm a 2 W/cm. A radiação emitida pela descarga apresenta uma distribuição espectral, onde se destacam as raias predominantes dos átomos que constituem o vapor metálico. Estão disponíveis no mercado as lâmpadas à descarga de baixa pressão de vapor de mercúrio, conhecidas como lâmpadas fluorescentes.

Lâmpadas fluorescentes

Nessa lâmpada, o tubo de descarga de vidro transparente, é revestido internamente com uma camada de pó branco, genericamente conhecido como fósforo. Esse material atua como um conversor de radiação, ou seja, absorve um comprimento de onda específico de radiação ultravioleta, produzida por uma descarga de vapor de mercúrio a baixa pressão, para emitir luz visível. Na figura 10, são apresentados alguns exemplos de lâmpadas fluorescentes comuns disponíveis no mercado.

FIGURA 10 - ILUSTRAÇÃO DE LÂMPADAS FLUORESCENTES TABULARES



FONTE: MANUAL DA ILUMINAÇÃO - OSRAM

Lâmpadas fluorescentes compactas

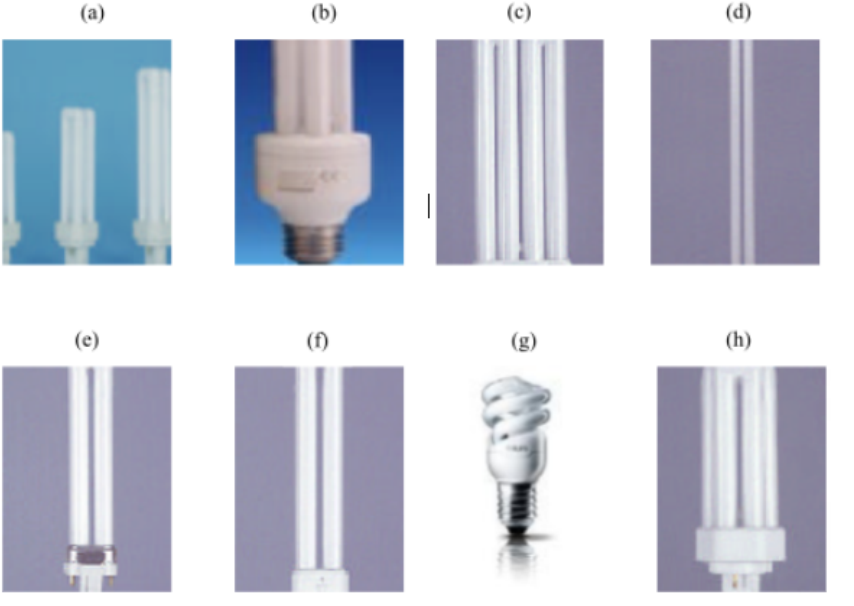
Esta lâmpada foi introduzida no mercado no início da década de 80 e apresenta alguns detalhes construtivos que a diferenciam das lâmpadas fluorescentes tubulares convencionais, porém, seu princípio de funcionamento é idêntico. Ela é constituída de um tubo de vidro do tipo T4 ou T5 (que representa o diâmetro do tubo), com revestimento de "tri-fósforo" e filamentos nas suas extremidades. Existem diversas formas construtivas para o tubo de descarga. As mais comuns são:

» Um tubo único curvado em "U";
» Dois tubos independentes, unidos por uma ponte;
» Três tubos independentes, unidos por uma ponte, e
» Dois tubos entrelaçados formando um espiral.

Em geral, a lâmpada compacta só apresenta duas conexões elétricas, uma vez que os filamentos se encontram ligados em série através de um "starter", o qual fica alojado num invólucro na base da lâmpada. A

figura 11 mostra exemplos do mercado das lâmpadas fluorescentes compactas.

FIGURA 11 - ILUSTRAÇÃO DE LÂMPADAS
LÂMPADAS FLUORESCENTES COMPACTAS



(a) Compacta dupla; (b) Com reator incorporado; (c) Compacta "Flat"; (d) Compacta longa; (e) Compacta simples; (f) Compacta para corrente contínua; (g) Compacta em espiral; (h) Compacta Tripla.

FONTE: MANUAL DE ILUMINAÇÃO OSRAM

LED – LIGHT EMITTING DIODE

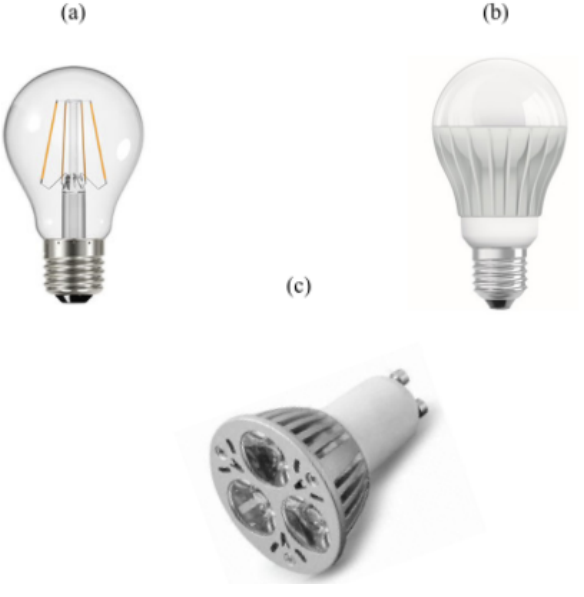
Vários tipos de lâmpadas, descritas anteriormente, já tem suas versões com LED. Alguns modelos disponíveis podem ser vistos nas figuras 12 e 13.

FIGURA 12 - EXEMPLOS DE LÂMPADA LED

(a) Tubulares; (b) Formato de chamas;
(c) Fluorescente compacta;

FONTE: FOTOGRAFIAS DE PRÓPRIA AUTORIA

FIGURA 13 - EXEMPLOS DE LÂMPADA LED



(a) Incandescente; (b) Incandescente refletora;
(c) Halógena diacróica;

FONTE: FOTOGRAFIAS DE PRÓPRIA AUTORIA

REATORES PARA LÂMPADAS DE DESCARGAS: A REALIDADE BRASILEIRA

Reatores são equipamentos auxiliares necessários para o acendimento de lâmpadas de descarga (fluorescentes ou HID "*High Intensity Discharge*"). Servem para limitar a corrente e adequar as tensões ao perfeito funcionamento das lâmpadas. Podem ser eletromagnéticos ou eletrônicos. A correta aplicação dos reatores garante melhor desempenho para os projetos elétrico e luminotécnico, contribuindo diretamente para a manutenção do fluxo luminoso para a vida útil da lâmpada.

ELETROMAGNÉTICOS

Os eletromagnéticos fazem parte da primeira geração de reatores. São constituídos por um núcleo de aço silício (com baixas perdas) e bobinas de fio de cobre esmaltado, impregnados com resina de poliéster e com carga mineral, tendo grande poder de isolamento e dissipação térmica. Conhecidos como reatores "pesados" são divididos em duas categorias por princípio de funcionamento:

Partida convencional: precisam de um "*starter*" para o acendimento da lâmpada. Indicados para locais úmidos, de baixa temperatura ou sem condições de aterramento, e

Partida rápida: não há necessidade de "*starter*" e a lâmpada acende rapidamente (desde que associado ao uso de uma luminária de chapa metálica devidamente

aterrada). Nesse tipo, os filamentos são aquecidos constantemente pelo reator, o que facilita o acendimento da lâmpada em curto espaço de tempo. Indicados para ambientes agressivos como, por exemplo, locais onde se faz galvanoplastia.

Há divergências quanto ao futuro dos reatores eletromagnéticos. Alguns fabricantes acreditam que acabarão sendo definitivamente substituídos, pois, a tecnologia dos reatores eletrônicos está em plena evolução e conquista cada vez mais espaço. Há fabricantes, entretanto, que afirmam que ainda há o que evoluir na tecnologia eletromagnética e que reatores deste tipo ainda serão largamente consumidos por um bom tempo. Defendem que, analisando-se, por exemplo, reatores HID, a família dos eletrônicos está limitada industrialmente à potência de 150 W e se restringe, na maioria dos casos, à iluminação interna. O serviço pesado fica por conta dos eletromagnéticos que, além de atenderem a todas as potências (até 3500W), são extremamente resistentes, tanto a intempéries atmosféricas quanto a oscilações da rede elétrica, com vida média superior a 20 anos. Esta é uma das razões pelas quais em lâmpadas de descarga à alta pressão – como as de vapor de mercúrio, vapor de sódio ou de vapores metálicos, entre outras – de potências superiores a 150W – são normalmente utilizados reatores do tipo eletromagnético.

Algumas lâmpadas necessitam de um ignitor, que tem a função semelhante ao "*starter*" nas fluorescentes. Todos os ignitores são eletrônicos.

Os ignitores fornecem um pico de tensão para o acendimento da lâmpada e para que as do tipo de descarga de alta pressão acendam corretamente, deverá ser obedecida uma distância máxima entre reator e lâmpada, caso contrário, pode ocorrer queda de tensão. Essa distância varia de acordo com o tipo de lâmpada.

ELETRÔNICOS

Os reatores eletrônicos são aqueles constituídos por componentes eletrônicos (capacitores, indutores, resistores, circuitos integrados e outros).

Operam em alta frequência (de 20 kHz a 50 kHz), proporcionando economia de energia, pois eles têm menores perdas elétricas, se comparados com os reatores eletromagnéticos.

Presentes no mercado desde meados dos anos 80 são o que há de mais moderno em termos de reatores para lâmpadas de descarga. No Brasil, o desenvolvimento de reatores nacionais se iniciou em 1985.

Conhecidos como reatores "leves", os eletrônicos apresentam inúmeras vantagens em relação aos eletromagnéticos, entre as quais:

» São mais compactos;
» Mais leves;
» Consomem menos energia;
» Aumentam a vida útil das lâmpadas;
» Eliminam efeitos estroboscópicos;
» São mais eficazes;
» Apresentam versões diferenciadas de acendimento;

» Proporcionam uma luz com cor mais estável e

» Apresentam melhor manutenção lumínica (condições que garantam uma melhor luminância na área).

Quanto ao acendimento da lâmpada, podem ser de:

Partida rápida ou programada: o acendimento controla eletronicamente o sistema de pré-aquecimento dos filamentos da lâmpada. O reator gera uma pequena tensão em cada filamento e, em seguida, uma tensão de circuito aberto surge entre os extremos da lâmpada. O tempo entre a energização do reator e o acendimento das lâmpadas fluorescentes ocorre em torno de 1 a 2,5 segundos.

Partida instantânea: nesse sistema não há o pré-aquecimento dos filamentos. O reator gera diretamente a tensão de circuito aberto para o acendimento instantâneo das lâmpadas fluorescentes.

Independentemente do tipo de partida, o reator deve assegurar as características necessárias para o correto funcionamento da lâmpada, sem comprometer sua vida útil ou mediana. Suas principais características são:

» Alto fator de potência (os de qualidade superior);

» Alta frequência (elimina o efeito estroboscópico e o de cintilação);

» Baixa carga térmica, que resulta em economia de energia;

» Aumento de vida útil da lâmpada em 50% (os de alta performance);

» Economia de energia em torno de 50% e

» A possibilidade de dimerização e utilização de sistemas inteligentes, com redução no consumo de energia de até 70% em comparação com os eletromagnéticos.

Tais características dependem, entretanto, da qualidade do projeto e da fabricação do produto. O fato de o reator ser eletrônico, não significa, necessariamente, que corresponderá a todas as vantagens que se espera de um modelo desta tecnologia.

Por serem equipamentos eletrônicos de alta frequência, podem causar interferências que vão desde ruídos no rádio ou estremecimento de imagem da TV, até o colapso de sistemas de computadores, comunicação, segurança, monitores hospitalares, entre inúmeros outros, caso não possuam filtros contra essas interferências.

Quando se deseja um sistema elétrico de qualidade, como instalações em bancos, lojas, indústrias, hospitais, escritórios e grandes obras, convém optar por reatores de alta performance.

DIFERENÇAS ENTRE BAIXA E ALTA PERFORMANCE

Esta classificação diz respeito apenas aos reatores eletrônicos.

Aqueles que são de baixa performance são conhecidos como "acendedores eletrônicos", porque acendem a lâmpada única e exclusivamente, espalhando sujeira

(tecnicamente chamada de harmônicos) na corrente elétrica. Normalmente são mais baratos, de baixo fator de potência e reduzem a vida útil da lâmpada em 50%. Nessa linha mais barata de reatores, existem alguns que até são de alto fator de potência – o que não deve ser confundido com alta performance.

Os reatores eletrônicos de alta performance possuem alto fator de potência, filtros harmônicos e proteções contra sobretensão, sobrecorrente e condições anormais. Um de seus indicadores de qualidade é a THD (Taxa de Distorção Harmônica), cujo valor deve ser menor que 10% (mínimo exigido pelo PRODIST da ANEEL de 01/01/2015).

REATORES COM CONTROLE DE LUMINOSIDADE

Uma enorme vantagem dos reatores eletrônicos é poderem ser associados a *dimmers* (são dispositivos utilizados para variar a intensidade de uma corrente elétrica média em uma carga) em uma ampla faixa. Este avanço tecnológico permite o controle do nível da iluminação fluorescente – o que era impossível até então. Pode-se conseguir uma economia de energia de até 70% em relação a um sistema com os reatores eletromagnéticos.

Os modelos "dimerizáveis" podem ser usados em conjunto com sensores de presença e de movimento, possibilitando a integração a sistemas de controle e gerenciamento inteligentes.

CERTIFICAÇÃO

O processo de certificação para reatores eletrônicos foi coordenado pelo INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – com o objetivo assegurar que os produtos comercializados no mercado brasileiro estejam em conformidade com os requisitos exigidos pela ABNT (normas NBR14417 e NBR14418/1999). Pela Portaria 27 de 14 de fevereiro de 2002, do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior – MDIC, todos os reatores eletrônicos só podem ser comercializados se apresentarem certificação acompanhada de selo do INMETRO.

Alguns fabricantes, entretanto, alertam aos especificadores e consumidores sobre o fato de que a certificação é apenas uma condição prévia para que o produto chegue ao mercado, mas não representa, nem garante qualidade do produto. Ela é um indicador de que o fabricante cumpriu o mínimo necessário especificado na norma, porém a durabilidade e a confiabilidade do reator estão no esmero do projeto e na qualidade dos componentes utilizados. O processo industrial precisa de vários controles de qualidade durante a fabricação, devido ao grande número de componentes eletrônicos montados e interligados um a um. A tabela 5 mostra um comparativo dos tipos de reatores utilizados.

TABELA 5 – COMPARAÇÃO ENTRE REATORES ELETROMAGNÉTICOS E ELETRÔNICOS

REATORES - Equipamentos auxiliares para o acendimento de lâmpadas de descarga			
ELETROMAGNÉTICOS (primeira geração de reatores)		**ELETRÔNICOS** (tecnologia mais moderna)	
Partida Convencional (precisam de starter)	**Partida Rápida** (não precisam de starter)	**Partida Rápida**	**Partida Instantânea**
Características		**Características**	
Grande poder de isolamento e dissipação térmica. Normalmente utilizados em lâmpadas de descarga a alta pressão, como as de vapor de mercúrio, vapor de sódio ou de vapores metálicos, entre outras, de potências superiores a 150W. Sendo que algumas necessitam de um ignitor que tem a função semelhante ao *starter* nas fluorescentes. Atendem a todas as potências (até 3500W). Extremamente resistentes tanto à intempéries atmosféricas quanto à oscilações da rede elétrica. Vida média superior a 20 anos. Menor preço de aquisição. Peso e tamanho são desvantagens.		Alto fator de potência (os de qualidade superior) Alta frequência (elimina o efeito estroboscópico e o de cintilação). Baixa carga térmica, que resulta em economia de energia. Aumento da vida útil da lâmpada em 50% (os de alta performance). Economia de energia em torno de 50%. Possibilidade de dimerização e utilização de sistemas inteligentes, com redução no consumo de energia de até 70% na comparação com os eletromagnéticos. Podem causar interferências que vão desde ruídos no rádio ou estremecimento de imagem da TV até o colapso de sistemas de computadores, de comunicação, segurança, monitores hospitalares, entre inúmeros outros, caso não possuam filtros contra interferências.	

FONTE: LUME ARQUITETURA

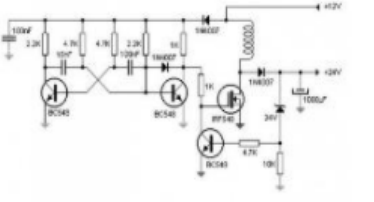
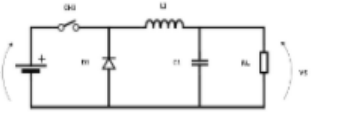
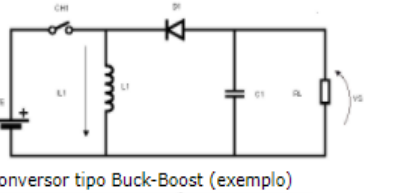
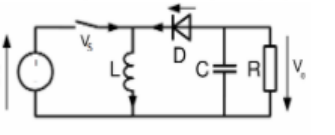
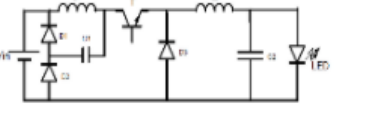
CIRCUITOS DE ACIONAMENTOS PARA LED *DRIVERS*

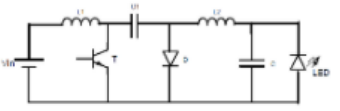
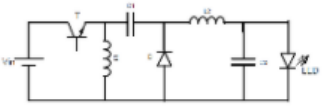
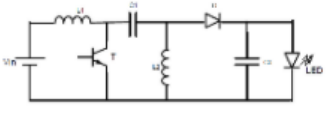
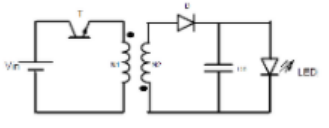
Enquanto que as lâmpadas fluorescentes necessitam de reatores para seu acendimento, o LED necessita de acessórios parecidos, porém com circuitos especiais, que são comercializados e conhecidos como *drivers*. Basicamente, os *drivers* são conversores de corrente

e tensão, mudando a entrada de CA para uma saída CC. Além disso, são fundamentais para o controle dos níveis de energia que chegam ao diodo no momento do acionamento.

Os circuitos mais comuns para *drivers* são apresentados pela tabela 6:

TABELA 6 – RELAÇÃO DOS CIRCUITOS DE ACIONAMENTO PARA LED E SUAS CARACTERÍSTICAS

Conversores	Descrição	Circuito Eletrônico
Conversores CC-CC	O controle da tensão de saída é conseguido através de modulação de largura de pulso a uma frequência fixa (RASHID, 1999)	Conversor CC-CC de 12V para 24V (exemplo de circuito) 
Conversor Buck	Neste tipo, a tensão média de saída é menor que a tensão média de entrada (chamado também de conversor abaixador)	Conversor tipo Buck (exemplo) 
Conversor Boost	Neste tipo, ao contrário do Conversor Buck, a tensão de saída é maior que a tensão de entrada (chamado de conversor elevador)	Conversor tipo Boost (exemplo) 
Conversor Buck-Boost	A junção dos dois conversores, com tensão de saída menor ou maior que a tensão de entrada com polaridades invertidas à da entrada (RASHID,1999)	Conversor tipo Buck-Boost (exemplo) 
Conversor Buck Quadrático	Criada a partir da junção de dois conversores Buck conectados em série	Conversor tipo Buck Quadrático (exemplo) 

Conversores Cùk	Formado por um conversor Buck e um Boost em série e é semelhante ao conversor Buck-Boost apresentando tensão de saída maior ou menor que a da entrada dependendo dos instantes de condução do transistor	Conversor Cùk (exemplo) 
Conversor Zeta	Formado por um conversor Buck-Boost e um Buck conectado em série , assim a tensão de saída pode ser inferior ou superior a de entrada, porém ter a polaridade invertida	Conversor Zeta (exemplo) 
Conversor SEPIC	Formado por um conversor Boost em série com um conversor Buck-Boost apresentando a corrente de entrada contínua e a tensão de saída não possui polaridade invertida	Conversor SÈPIC (exemplo) 
Conversor Flyback	Tem características de fornecimento de tensão dos conversores Buck e Boost e podem fornecer tensão de saída superior ou inferior a de entrada, porém possui isolação entre a fonte de tensão e o circuito conversor	Conversor Flyback (exemplo) 

(**FONTE:** MONTEIRO,2015)

CAPÍTULO 3
CERTIFICAÇÃO E NORMALIZAÇÃO

Com o surgimento de novas tecnologias, em qualquer segmento, torna-se necessário a normalização na produção destes produtos para garantir uma padronização na qualidade e, assim, ampliar a concorrência no mercado.

Dessa forma, as normas para o uso de lâmpadas e seus equipamentos auxiliares têm sido escritas e/ou revisadas. No caso do LED, essas normas ainda estão sendo adaptadas à nossa realidade e vale a pena resumi-las.

Serão citadas algumas normas referentes às Lâmpadas Fluorescentes e seus acessórios devido ao fato da mesma ter sido utilizada como elemento de comparação neste trabalho. O maior enfoque será dado para as Lâmpadas LED que são o maior destaque no nosso estudo.

ÓRGÃOS REGULAMENTADORES

Os órgãos regulamentadores têm como função controlar a aplicação das normas pertinentes em uma determinada área de abrangência ou país. Cabe a estes órgãos publicarem portarias, nas quais estão

definidas as regras de fiscalização e controle das marcas ostentadas nos produtos.

CERTIFICAÇÃO

Certificação é o procedimento pelo qual um organismo certificador, também chamado de terceira parte, dá uma garantia escrita de que um produto ou sistema está em conformidade com requisitos especificados, após serem feitos ensaios exigidos pelas normas pertinentes em um laboratório credenciado para tal finalidade. Essa garantia é fornecida através de uma marca registrada, que indica que um produto ou sistema cumpre as exigências de uma norma específica ou diretiva.

Na figura 13, observa-se a etiqueta de um produto com algumas marcas de conformidade como, por exemplo, a marca dos Estados Unidos (UL), a marca do Canadá (CSA), a marca da Alemanha (VDE) e a marca CE da comunidade europeia, entre outras. Além das marcas de conformidade, também está indicada a norma a que o produto atende a norma internacional IEC 60950, cujo escopo é a segurança de equipamentos ligados à tecnologia de informação, ou seja, qualquer equipamento utilizado para processamento de informações como, por exemplo: microcomputador, impressora, fax, copiadora e outros equipamentos conectados aos que foram citados.

FIGURA 13 - MARCAS DE CONFORMIDADE

FONTE: MAGNUS, ET AL

A NORMALIZAÇÃO

A normalização é o processo de estabelecer e aplicar parâmetros a fim de abordar ordenadamente uma atividade específica, com a participação de todos os interessados, levando em conta as condições funcionais e as exigências de segurança. Seus objetivos são:

» Proporcionar uma maior troca de informações entre clientes e fornecedores, com vistas a garantir a confiabilidade entre produtos;

» Padronizar para haver uma compatibilidade entre produtos;

» Garantir os direitos do consumidor através da garantia da qualidade;

» Garantir a segurança do usuário através da conformidade com as normas, e

» Eliminar barreiras comerciais com adoção de critérios únicos.

Os principais órgãos responsáveis pela normalização são:

» A nível internacional, a Organização Internacional de Normalização (ISO), a Comissão Eletrotécnica Internacional (IEC), entre outras;

» A nível regional, o Comitê MERCOSUL de Normalização (CMN), a comissão Pan-americana de Normas Técnicas (COPANT), o Comitê Europeu de Normalização (CEN), entre outros;

» A nível nacional, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), o Instituto Argentino de Normalização (IRAM), o Instituto de Normalização Nacional Americano (ANSI), o Instituto de Normalização Britânica (BSI), entre outros.

» Normas ABNT para lâmpadas

FLUORESCENTES TUBULARES E ACESSÓRIOS

As lâmpadas fluorescentes tubulares surgiram no mercado em 1938 e foram inventadas por Nikola Tesla. Desde sua entrada no mercado, muitas mudanças foram ocorrendo na forma de uso, forma de fabricação e uso final da mesma. Com isso, as normatizações foram modificando de época em época, chegando a normas atuais apresentadas na tabela 7.

TABELA 7 – LISTA DE NORMAS ATUAIS APLICADAS À LÂMPADAS FLUORESCENTES TUBULARES

Título	Descrição	Entrou em vigor em:
ABNT NBR 14417:2011	Reatores eletrônicos em corrente alternada para lâmpadas fluorescentes tubulares – Requisitos gerais de segurança	13/01/2011
ABNT NBR 14418:2011	Reatores eletrônicos alimentados em corrente alternada para lâmpadas fluorescentes tubulares – Prescrições de desempenho	28/01/2011
ABNT NBR 14538:2000	Lâmpada fluorescente com reator integrado à base para iluminação geral – Requisitos de segurança	30/06/2000
ABNT NBR 14539:2000	Lâmpadas fluorescente com reator integrado à base para iluminação geral – Requisitos de desempenho	30/06/2000
ABNT NBR 5114:1998	Reatores para lâmpadas fluorescentes tubulares - Especificação	30/06/1998
ABNT NBR 5172:1998	Reatores para lâmpadas fluorescentes - Ensaios	30/06/1998
ABNT NBR 9312:2011	Receptáculos para lâmpadas fluorescentes e starters - Especificações	31/03/2011
ABNT NBR 9329:2012	Receptáculos para lâmpadas fluorescentes e starters – Método de ensaios	08/11/2012
ABNT NBR IEC 60081:1997	Lâmpadas fluorescentes tubulares para iluminação geral	30/07/1997
ABNT NBR IEC 60598-2-19:1990	Luminárias	30/12/1999
ABNT NBR IEC 60901:1997	Lâmpadas fluorescentes de base única – Prescrições de desempenho	30/01/1997
ABNT NBR IEC 60968:2014	Lâmpada fluorescentes com reator integrado à base para iluminação geral – Requisitos de segurança	14/03/2014
ABNT NBR IEC 60969:2014	Lâmpadas fluorescentes com reator integrado à base para iluminação geral – Requisitos de desempenho	01/04/2014
ABNT NBR IEC 61195:2014	Lâmpadas fluorescentes tubulares – Especificações de segurança	12/03/2014

FONTE: ABNT,2015

Os LED, como já foram apresentados no item 2.2.4, surgiram para aplicação no mercado de iluminação em 1997. A partir daí as normas se tornaram necessárias para a padronização do produto, principalmente, pelo fato de que os de alta potência são todos importados.

Aqui no solo brasileiro, as normas de iluminação são discutidas em quatro grupos de estudo dentro da Comissão de Eletricidade. Esses grupos estão apresentados na tabela 8.

TABELA 8 – RELAÇÃO DOS GRUPOS DE TRABALHO DA COMISSÃO DE ELETRICIDADE

Grupo	Comissão
CE03:034.1	Lâmpadas elétricas
CE03:034.2	Reatores, ignitores, transformadores e controles
CE03:034.3	Luminárias e acessórios
CE03:034.4	Aplicações luminotécnicas e medições fotométricas

FONTE: EXPER SOLUTIONS, 2015

Esses grupos se reúnem para discutir e viabilizar condições mínimas e adequadas para os produtos que circulam no mercado. Para isso, como essas reuniões são abertas ao público, compõe-se de representantes dos segmentos da indústria nacional, empresas importadoras, laboratórios, universidades, concessionárias de energia, entidades governamentais como Eletrobrás e Inmetro, arquitetos de iluminação e todos aqueles profissionais da área interessados em contribuir para esse fim. A tabela 9, apresenta uma

lista das normas já discutidas e adaptadas à realidade brasileira.

TABELA 9 – LISTA DE NORMAS ATUAIS APLICADAS A LÂMPADAS COM LED

Título	Descrição	Entrou em vigor em:
ABNT IEC/PAS 62612:2013	Lâmpadas LED com dispositivo de controle incorporado para serviços de iluminação geral – Requisitos de desempenho	08/05/2013
ABNT NBR 16205-1:2013	Lâmpadas LED sem dispositivo de controle incorporado de base única	20/08/2013
ABNT NBR 16205-2:2013	Lâmpadas LED sem dispositivo de controle incorporado de base única	20/08/2013
ABNT NBR IEC 62560:2013	Lâmpadas LED com dispositivo de controle incorporado para serviços de iluminação geral para tensão > 50V – Especificações de segurança	14/05/2013

FONTE: ABNT,2015

a. **ABNT IEC/PAS 62612:2013** – Lâmpadas LED com dispositivo de controle incorporado para serviços de iluminação geral – Requisitos de desempenho.

Especifica os requisitos de desempenho para lâmpadas LED com dispositivo de controle incorporado, com tensão de alimentação até 250V, juntamente com os métodos de ensaio e condições requeridas, previstas para uso doméstico e iluminação geral similar, sendo:

» Potência nominal de até 60W;

» Tensão nominal de até 250 Vca ou Vcc;

» Bases da lâmpada de acordo com ABNT NBR IEC 62560.

Esta norma não abrange lâmpada LED com dispositivo de controle incorporado que produzem intencionalmente luz colorida, nem OLED.

b. ABNT NBR 16205:2013 – Lâmpada LED sem dispositivo de controle incorporado de base única.

Especifica os requisitos de segurança e intercambialidade junto aos métodos de ensaio e condições necessárias para demonstrar a conformidade de lâmpadas LED sem reator incorporado, destinados à iluminação em geral, com:

» Potência nominal até 60W;
» Tensão nominal até 120Vc.c. sem ondulação;
» Bases de lâmpadas sem reator incorporado.

Os requisitos desta parte da norma referem-se, apenas, a ensaios de tipo.

c. ABNT NBR 16205-2:2013 – Lâmpadas LED sem dispositivo de controle incorporado de base única. Requisitos de desempenho.

Esta parte da norma especifica os requisitos de desempenho para lâmpadas LED sem dispositivo de controle incorporado de base única previstas para propósitos de iluminação em geral, com potência nominal até 30W e tensão nominal até 50 Vc.a./V c.c.

d. ABNT NBR IEC 62560:2013 – Lâmpadas LED com dispositivo de controle incorporado para serviços de iluminação geral para tensão > 50V – Especificações de segurança.

Especifica os requisitos de segurança e intercambialidade, juntamente com os métodos de ensaio e condições necessárias para demonstrar a conformidade de lâmpada LED, com meios integrados para um funcionamento pleno (lâmpadas LED com reator incorporado), previstas para uso doméstico e iluminação geral similar, tendo:

» Potência nominal até 60W;

» Tensão nominal de >50V até 250V;

» Bases dos tipos: B15d, B22d, E11, E12, E14, E17, E26, E27, GU 10, GZ 10 e GX53.

Os requisitos desta norma se referem apenas aos ensaios de tipo.

No caso específico do CE03:034.4, algumas normas se encontram ainda em discussão e, em breve, estarão disponíveis para consulta pública e, posteriormente, publicação para uso. São elas:

» IESNA LM-80-2008: Medição de manutenção de fluxo de fontes de luz LED;

» IESNA LM-79-2008: Medições elétricas e fotométricas de produtos de iluminação de estado sólido;

» IESNA TM-21-2011: Projeto da manutenção de fluxo a longo prazo de fontes de luz LED;

» CIE S015-2005: Iluminação de áreas externas de trabalho;

» IEC 62471-2006: Segurança fotobiológica de lâmpadas e sistemas de lâmpadas;

» CIE 084-1989: Medição de fluxo luminoso;

» CIE 121-1996: Fotometria e goniofotometria de luminárias;

» IESNA TM-12-2012: Efeitos espectrais da iluminação no desempenho visual em níveis de iluminação mesópica;

» IEC/TR 61341-2010: Método de medição de intensidade de centro do facho e ângulo(s) de abertura de lâmpadas refletoras;

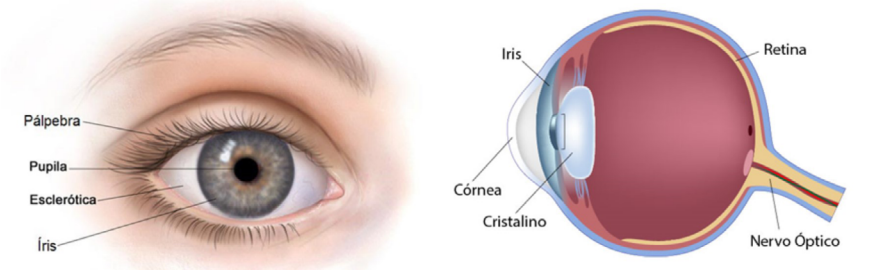
» NBR 8837-1985 – Iluminação Esportiva.

CAPÍTULO 4
O OLHO HUMANO E A PERCEPÇÃO DE CORES

A FISIOLOGIA DO OLHO: OS FOTORRECEPTORES

O olho humano é composto por várias partes com funções específicas. Na figura 14, vê-se, claramente, as partes mais importantes.

FIGURA 14 - PARTES DO OLHO HUMANO



FONTE:HTTP://TRANJAN.COM.BR/PROBLEMAS-DE-VISAO/ANATOMIA-DO-OLHO/

Conforme nos coloca (www.cbo.com.br – Conselho Brasileiro de Oftalmologia, 2011) é possível descrever essas partes como:

Pupila: Parte do olho situada no centro da íris que é responsável pela passagem de luz do meio externo para o interior do olho. Tem por finalidade regular a

quantidade de luz que passa para a retina. Por isso, na presença de luz ela retrai e na ausência dela, dilata.

Escleróticos: Conhecido como "branco dos olhos" é a camada que envolve o globo ocular.

Íris: É o círculo colorido do olho. Ao centro fica a pupila onde passa todas as imagens por ela.

Córnea: Parte saliente e anterior ao globo ocular, totalmente transparente e, juntamente com a esclerótica, forma o envoltório externo do globo ocular. Juntamente com o cristalino, ela ajusta o foco da imagem no olho.

Cristalino: Lente transparente e flexível, que está atrás da pupila. Pode ser ajustado para focar objetos e diferentes distâncias.

Nervo óptico: Estrutura formada pelo prolongamento das células nervosas que formam a retina. Tem a função de transmitir a imagem capturada pela retina para o cérebro.

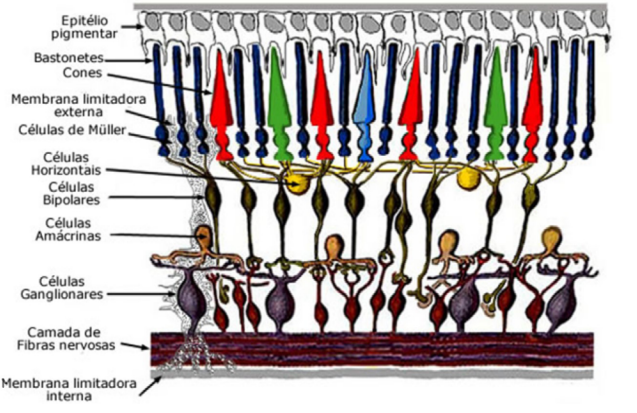
Retina: Recebe ondas de luz e converte em impulsos nervosos e que, por sua vez, são transformados em percepções visuais.

Segundo Nishida (2012), a retina é composta por células fotorreceptoras que são chamadas de cones e bastonetes. Os cones são em menor número e funcionam com bastante luz criando imagens coloridas e detalhes de objetos. Já os bastonetes funcionam com pouquíssima luz conseguindo detectar apenas um fóton, criando imagens em preto e branco na penumbra.

As informações recebidas pelos cones e bastonetes são transmitidas, interpretadas e enviadas para o cérebro através do nervo óptico.

A figura 15 mostra a composição da retina com um destaque para a posição dos cones e bastonetes.

FIGURA 15 - COMPOSIÇÃO DA RETINA



FONTE: WWW.INFOESCOLA.COM

Este trabalho não tem o intuito de analisar, identificar ou relacionar qualquer tipo de anomalia da visão. Porém, para ilustrar melhor o assunto abordado, será exposto alguns tópicos para conhecimento e facilidade de entendimento do assunto abordado.

A VISÃO HUMANA E A COLORIMETRIA

PERCEPÇÃO DE CORES

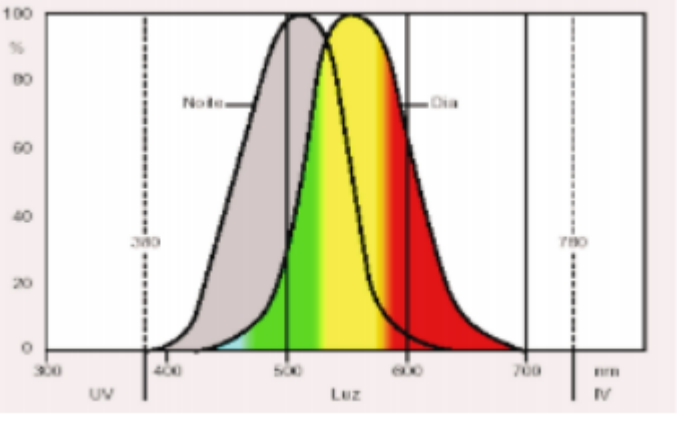
O olho humano funciona como uma câmera e forma imagens através da lenta da retina, parte mais sensível à luz. Os cones e bastonetes, apresentados

anteriormente, fazem parte deste sistema e têm papéis muito importantes na percepção das cores. Os cones são agrupados em três tipos, cada um respondendo a uma porção do espectro, como picos de respostas no azul, verde e vermelho. Com a integração destes grupos o estímulo é interpretado pelo cérebro como cor. Os cones necessitam de níveis mínimos de luminosidade, que caracterizam a visão diurna (ou fotópica). Em compensação, os bastonetes são totalmente insensíveis a cores e respondem a estímulos em baixa luminosidade, além de determinar as características da visão humana noturna. Esta é a Teoria Tricromática.

CURVA DE SENSIBILIDADE DO OLHO HUMANO

A curva de resposta do olho, na presença de uma fonte de luz constante, faz variar a percepção na retina com a cor. A curva de sensibilidade do olho humano demonstra que radiações de menor comprimento de onda (violeta e azul) geram maior intensidade de sensação luminosa quando há pouca luz, enquanto as radiações de maior comprimento de onda (laranja e vermelho) se comportam ao contrário. A figura 16 mostra essa curva de sensibilidade.

FIGURA 16 – CURVA INTERNACIONAL DE LUMINOSIDADE ESPECTRAL RELATIVA OU CURVA DE SENSIBILIDADE DO OLHO A RADIAÇÕES MONOCROMÁTICAS



FONTE: WWW.INFOESCOLA (2012)

ESPECIFICAÇÃO DE COR DE UMA FONTE DE LUZ

A especificação e medição da coloração de uma fonte de luz pode ser realizada por três métodos colorimétricos. São eles:

a. Colorimetria tri-estímulo

O olho humano possui fotorreceptores para três cores primárias (vermelho, verde e azul) e as cores são vistas como uma mistura destas três cores. Neste sistema as cores são representadas no diagrama CIE (1931) por coordenadas XY. Em 1976, este diagrama foi aperfeiçoado para deixar a distribuição de cores mais uniforme.

b. Temperatura de cor

O conceito de temperatura de cor se baseia na aparente mudança de cor de um objeto, quando submetido a várias temperaturas. Com o aumento da temperatura de um objeto, a radiação é modificada resultando, assim, uma alteração de cor.

Índice de reprodução de cores: Uma característica importante de uma fonte luminosa é a sua capacidade de reproduzir a cor natural de objetos iluminados pela mesma. Esse índice é denominado IRC e é definido como um número adimensional (de 1 a 100) que compara a qualidade da reprodução de cores de uma fonte de luz com a de um iluminante CIE padrão de mesma cor. Quanto maior for o IRC, mais fiel será a reprodução das cores sob determinada luz.

c. Espectrorradiometria

Duas fontes de luz diferentes, mas que possuem a mesma cor ou temperatura de cor podem não ter a mesma distribuição espectral de potência. Em outras palavras, uma lâmpada de 10.000K e uma outra de 10.000K, apesar de poderem ser especificadas para a mesma temperatura de cor, podem não emitir os diferentes comprimentos de onda na mesma intensidade. Portanto, o método espectrorradiométrico é o mais preciso e completo de especificar uma cor, pois considera, não somente as cores, mas também quanto de cada cor a fonte de luz emite. Os dados espectrais podem ser analisados visualmente e comparados com as informações de outras fontes de luz.

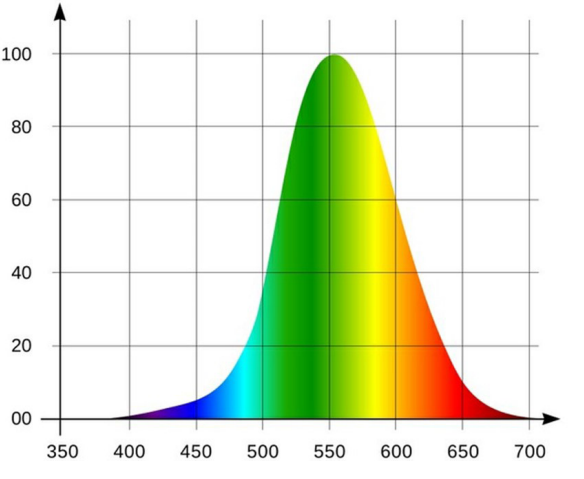
COLORIMETRIA

Segundo BRINDLEY (1953), a cor não é uma propriedade inerente aos objetos, e sim o atributo perceptual que nos permite identificar e localizar padrões ambientais de mesmo brilho sendo, portanto, uma dimensão adicional na identificação de objetos.

A colorimetria é uma forma de se medir o espectro visível das ondas eletromagnéticas que, ao estimular o olho humano, permite a distinção de diferenças na qualidade da sensação visual. Um corpo que, sob uma luz branca (vermelho, azul, verde) pode apresentar uma coloração avermelhada, é porque está refletindo as ondas de comprimento acima de 630nm e absorvendo as demais.

Pode-se visualizar essa faixa, na figura 17, onde se apresenta a curva de distribuição espectral do olho humano.

FIGURA 17 – CURVA DE DISTRIBUIÇÃO ESPECTRAL



FONTE: WWW.IPAQ.COM.BR (2015)

Objetivamente, a cor é a resposta a um estímulo luminoso captado pelo olho e interpretado no cérebro, ou seja, a cor é uma sensação.

A EVOLUÇÃO DAS CORES

Fala-se da evolução das cores quando se comenta sobre o círculo de Cores. Vários teóricos criaram círculos de cores para facilitar seus estudos e disseminar conhecimentos sob olhares diversos. A evolução histórica pode ser vista a seguir. Todos eles se basearam nas cores do arco-íris para compor seus círculos.

CÍRCULO DE ISAAC NEWTON (1643-1727)

Criou o primeiro círculo de cor e inventou um formato conveniente para o primeiro dos três atributos ou dimensões da cor – o matiz. O círculo é formado por sete cores, o mesmo número das notas musicais de uma escala diatônica, sendo elas: vermelho, laranja, amarelo, verde, azul, índigo e violeta. A figura 18 mostra o círculo de Newton.

FIGURA 18 – CÍRCULO DE NEWTON

FONTE: WWW.JOTDOWN.ES (2015)

CÍRCULO DE JOHANN WOLFGANG VON GOETHE (1749-1832)

Composto, basicamente, pelas três cores primárias (amarelo, azul e vermelho) e pelas três cores secundárias (laranja, violeta e verde). Goethe está centrado no ser humano e na percepção sensorial. A figura 19 mostra o círculo de Goethe.

FIGURA 19 – CÍRCULO DE GOETHE

FONTE: WWW.PROYECTACOLOR.CL (2015)

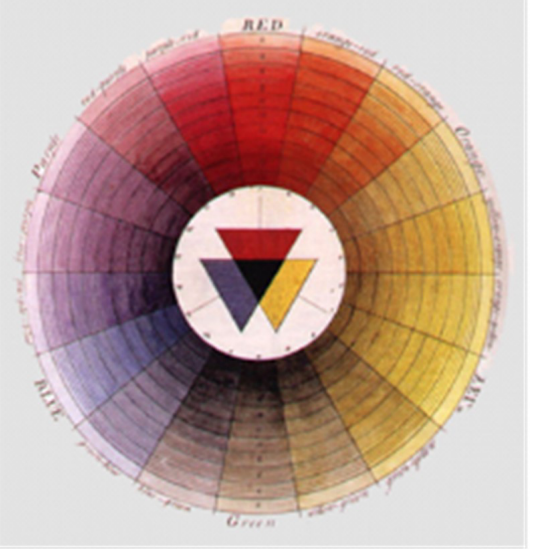
CÍRCULO DE MOSES HARRIS (1731-1785)

O "círculo prismático" de Harris inicia-se com as cores primárias – vermelha, amarela e azul. As cores intermediárias, resultantes do "círculo prismático", são base para a composição do "círculo das misturas".

No centro deste círculo, Harris demonstra o que hoje em dia é chamado de mistura subtrativa, onde o preto

é o resultado da sobreposição das cores vermelha, amarela e azul. Ele ficou atento, basicamente, na impressão que as cores criam em nossas mentes. A figura 20 mostra o círculo de Harris.

FIGURA 20 – CÍRCULO DE HARRIS

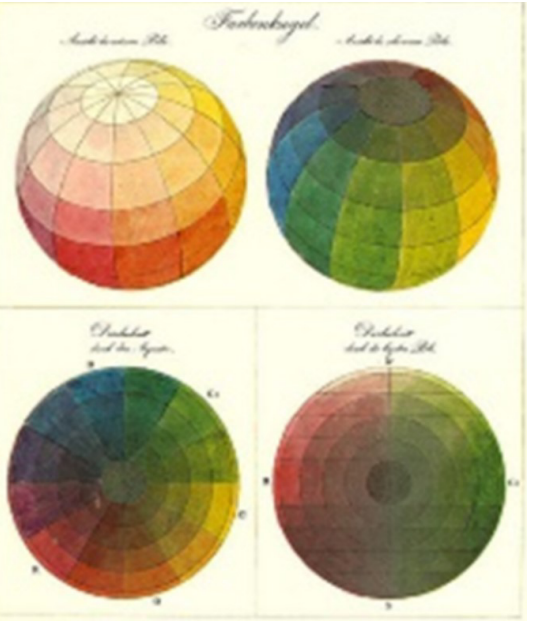


FONTE: WWW.ACORSIMPLIFICADA.COM.BR (2015)

CÍRCULO DE PHILIPP OTTO RUNGE (1777-1810)

Elaborou com a esfera das cores um meio de medir a cor pigmento, não só mostrando a relação entre os matizes, mas também os graduando em escalas de luminosidade e saturação. A figura 21 mostra o círculo de Runge.

FIGURA 21 – CÍRCULO DE RUNGE



FONTE: WWW.HOMODINCENS.COM (2015)

CÍRCULO DE MICHEL EUGÈNE CHEVREUL (1786-1889)

A proposta de seu sistema foi estabelecer a lei do "contraste simultâneo". Ele percebeu que os problemas detectados por ele, na produção de tapetes, tinham mais a ver com a óptica do que com a química. Eles não eram causados pelo uso dos pigmentos, mas sim pela proximidade de outras cores no entrelaçamento dos fios.

Assim, criou um círculo com 72 cores, construídas a partir de três cores primárias – vermelha, amarela e azul – e três cores secundárias – laranja, verde e

violeta. Seu círculo contempla, ainda, cinco zonas com 20 segmentos retratando diferentes níveis de brilho.

Atualmente se sabe com precisão, que existem três componentes que podem ser modificados sob a influência do meio envolvente de outra cor, são eles, a luminosidade, a saturação e a tonalidade e isso pode ser mais bem compreendido no estudo dos sistemas de ordenação.

A figura 22 mostra o círculo de Chevreul.

FIGURA 22 – CÍRCULO DE CHEVREUL

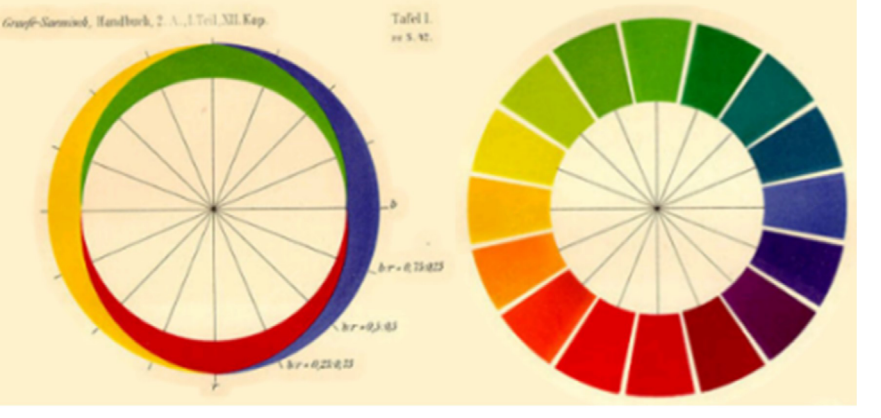
FONTE: WWW.ACORSIMPLIFICADA.COM.BR (2015)

CÍRCULO DE EWALD HERING (1834-1918)

Hering estava mais interessado nos aspectos introspectivos das cores. Ele levou muito tempo investigando a percepção visual no espaço tridimensional. Em seu trabalho, referiu-se ao

problema da cor amarela no sistema de três cores. A fisiologia moderna confirmou estes experimentos ao constatar a existência de três tipos de moléculas fotorreceptoras particularmente sensíveis às ondas curtas, médias e longas. Na realidade, foi Hermann Von Helmholtz quem descobriu que cada receptor é responsável por captar um tipo de tonalidade e nomeou-os de azul, verde e vermelho. A figura 23 mostra o círculo de Hering.

FIGURA 23 – CÍRCULO DE HERING



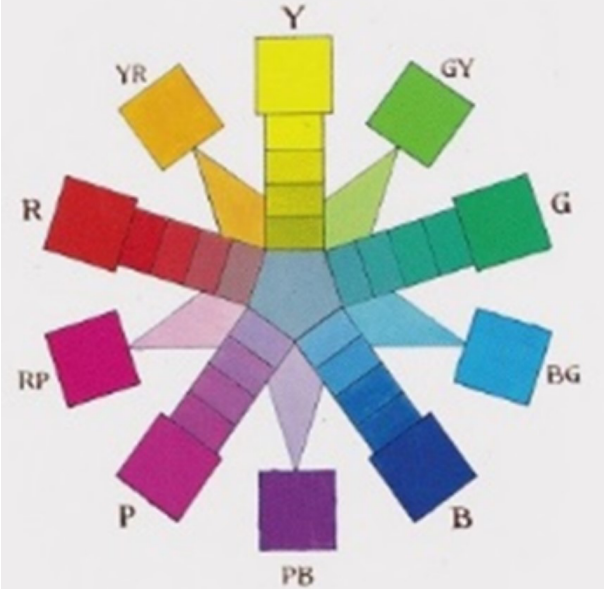
FONTE: WWW.TIPOGRAFOS.NET (2015)

CÍRCULO DE ALBERT HENRY MUNSELL (1858-1918)

Criou um sistema baseado no princípio da "equidistância percebida", que é o mais utilizado até os dias atuais. No sentido de ordenar visualmente as cores, ele introduziu 100 tipos de tonalidades, partindo

de cinco principais e cinco adicionais. A figura 24 mostra o círculo de Munsell.

FIGURA 24 – CÍRCULO DE MUNSELL



FONTE: WWW.TIPOGRAFOS.NET (2015)

CÍRCULO DE WILHELM OSTWALD (1853-1932)

Diferente de Munsell, ele selecionou três grupos diferentes de cores: conteúdo de cor, conteúdo de branco e conteúdo de preto. Também, introduziu o termo *full colour* (cor plena), o mesmo que "tonalidade" especificado por Munsell. Para ser mais preciso, a cor plena tem o mesmo significado de cor pura. Colocou as diferenças entre cores cromáticas e acromáticas. A figura 25 mostra o círculo de Ostwald.

FIGURA 25 – CÍRCULO DE OSTWALD

FONTE: WWW.GEOGEHERNANDEZ.COM (2015)

CÍRCULO DE JOHANNES ITTEN (1889-1967)

O círculo de 12 cores de Itten parte das 3 primárias: azul, vermelho e amarelo que são dispostas em um triângulo. Em volta, encontram-se as cores secundárias: verde, laranja e roxo, resultante das misturas das cores primárias. O círculo é formado das cores primárias, secundárias e terciárias que, teoricamente, seriam a mistura de uma cor primária com uma secundária. A figura 26 mostra o círculo de Itten.

FIGURA 26 – CÍRCULO DE ITTEN

FONTE: WWW.GEOGEHERNANDEZ.COM (2015

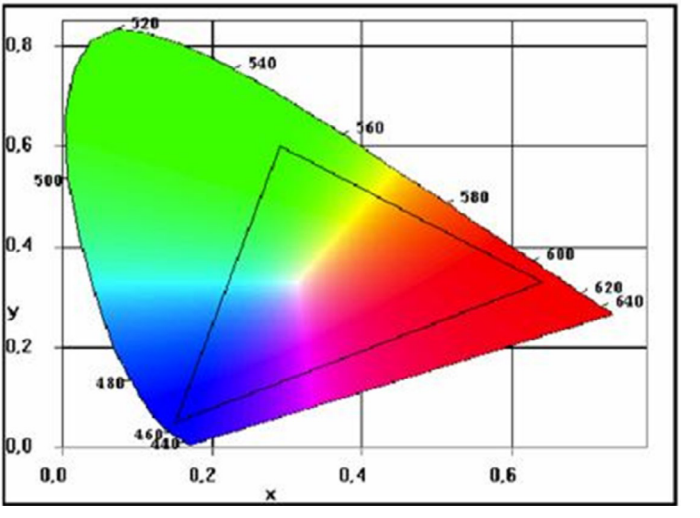
É interessante notar, após ler os resumos apresentados, que existem variações de interpretações dos conceitos de cores. Cada estudioso ou teórico coloca sua denominação de cor sempre olhando por um prisma diferente. Esses conceitos são importantes para se conseguir analisar os dados obtidos nesta pesquisa, devido a interpretação de cada participante que pode ter influência nos resultados obtidos.

DIAGRAMA DE CROMATICIDADE CIE (1931)

O CIE (Comission Internationale de l'Éclairage) foi criado em 1913 e definiu, em 1931, três cores primárias: X, Y e Z denominadas valores triestímulos.

Uma representação gráfica dos coeficientes tricromáticos recebeu o nome de diagrama de cromaticidade considerando como fonte de luz o iluminante padrão C (média da luz do dia). A figura 27 apresenta este diagrama de cromaticidade.

FIGURA 27 – DIAGRAMA DE CROMATICIDADE CIE-XY (1931)



FONTE: HTTP://WWW.UFRGS.BR/ENGCART/PDASR/FORMCOR.HTML, REFERENCIADA DE SOUTO (2000)

Este diagrama apresenta um triângulo no seu interior que delimita as cores produzidas a partir das cores primárias aditivas vermelho, verde e azul. Este triângulo é denominado "gamut" cujos vértices situam-se sobre as cores primárias vermelho, verde e azul.

O Diagrama de Cromaticidade CIE (1931) é utilizado para a definição de tonalidades de cores de forma a garantir uma maior precisão na definição das mesmas.

Em geral, os fabricantes de iluminação utilizam este diagrama para a definição das tonalidades percebidas pelos seres humanos levando em consideração a percepção de cada um.

O Diagrama CIE-XYZ foi criado para evitar coordenadas negativas. Neste diagrama, cada cor primária tem os valores das coordenadas sempre constantes, diferente do Diagrama CIE-RGB onde essas cores variam conforme o dispositivo individual de uso (câmera, monitor, scanner). Para se fazer a conversão de um Diagrama CIE-RGB para CIE-XYZ é necessária uma mera mudança de sistema de coordenadas.

Além desses, ainda tem o CIE-CMY (Cyano, Magenta, Yelow) ou CMYK que é um sistema de cores utilizado para impressoras.

CAPÍTULO 5
DISTÚRBIOS DA VISÃO

Na visão humana é possível identificar alguns distúrbios que podem influenciar, de forma importante, a vida das pessoas. Um desses distúrbios que podem alterar, consideravelmente o resultado deste estudo, é o Daltonismo e suas variações.

DALTONISMO

Também chamado de discromatopsia ou discromopsias, o daltonismo é uma perturbação da percepção visual caracterizada pela incapacidade de diferencar todas ou algumas cores, manifestando-se muitas vezes pela dificuldade de distinguir o verde do vermelho. Esta perturbação tem normalmente origem genética, mas pode, também, resultar de lesões nos órgãos responsáveis pela visão, ou de lesão de origem neurológica.

Esta perturbação é causada por ausência ou menor número de alguns tipos de cones ou por uma perda de função parcial ou total destes, normalmente associada à diminuição de pigmento nos fotorreceptores que deixam de ser capazes de processar diferencialmente a informação luminosa de cor.

TIPOS DE DALTONISMO

Não existem níveis de daltonismo, apenas tipos. Pode-se considerar que existem três grupos de discromatopsias: monocromacias, dicromacias e tricromacias anómalas.

Monocromacia ocorre quando há apenas percepção de luminosidade na visão dos animais. São as células bastonetes as responsáveis por esta percepção, que permite variações diferentes da cor cinza. Normalmente, os monocromatas apresentam a chamada "visão em preto e branco".

» O **monocromata típico** é caracterizado pelo monocromatismo de bastonetes, que corresponde a uma discriminação de cores nulas pela falta de cones. Ocorre na população humana com uma incidência de 0,003% nos homens e de 0,002% nas mulheres. Essa característica é encontrada em muitos animais, como aqueles de hábitos noturnos, peixes abissais, cachorros e pinguins.

» O **monocromata atípico** possui um monocromatismo de cones, assim a não discriminação de cores é devido à falta de sinais oponentes por ter apenas um tipo de cone. É muito raro na população humana. É encontrado em alguns animais, como em alguns ratos e no quivi, que enxergam tons no espectro da luz verde.

A **dicromacia**, que resulta da ausência de um tipo específico de cones, pode apresentar-se sob a forma de:

» **Protanopia** em que há ausência na retina de cones "vermelhos" ou de "comprimento de onda longo" resultando na impossibilidade de discriminar cores no segmento verde-amarelo-vermelho do espectro. O seu ponto neutro encontra-se nos 492 nm. Há igualmente menor sensibilidade à luz na parte do espectro acima do laranja.

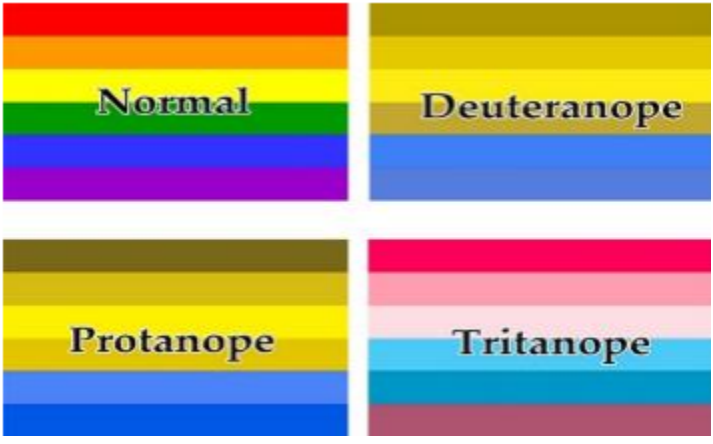
» **Deuteranopia** em que há ausência de cones "verdes" ou de comprimento de onda intermédio resultando, igualmente, na impossibilidade de discriminar cores no segmento verde-amarelo-vermelho do espectro. Trata-se uma das formas de daltonismo mais raras (cerca de 1% da população masculina), e corresponde àquela que afetou John Dalton (o diagnóstico foi confirmado em 1995, através do exame do Ácido desoxirribonucleico do seu globo ocular). O seu ponto neutro encontra-se nos 492 nm.

» **Tritanopia** em que há ausência de cones "azuis" ou de comprimento de onda curta resultando na impossibilidade de ver cores na faixa azul-amarelo.

» **Acromatopia**, a mais raríssima e pouco estudada, pois nesta condição a pessoa vê tudo em preto e branco, com matizes cinzas.

A figura 28 apresenta a visualização de cores dos portadores dos distúrbios de daltonismo em suas várias apresentações.

FIGURA 28 – FORMA DE VISUALIZAÇÃO DOS PORTADORES DE DALTONISMO



FONTE: HTTP://WWW.ILUNATO.COM.BR/CURSO (2016)

TESTES PADRÕES APLICADOS À PERCEPÇÃO DE CORES

Existem tipos padronizados de testes utilizados para a percepção de cores e são utilizados no mundo todo para que a identificação de cores tenha a mesma base. Os três tipos de testes padrão mais utilizados para essa função, são:

a. Confusão de cores

Os indivíduos portadores deste distúrbio podem confundir certos verdes e vermelhos e, ainda, tem aqueles que podem confundir verdes e roxos. Dessa forma, foram empiricamente definidas áreas nos gráficos de cores, criando-se as áreas de confusão, mais especificamente destinadas aos dicromatas. Dessa forma, a placa de testes isocromática, o teste

de painel dicotômico – 15 (D-15) e o Teste de não-saturação de Lanthony podem ser utilizados para a identificar defeitos de moderados a graves das cores vermelho-verde.

b. Brilho de cores, outra forma de confusão

Outros testes, como o Teste da lanterna de Farnsworth ou FALANT, é um teste que pode captar deficiências vermelho-verde e foi criado como teste de visão para marinheiros para tarefas de bordo que exigem a visão de cores e a identificação de luzes de sinalização durante a noite. Este teste consiste na identificação de cores através de seu brilho. Para casos muito graves de pessoas com essa deficiência, em condições de mesma luminância, o vermelho parece cinza e o verde parece ser branco.

c. Discriminação de Matiz

O último teste mais comumente utilizado é o teste FM-100 que também pode ser atribuído à Farnsworth. Uma série de pequenos frascos com as cores da paleta de Munsell são colocadas em linha para avaliar e classificar a acuidade visual da cor. É importante que as cores selecionadas sejam igualmente brilhantes e sua separação na aparência de cor seja equidistante. O grupo de cores deve ser separado por cor em quatro bandejas (cada uma representando um quadrante do círculo de cores). O resultado é que o teste avalia a matiz (cor pura) de cada cor, ou seja, a capacidade de julgar estímulos de ondas semelhantes e de igual

brilho como diferentes tonalidades e ao fim de um extremo ao outro espectral.

TEORIA DOS TESTES METODOLOGIA

Será apresentado uma teoria dos testes e a metodologia para aplicação dos mesmos.

a. O anomaloscópio de Nagel é um aparelho inventado pelo oftalmologista alemão Willibald Nagel (1870 – 1911) utilizado para diagnóstico de problemas de percepção de cores.

O exame consiste em dividir o campo de visão do paciente em duas partes. Uma delas é iluminada por luz monocromática amarela padrão, enquanto a outra é iluminada por luzes monocromáticas verdes e vermelhas (RGB). O examinado deve mexer em botões de ajuste para tentar igualar as tonalidades dos dois campos visuais, alterando a razão entre a intensidade das luzes vermelha e verde, e modificando a intensidade da luz amarela. Através da comparação entre a tonalidade real e a visualizada pelo paciente é possível determinar qual o tipo e o grau de daltonismo.

Vantagens: Teste consolidado e seus resultados bem confiáveis.

Desvantagens: Instrumento muito caro e que requer um examinador experiente.

Validade: Medidas de outros testes são validados com o resultado deste.

Manutenção: Equipamento sensível que pode danificar se for mal manuseado.

Calibração: Requer espectroscópio para sua calibração.

b. Testes de placas pseudoisocromáticas são utilizados para medir a confusão de cores. As cores são cuidadosamente escolhidas com base nas linhas de confusão. As placas mais utilizadas são as placas isocromáticas de Ishihara (para a detecção de deficiência de visão de cores vermelho-verde) e as placas de Tritan (F-2).

Essas placas de testes são projetadas de quatro maneiras:

I – Placa de transformação: onde uma pessoa com visão normal das cores, vê uma figura e uma pessoa com deficiência, vê outra.

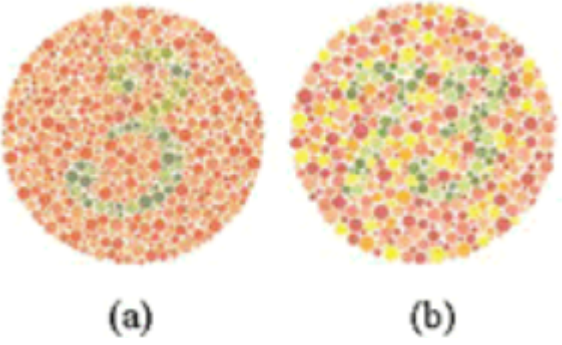
II – Placas Ocultas: onde uma pessoa com visão normal vê uma figura e a pessoa com deficiência, não vê nada.

III – Placa com dígito oculto: quando uma pessoa com visão normal das cores não vê uma figura e a pessoa com deficiência vê.

IV – Placas de diagnóstico: Concebido para ser visto pelos indivíduos normais com defeitos de visão de cores vendo um número mais facilmente do que outro.

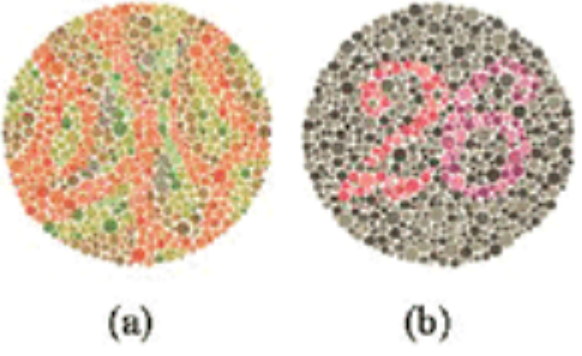
As figuras 29 e 30 apresentam as placas de testes descritas.

FIGURA 29 – AS PLACAS DE TRANSFORMAÇÃO OCULTAS DE ISHIHARA



(A) AS PLACAS DE TRANSFORMAÇÃO DE ISHIHARA. NORMAL DEVE VER 3, ENQUANTO QUE UMA PESSOA COM DISTÚRBIO DEVE VER 5.
(B) A PLACA OCULTA DE ISHIHARA, NORMAL DEVE VER 73 ENQUANTO QUE COM DISTÚRBIO NÃO VAI
FONTE: HTTP://COLORSCIENCE.TRIPOD.COM/COLORT.HTM

FIGURA 30 – PLACAS DE DÍGITO ESCONDIDO E DE DIAGNÓSTICOS DE ISHIHARA



(A) A PLACA COM DÍGITOS ESCONDIDOS DE ISHIDA. NORMAL, NÃO DEVE VER NADA ENQUANTO UMA PESSOA COM DISTÚRBIO DEVE VER 5.
(B) A PLACA DE DIAGNÓSTICO DO ISHIHARA. NORMAL DEVE VER TANTO A 2 E A DEFICIÊNCIA DE VISÃO DE CORES 6. TIPO DEUTAN DEVE VER 2 MAIS FACILMENTE ENQUANTO TIPO PROTAN DEVE VER O 6 MAIS FACILMENTE
FONTE: HTTP://COLORSCIENCE.TRIPOD.COM/COLORT.HTM

Vantagens: Teste simples e fácil de administrar para distúrbios de vermelho-verde, baratos e pode ser utilizado com pessoas analfabetas e com crianças.

Desvantagens: É necessário ter qualidade espectral da fonte de luz para iluminar as placas. Para se ter sucesso na aplicação do teste é necessário que a seleção do tipo de confusão de cores seja o correto para o indivíduo específico, pois as cores selecionadas podem não ser as corretas e confundir os resultados.

Validade: O teste geralmente tem bons resultados quando comparados ao anomaloscópio, mostrando resultados corretos em mais de 95% dos casos.

Manutenção: As placas podem ser danificadas por impressões digitais, poeira e o excesso de exposição à luz. Sugere-se que as mesmas não sejam expostas a poeira quando não estiverem em uso.

Calibração: Não é necessária a calibração.

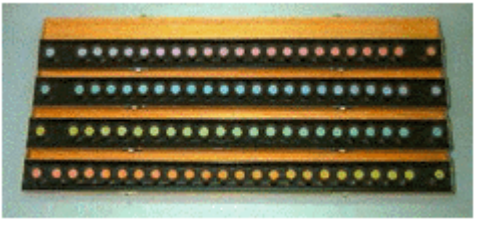
c. Testes de arranjos são compostos por pequenos recipientes (tampas) que devem ser arrumadas de forma a ter uma organização das cores.

A figura 31 apresenta a base do teste do Painel D-15 e a figura 32 apresenta a base do teste de Farnsworth 100-Hue.

FIGURA 31 – BASE DE TESTE FARNSWORTH D-15

FONTE: HTTP://WEBVISION.MED.UTAH.EDU/BOOK/PART-VIII-GABAC-RECEPTORS/COLOR-PERCEPTION/ (2016)

FIGURA 32 – BASE DE TESTE FARNSWORTH D-15



FONTE: HTTP://WEBVISION.MED.UTAH.EDU/BOOK/PART-VIII-GABAC-RECEPTORS/COLOR-PERCEPTION/ (2016)

As amostras distribuídas nas tampas, devem ser organizadas por similaridade em uma série de cores (muitas vezes em um círculo de cores). As tampas estão numeradas na parte de trás e podem ser movidas livremente durante o teste. Várias estratégias estão disponíveis, tais como: confusão de cor, discriminação de matiz e avaliação de zonas neutras (cores vistas como cinza).

Vantagens: São fáceis de se aplicar e podem ser utilizados com analfabetos e crianças. O teste D-15 consegue discriminar pessoas portadoras de protanopia, deutanopia e tritanopia e defeitos com base nos eixos de

confusão. O teste FM-100 é baseado na discriminação de matiz e é quantitativo.

Desvantagens: Exige destreza manual e pode ser difícil para alguns pacientes. Os pigmentos podem ser danificados pela manipulação e, portanto, devem ser utilizadas luvas. É uma exigência que a qualidade espectral da fonte de luz seja muito elevada.

Validade: Tem sido feita várias validações de testes relacionadas com idade e com escore de acertos nos testes utilizando anomaloscópio.

Manutenção: É importante proteger as tampas do toque. Manter em caixa fechada quando não estiver em uso.

Calibração: Não é necessária a calibração pelo usuário.

TESTES ESPECÍFICOS

Os testes específicos, diferente dos testes até aqui apresentados, tem o objetivo de identificar, de modo mais preciso, o tipo e grau de distúrbio de visão.

OUTROS ANOMALOSCÓPIOS

Os principais tipos serão descritos a seguir.

a. Pickford-Nicholson – Sistema baseado em um filtro que avalia a equação de Rayleigh e algumas variações. Plota os resultados no espaço CIE e, principalmente, é uma ferramenta de pesquisa. Utilizado para detectar defeitos em comprimentos (azul) de ondas curtas, se devem mesclar, de forma adequada, um verde

azulado (518,5 nm), índigo (464,5 nm) e com ciano padrão (486,1 nm). (Vicario, 1999).

b. Kampeter – Imita o anomaloscópio de Nagel utilizando a luz de diodos para gerar dois focos livres e gerar uma composição verde-vermelho (Rayleigh). É limitado, mas tem bons resultados. É portátil e robusto e isso facilita seu uso.

c. Medidor de percepção de cores por espectro 172 - É um sistema operado por computador que permite a avaliação de composições vermelho-verde e azul esverdeado. O sistema permite alguma flexibilidade uma vez que utiliza filtros de interferência que podem ser substituídos para gerar testes não-padrão. Teste limitado em termos de confiabilidade e é bem semelhante ao anomaloscópio de Nagel. É recomendado para grandes testes e em laboratórios de pesquisa, pois tem seu custo bastante elevado.

TESTES COM PLACAS PSEUDOISOCROMÁTICAS

a. AO Testes de placas – Consiste em 15 placas sendo 14 para os testes e uma placa de demonstração que sempre deve ser utilizada em primeiro lugar. Dez respostas corretas ou mais demonstram visão normal. Este teste não quantifica e nem qualifica o defeito vermelho-verde.

b. AO Hardy-Rand-Rittler – Consiste em 24 placas, incluindo 4 de demonstração. Seis placas de triagem – 2 azul-amarelo, 4 vermelho-verde. Quatorze placas com figuras ocultas – 10 protanopsia ou deutan

para diagnósticos qualitativos e 4 para diagnósticos qualitativos de tritan. Se os testes com as placas de diagnóstico qualitativo mostrarem maioria de erros de protanopia, então o resultado é "protan". Da mesma forma, se a maioria dos erros for de deutanopia, o resultado é "deutan". Se não houver padrão claro, o diagnóstico é "não classificado".

c. Placas Pseudoisocromáticas de Dvorine – Consiste em 15 placas sendo, uma delas, a placa de demonstração. A administração do teste e a pontuação são tratadas na forma habitual. Três ou mais erros indicam um déficit de cor. Na aviação, 5 ou mais erros podem constituir falhas no exame e reprovação na visão de cores.

d. Teste de Ishihara para a cegueira de cor – Uma placa para verificação do distúrbio vermelho-verde (portadores de protan-deutan). Consiste em placas com números simples ou duplo.

Teste com 38 placas:

22 placas para verificação de deficiência vermelho-verde

04 placas para verificação de deficiência protan x deutan

12 placas para testes de analfabetos.

Teste com 24 placas:

01 placa de demonstração

12 placas para verificação de deficiência vermelho-verde

02 placas para verificação de deficiência protan x deutan

06 placas para testes de analfabetos.

Teste com 16 placas:

01 placa de demonstração.

08 placas verificação de deficiência vermelho-verde

01 placa verificação de deficiência protan x deutan

06 placas para testes de analfabetos.

e. Placas de novo padrão Pseudo-isocromáticas (SPP) – I – Composta por 19 placas que servem como um dispositivo de análise vermelho-verde e diferenciam o Protan de condições do Deutan.

04 placas que mostram figuras ocultas

10 placas que servem para testes vermelho-verde

05 placas que auxiliam na classificação de Protan x Deutan.

f. Placas de novo padrão Pseudo-isocromáticas (SPP) – II – Composta por 12 placas que servem para avaliar os déficits de visão de cores adquiridas e não os distúrbios de confusão de cores congênitos. O teste se baseia em discriminação de matizes conhecidas e a capacidade de distinguir saturações das pessoas com distúrbio de cores adquirida.

02 placas de demonstração

10 placas para testes dos diagnósticos

g. Placas de novo padrão Pseudo-isocromáticas (SPP) – III – É uma mistura dos dois testes anteriormente descritos. O teste foi concebido para identificar a

perturbação na visão de cores e não para ver a gravidade do defeito.

TESTES DE ARRANJOS

a. Teste dicotômico de Farnsworth (Painel D-15) – O teste consiste em 15 tampas coloridas em passos de matiz iguais sobre um círculo de cor e todos têm o mesmo brilho. Baseia-se na confusão de cores.

b. Novo teste de cores de Lanthony – Este teste foi elaborado para detectar e especificar defeito na visão de cores. Ele se baseia na teoria que em condições diferentes se produz a visão de cores diferentes e podem ser confundidos com cinza (as zonas neutras) e que essas cores são diferentes para diferentes doenças. O teste avalia a capacidade de discriminar a cromaticidade em quatro níveis de saturação. São quatro caixas de 15 tampas e todas com a mesma Chroma Munsell e com saturação diferente. Além disso, existem 10 tampas com tonalidades diferentes de cinza. O teste é realizado em duas fases: separação e classificação.

c. Teste Farnsworth-Munsell 100 Hue (FM-100) – Atualmente, o teste consiste em 85 tampas em quatro caixas. Cada caixa é utilizada uma de cada vez. Lá existem cores que se confundem e, portanto, o teste é quantitativo.

TESTES EMERGENTES

Com o surgimento dos testes utilizando computadores pessoais, a aplicação dos testes ficou bastante fácil e

abrange, hoje, um número muito maior de pessoas e locais onde eles podem ser aplicados. Até mesmo, a análise dos resultados passou a ser mais prática e com uma única base, facilitando a comparação dos testes aplicados.

Alguns testes importantes que já temos disponíveis em computadores podem ser citados, pela sua importância:

a. As placas de confusão de cores;

b. Teste de 16 cores – teste de arranjo de cores projetado para diagnosticar a deficiência na percepção de cores congênitas e adquiridas;

c. Teste de 90 cores – teste mais sofisticado envolvendo a discriminação de matiz e a perda do espectro visível e, também, pode ser utilizado como um instrumento para acompanhamento do processo da doença;

d. Anomaloscópio de Rayleigh – Implementação em um computador de um anomaloscópio para avaliação de anomalias vermelho-verde.

e. Anomaloscópio de Moreland – Implementação em um computador de um anomaloscópio para avaliação de anomalias amarelo-azul para verificação de portadores de tritan.

f. Anomaloscópio de Whittenburg – Implementação em um computador de teste de correspondência de cores semelhante ao anomaloscópio de Rayleigh para anomalias vermelho-azul.

g. Novo teste de cores – destinado a avaliar a saturação e a sensibilidade ao brilho ao longo do espectro visível.

h. Teste de sensibilidade ao contraste em sinais senoidais – teste que avalia tanto preto e branco como azul-amarelo.

i. Teste de sensibilidade ao contraste e a cor – destina-se a ensaios de contrastes de luminância bem como contrastes cromáticos.

j. Calibração – destina-se a permitir normalização dos atributos do monitor.

Conforme Yates/Heikens (2001), todos esses testes se assemelham aos testes de cores existentes, com exceção do anomaloscópio de Whittenburg. No entanto, problemas como desgaste do monitor, flutuação de tensão, presença de campo magnético entre outros, podem prejudicar os resultados obtidos através destas versões. É preciso a clareza que os resultados destes testes não substituem a opinião de um médico especialista no assunto.

AVALIAÇÃO VISUAL DA COR

As indústrias de tecelagem, alimentícias e todas as outras cuja cor é fundamental para a qualidade do produto utilizam métodos específicos para a identificação de amostras do que está em produção.

Esses testes são de suma importância para minimizar o retrabalho e os custos adicionais mais tarde.

Antes de cada avaliação, as amostras são preparadas sempre da mesma forma para evitar distorções.

Geralmente, utilizam o método de análise visual da cor o qual exige algumas condições na aplicação do mesmo. Essas condições são:

» **Considerando luz natural:**

É necessário que a posição do observador esteja voltada para a face norte;

Uso de amostras padrão e amostras paralelas;

Base na cor cinza neutra;

Para a avaliação de cor é necessário que o observador movimente sempre os olhos de forma especular;

É importante citar que a luz do dia não é constante o que pode distorcer o resultado.

» **Considerando Cabine de teste:**

Uso de cabines de luz com determinada fonte que reproduza a claridade do dia;

A vantagem é que as lâmpadas podem ser trocadas periodicamente garantindo, assim, a uniformidade de luz sempre;

A luz do dia tem sido simulada com lâmpadas D65 ou D75, Tungstênio (A), Fluorescente Cool White F2.

Algumas cabines possuem luz negra UV.

Em relação ao observador, também são necessários alguns cuidados, levando-se em consideração que o olho humano varia de pessoa para pessoa fazendo com que

a cor pareça diferente para cada indivíduo. Assim, para garantir que essas avaliações visuais sejam tão precisas quanto possível, alguns requisitos são recomendados:

» Organizar um comitê de pessoas para confirmar os resultados de cada avaliação e manter a consistência;

» Visualizar antes cores neutras, como branco ou cinza, para não influenciar o aspecto da cor da amostra;

» Não usar óculos escuros ou lentes de contato;

» Não avaliar as amostras por mais de 5 a 10 segundos antes de fazer a avaliação aprovado/ reprovado porque a sensibilidade do olho humano às diferenças de cor diminui à medida que o tempo passa;

» Não colocar quaisquer outros objetos na cabine de luz além das amostras que serão avaliadas para não afetar a aparência de sua cor;

» Colocar as amostras na horizontal na cabine de luz ou a posicionar em um ângulo de 45 graus. Inverter a posição da esquerda para a direita e de cima para baixo para observar qualquer alteração na cor;

» Ao comparar a amostra em relação ao padrão, segurar ou a colocar lado a lado, de modo que elas fiquem paralelas e se toquem para identificar mais facilmente as diferenças de cor.

Todos os testes aqui apresentados são bastante utilizados nas indústrias de diversos ramos e em segmentos que utilizam a cor como uma das características principais

de seus produtos, como, por exemplo, as indústrias do segmento de tintas, alimentos e tecelagem.

O propósito deste trabalho é mostrar que no dia a dia, a comparação simples de cores também é praticada e que, nesse caso, a precisão ficará a cargo do tipo de iluminação presente no ambiente.

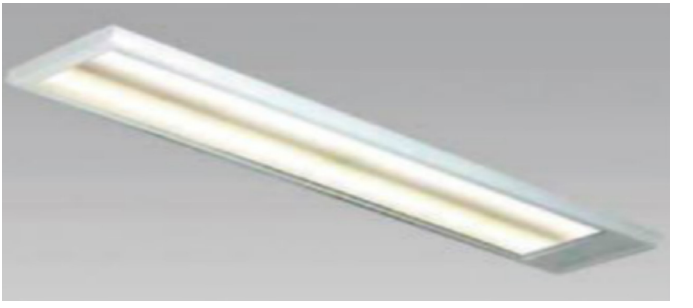
Por esse motivo, a escolha por um método de simples comparação de um elemento com uma paleta de cores foi utilizada.

ESTUDO DE CASO DO USO DE LÂMPADAS LED JÁ REALIZADO NO BRASIL

O Instituto de Energia e Ambiente da USP, a Itaim Iluminação, a Fundação Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações (CPqD), o Instituto de Psicologia da USP e a Universidade de Tecnologia de Budapeste foram convidados, em 2009, a realizar um estudo com o uso de LED em escolas públicas pela AES Eletropaulo. O intuito deste estudo foi minimizar problemas que surgiram quando do lançamento do desafio ao mercado para o fornecimento desta tecnologia. Os resultados finais deste desafio ficaram abaixo da necessidade e com valores de investimento muito altos. Daí a solicitação do estudo.

Uma luminária, então, foi proposta e construída através de um Programa de Pesquisa e Desenvolvimento junto à ANEEL. A figura 33 apresenta o modelo de luminária desenvolvido e utilizado na pesquisa realizada.

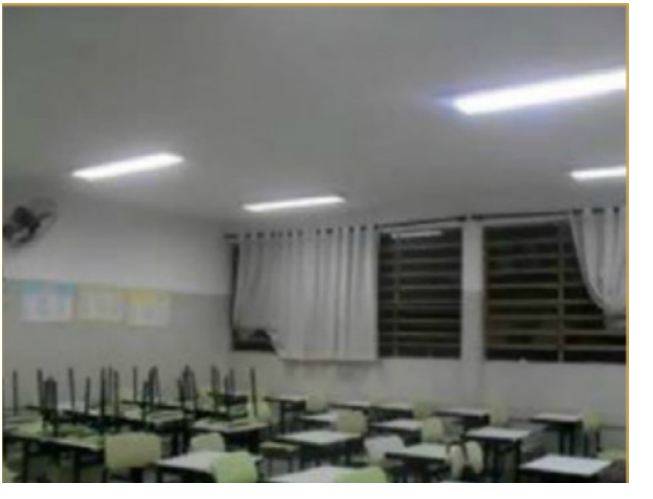
FIGURA 33 – LUMINÁRIA DESENVOLVIDA PARA O ESTUDO



FONTE: (OLIVEIRA,J.G; RIBEIRO,M.R.,E OUTROS, 2013

As figuras 34 e 35 mostram duas das salas após a montagem para o teste.

FIGURA 34 – LUMINÁRIA COM TCC DE 6500K



FONTE: (OLIVEIRA,J.G; RIBEIRO,M.R.,E OUTROS, 2013)

FIGURA 35 – LUMINÁRIA COM TCC DE 4000K

FONTE: (OLIVEIRA,J.G; RIBEIRO,M.R.,E OUTROS, 2013)

Este estudo foi realizado em uma escola pública da rede estadual onde 4 salas foram preparadas com as luminárias propostas com LED variando de 3000K, 4000K, 5000K e 6500K com dimensões semelhantes às lâmpadas fluorescentes tubulares de 32W ou 40W.

O projeto foi elaborado primando a simplicidade e a minimização de manutenção das salas de forma a ser implementado, mais facilmente, em qualquer outra escola semelhante.

Foram aplicados testes psicofísicos em cada ambiente com o intuito de obter resultados acerca do conforto visual, produtividade e percepção de reprodução de cores. Os testes foram aplicados em 2012.

Foram aplicados 3 testes em cada uma das salas avaliando dois grupos de pessoas: os alunos e uma

equipe de pessoas com certo conhecimento sobre o tema.

Os testes aplicados foram:

a. Arranjo de cores

Este teste teve a finalidade de verificar a acuidade visual dos usuários. Cada grupo permaneceu no ambiente durante um certo tempo com o objetivo de organizar as peças compostas em um kit que foram distribuídos para todos. A barra para organização possuía 16 posições sendo que a primeira já estava posicionada e, a partir dela, o usuário deveria colocar as restantes de forma a se ter uma sensação de degradê com transição de cor de forma suave.

Neste teste, os resultados obtidos foram:

» Para o grupo Equipe, a lâmpada que prejudicou bastante essa tarefa, ou seja, provocou um maior índice de erros, foi a lâmpada com temperatura de cor correlata (TCC) de 3000K.

» No caso dos alunos, a que mais causou "problemas" foi a de TCC de 4000K.

» As demais temperaturas tiveram muito bom desempenho e a quantidade de erros foi quase igual a zero.

b. Nomeação de cores

Neste teste, o objetivo era o reconhecimento de algumas cores escolhidas e de fácil comparação com outras cores, que poderiam ter sua identificação duvidosa,

e assim observar a percepção visual na presença da iluminação da sala.

Os participantes deveriam nomear estas cores com base em um cartão de cores entregue para a realização do teste.

As cores utilizadas para a realização deste teste foram composições cuja predominância foi Verde, Vermelho, Azul e Amarelo. Para facilitar a análise, foram atribuídas notas para a cor com maior número de acertos em relação à cor predominante.

A lâmpada com temperatura de cor correlata de 6500K foi a que obteve maior número de pontos, ou seja, um maior número de acertos na visualização por parte dos participantes. A menor pontuação foi para a de 5000K.

c. Avaliação subjetiva da iluminação

Neste teste, os participantes comentaram livremente sobre a iluminação da sala. Para facilitar a análise, as respostas foram limitadas em até 5 sentenças. As principais respostas foram extraídas dos resultados.

No caso dos alunos, as respostas foram um pouco contraditórias. Conforme colocam os autores (Oliveira,J.G; Ribeiro,M.R.,e outros, 2013),

> *"A análise dos alunos pode ser afirmativa, concordando que a iluminação causou uma sensação de cansaço ou sono ou então simplesmente afirma que se sentiu mais disposto com a iluminação avaliada do que com a anterior"*.

Análise semelhante foi feita para cada temperatura de cor e para cada grupo e, a que teve maior aceitação pelos participantes foi a de 5000K.

Estes testes foram muito importantes para conclusões e direcionamentos no uso das lâmpadas LED. Não é possível quantificar o impacto da mesma no mercado de luminárias e lâmpadas por não se ter informações concretas da extensão de usuários, fabricantes e interessados no assunto, mas pode-se afirmar que foi um início para que os pesquisadores voltassem sua atenção para esse foco no uso dessas lâmpadas.

CAPÍTULO 6
METODOLOGIA

A abordagem específica do tema deste estudo, assim como de quaisquer outros projetos científicos, não visa apenas uma discussão teórica, por este motivo é mais que necessário que exista um método de pesquisa que guie e dê respaldo ao desenvolvimento, convergindo hipóteses e dados em resultados satisfatórios. Para que isso se torne possível, um método científico deve estar presente na elaboração de todo o trabalho.

> "Resumindo, diríamos que a finalidade da atividade científica é a obtenção da verdade, através da comprovação de hipóteses, que, por sua vez, são pontes entre a observação da realidade e a teoria científica, que explica a realidade. O método é o conjunto das atividades sistemáticas e racionais que, com maior segurança e economia, permite alcançar o objetivo - conhecimentos válidos e verdadeiros -, traçando o caminho a ser seguido, detectando erros e auxiliando as decisões do cientista". (LAKATOS, MARCONI. 1991 p. 40)

Observando os objetivos do estudo e a problemática que o envolve, desde as questões de ordem técnica e novas hipóteses, até o falseamento de hipóteses existentes a respeito de sistemas de iluminação já utilizados, obtém-se uma perspectiva real do assunto. Diante

disso, foi escolhido o método **hipotético-dedutivo**, que dentre os métodos científicos de pesquisas se apresentou como o mais recomendado para a discussão das hipóteses levantadas.

Este método, criado por Karl Popper, é um dos mais utilizados para aperfeiçoar teorias e conhecimentos ainda em desenvolvimento, ou que tenham sido pouco estudados. Sua utilização, baseada em tentativas – hipóteses e teorias – e eliminação de erros, ajudou diversos cientistas e pesquisadores durante todo o século XX, inclusive para descoberta da vacina contra a varíola.

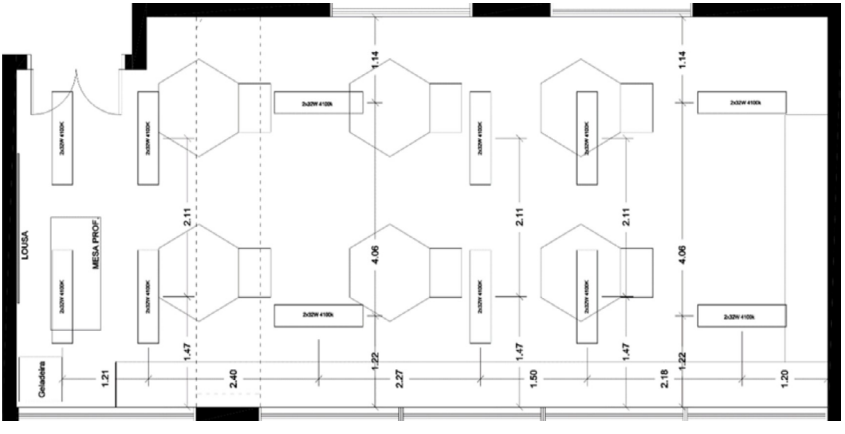
> "...em 1937, quando eu procurava entender a 'tríade' dialética (tese; antítese; síntese) interpretando-a como uma forma de método de tentativa e eliminação de erro, sugeri que toda discussão científica partisse de um *problema* (P^1), ao qual se oferecesse uma espécie de solução provisória, uma *teoria-tentativa* (TT), passando-se depois a criticar a solução, com vista a *eliminação do erro* (EE) e, tal como no caso da dialética, esse processo se renovaria a si mesmo, dando surgimento a *novos problemas* (P^2)." (POPPER, 1977 *apud* LAKATOS, MARCONI. 1991 p. 66)

O método hipotético-dedutivo tem como finalidade falsear hipóteses por meio de pesquisas e testes, ou simplesmente utilizando a observação de fenômenos e dados científicos. Já que a bibliografia sobre os efeitos psicofísicos da iluminação LED é quase inexistente, bem como estudos na área, tal como existem para outras fontes de luz, coube então a escolha deste

método, que, juntamente com os dados obtidos in loco e observações laboratoriais, concluirá a eficácia ou não deste sistema de luz.

No aspecto prático deste estudo, o método escolhido conduziu à montagem de um ambiente laboratorial equipado com sistema de iluminação LED. Foi montado um experimento nos laboratórios acadêmicos de química e biologia do IFSP - Câmpus São Paulo. As salas são usadas para testes práticos e dispõem do seguinte layout: seis bancadas sextavadas centrais para uso dos alunos, bancadas laterais, mesa do professor e lousa, conforme pode ser observado na figura 36.

FIGURA 36 – PLANTA ARQUITETÔNICA



LABORATÓRIO DE QUÍMICA – LAYOUT ATUAL IDEM PARA AMBOS OS LABORATÓRIOS
FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

Ambas são iguais em tamanho, com 11,4m de comprimento por 5,2m de largura e 2,6m de altura, porém com equipamentos de testes diferentes. Além da igualdade no *layout*, o arranjo da iluminação

dos dois ambientes, antes de qualquer modificação, era constituído por doze luminárias para lâmpadas fluorescentes tubulares de 32W, em temperatura de cor de 4100K, 2350 Lúmens, ligados a uma rede com tensão de 220V. As figuras 37 e 38 registram uma imagem da época do laboratório de química.

FIGURA 37 – LABORATÓRIO DE QUÍMICA - VISÃO DOS FUNDOS

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

FIGURA 38 – LABORATÓRIO DE QUÍMICA - VISÃO FRONTAL

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

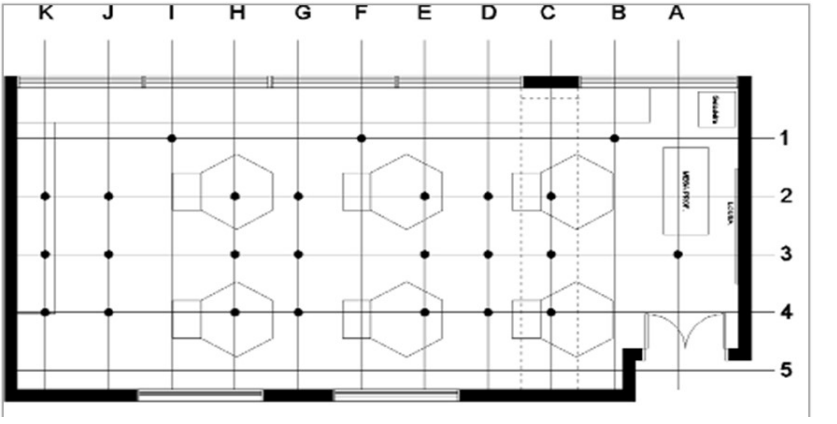
Foi escolhido o laboratório de química para realização dos testes e antes da aplicação de qualquer metodologia de pesquisa, foram coletados os dados de Iluminância para efeito de comparação futura. Usou-se um luxímetro digital, devidamente certificado e homologado por institutos de pesquisa, pertencente ao departamento de eletrotécnica do próprio Câmpus, conforme descrição da figura 39.

FIGURA 39 – LUXÍMETRO DIGITAL - ICEL - LD800

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

Um *grid* foi criado para medição de alguns pontos e a escolha destas coordenadas foi baseada nas áreas com maior movimentação e utilização dos usuários durante a permanência no local. A figura 40 e a tabela 10 mostram essas coordenadas e quais os valores obtidos.

FIGURA 40 – GRID DE ILUMINÂNCIA DO LABORATÓRIO DE QUÍMICA



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

TABELA 10 – RELAÇÃO DO GRID DE MEDIÇÃO DE ILUMINÂNCIA MÉDIA EM LUX

Data: 12/05/2015 Horário: 20h			Luminária com 2x32W Fluorescente – 4100K		
Coluna			Linha		
	1	2	3	4	5
A			242		
B	250				
C		240	219	247	
D		216	188	190	
E		223	216	223	
F	218				
G		270	271	305	
H		282	264	294	
I	196				
J		195	220	200	
K		230	176	230	

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

Com base nos dados obtidos com o luxímetro, chegou-se a iluminância média de 232,2 lux no plano de

trabalho, considerado a 0,95 m do piso. Essa medição foi realizada no período noturno, para evitar interferências de luz natural. Logo após a coleta dos dados um estudo luminotécnico começou a ser desenvolvido para que o sistema de iluminação do laboratório pudesse ser modificado para o LED.

Antes da substituição de qualquer luminária, foi realizada uma consulta à norma de iluminação ***ABNT ISO/CIE 8995-1:2013 - Iluminação de ambientes de trabalho. Parte I - Interiores***, visando determinar a média de iluminância necessária para este tipo de ambiente. O valor médio recomendado na tabela "Planejamento dos ambientes (Áreas), tarefas e atividades com a especificação da Iluminância, Limitação de Ofuscamento e Qualidade da Cor", em seu item 28 (Construções Educacionais) indica 500 lux para "Salas de Aplicação e Laboratórios".

Após a fixação do valor que se deveria obter com qualquer que fosse o tipo de luminária, a próxima etapa consistiu na pesquisa de fabricantes de LED que possuíssem os dados técnicos (*datasheet*) dos produtos, que são fundamentais para a realização dos cálculos.

Vale relembrar que as luminárias em LED disponíveis no mercado brasileiro, bem como em outros países, não possuem, em sua maioria, critérios e parâmetros que sigam normas de fabricação, sendo assim, boa parte das empresas fabricantes não seguem padrões normativos, omitindo ou excetuando-se da obrigatoriedade de apresentar os *datasheet*. Esses dados se resumem à

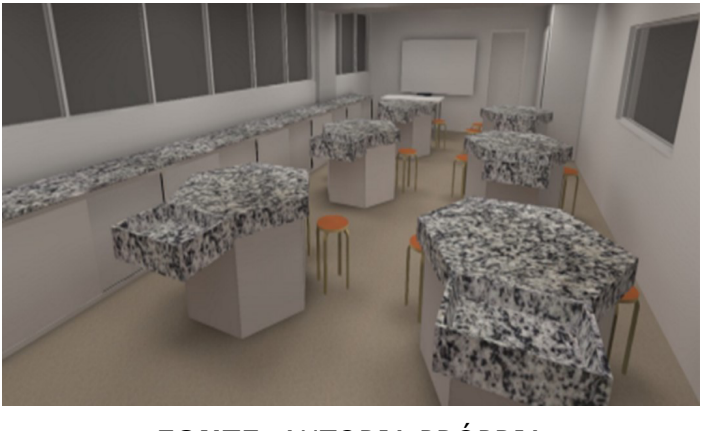
curva isolux, potência, fluxo luminoso e rendimento luminoso, além de outros, que compõem lâmpadas e luminárias.

Após pesquisa e escolha de alguns *datasheet* foi realizado um trabalho minucioso de construção do ambiente em *software* de simulação, procurando recriar o laboratório de pesquisa. Para tanto, usou-se o programa de iluminação DIALux-Evo - versão 5.4.0, que gerou cálculos e ensaios luminotécnicos a fim de determinar quais os produtos mais indicados ao objetivo do estudo.

Foram inseridos parâmetros da reflexão de objetos, piso, paredes e teto, bem como ajustes de brilho das texturas de modo que a simulação se aproximasse ao máximo do ambiente real.

A figura 41, extraída do *software*, ilustra a criação do ambiente.

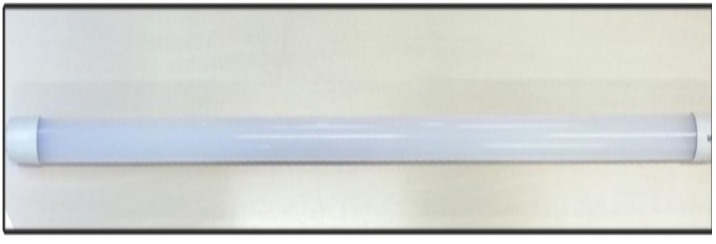
FIGURA 41 – IMAGEM FOTO-REALÍSTICA DO LABORATÓRIO DE QUÍMICA A PARTIR DO DIALUX



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

Com o ambiente recriado iniciaram-se os cálculos para determinar o tipo de luminária LED que poderia ser instalada no ambiente, assegurando o mínimo recomendado pela norma. Dois modelos, dentre os vários simulados, atenderam às expectativas. As figuras 42, 43 e 44 demonstram esses modelos

FIGURA 42 – TUBULAR LED 18W



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

FIGURA 43 – PAINEL LED – 45W – 6500K – COM DRIVER EXTERNO

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

FIGURA 44 – DRIVER BIVOLT DO PAINEL

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

A tabela 11 apresenta os dados técnicos dos dois produtos, sendo um de cada fabricante, já em comparação à fluorescente da instalação original.

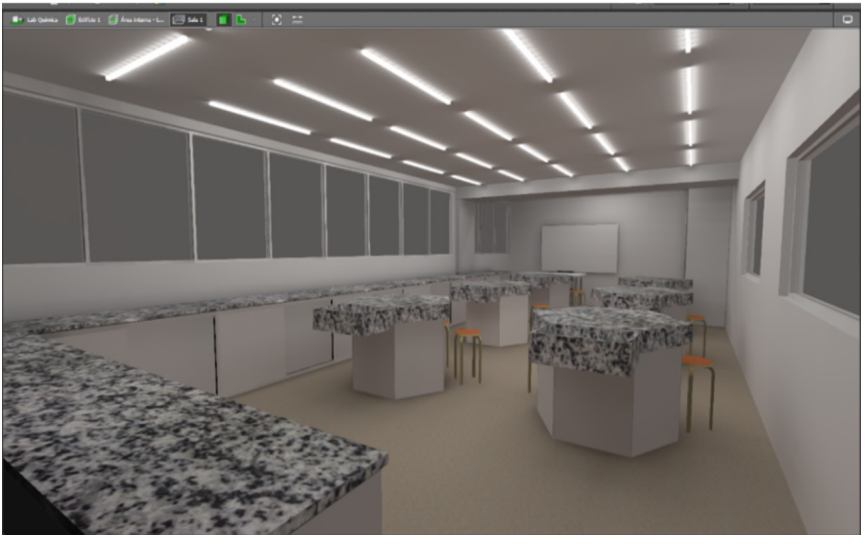
TABELA 11 – COMPARATIVO DE LÂMPADAS

Tipo de lâmpada	Potência (W)	Fluxo luminoso (Lúmens)	Rendimento (lm/W)	Temp. Cor (K)	IRC	Tensão de funcionamento (V)	Mecanismo de partida/acendimento
Fluorescente	32	2350	73,4	4100	65	100 ~ 240	Reator de partida
Tubular LED	18	1600	88,9	6500	80	220	Driver interno
Painel LED	45	5436	120,8	6000	-	90 ~ 240	Driver externo

FONTE: DATASHEET SEGUNDO CATÁLOGOS DOS FABRICANTES

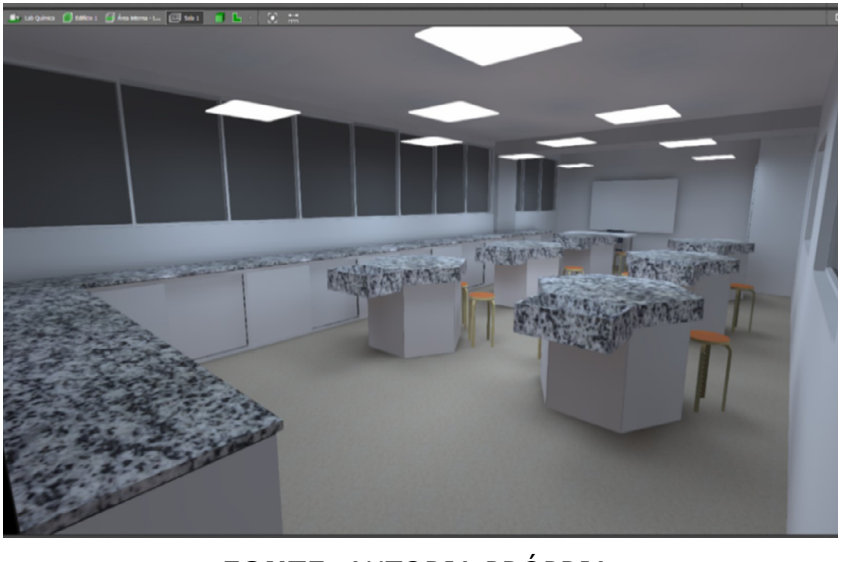
Cada modelo LED teve uma simulação no *software* e resultaram dados bastante satisfatórios, com variações de 450 a 660 Lux em média, dependendo do modelo. As figuras 45 e 46, na sequência, são capturas de telas da simulação e mostram os dois produtos.

FIGURA 45 – SIMULAÇÃO FINAL - TUBULAR LED 18W



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

FIGURA 46 – SIMULAÇÃO FINAL - TUBULAR LED 18W



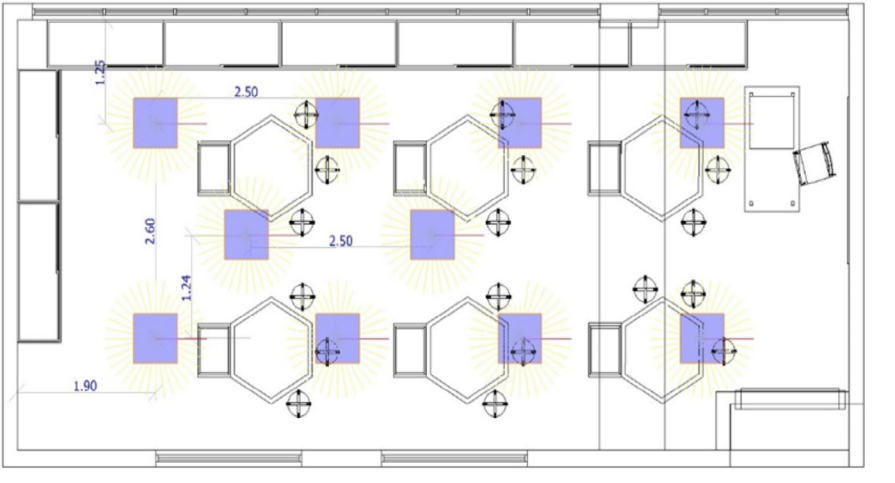
FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

Note-se pelas figuras que as tubulares LED estão rentes ao plano do teto e os painéis LED estão flutuando. Isto foi gerado pelo próprio *software*, que a partir dos *datasheet*, associados ao parâmetro de 500 lux de média, o qual recebeu de *input*, posicionou a altura de cada sistema.

Outra diferença está na disposição das luminárias e no aspecto de claridade. Enquanto as tubulares mostram uma quantidade maior e uma disposição por linhas e colunas, associando vertical e transversal, os painéis estão fora de simetria.

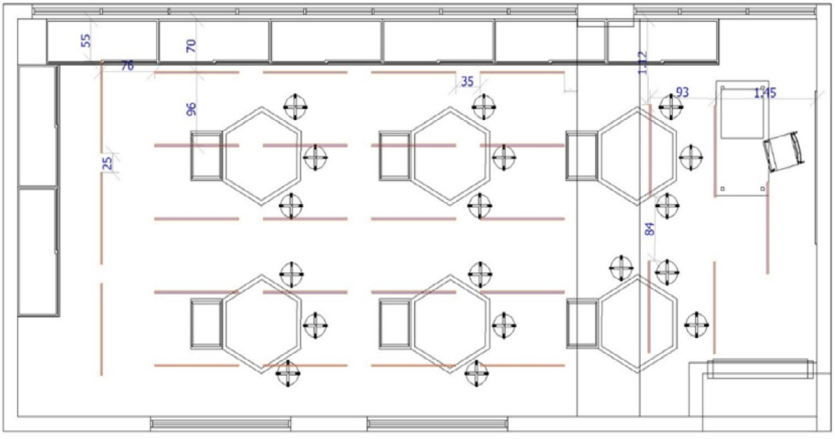
As figuras 47 e 48 são as plantas-baixas de distribuição e alinhamento das luminárias geradas pelo *software*. A partir delas foi possível providenciar as luminárias junto aos fornecedores.

FIGURA 47 – PLANTA BAIXA DE DISTRIBUIÇÃO DE LUMINÁRIAS GERADA PELO DIALUX – PAINEL LED



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

FIGURA 48 – PLANTA BAIXA DE DISTRIBUIÇÃO DE LUMINÁRIAS GERADA PELO DIALUX –TUBLED



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

Vale registrar que para este projeto, houve uma parceria com um dos fabricantes, que forneceu os 10 painéis LED, bem como os *drivers*. Para as lâmpadas tubulares LED, não houve nenhuma doação ou parceria e todas foram adquiridas em revendedor.

ANÁLISE DOS PAINÉIS LED

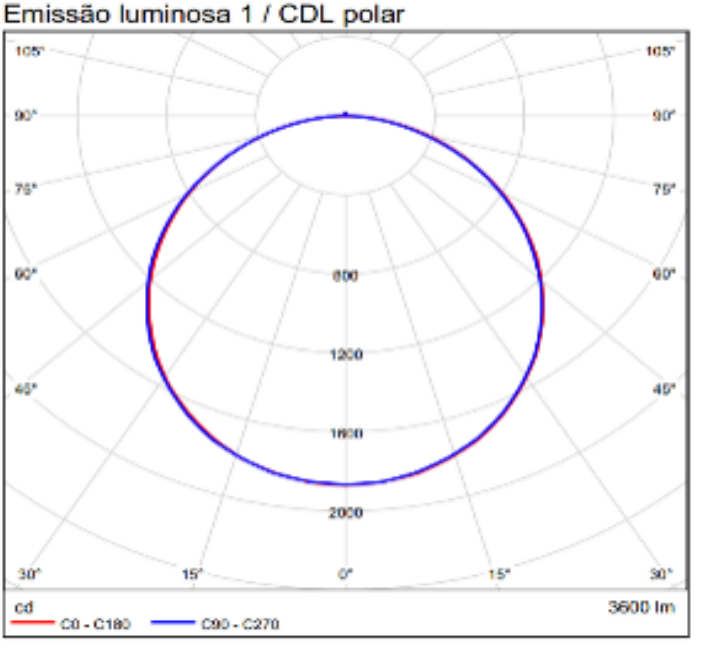
Conforme foi colocado, os painéis LED utilizados neste projeto foram fornecidos por um fabricante. Os dados técnicos foram comparados aos dados obtidos em um laboratório de fotometria de um renomado órgão onde já se elabora esse tipo de serviço para a sociedade. Esse laboratório foi escolhido pela sua disponibilidade e pela confiabilidade do mesmo.

Foram encaminhadas 3 unidades dos painéis fornecidos para passar por ensaios e levantamentos de

curvas, as quais foram utilizadas para a elaboração do estudo luminotécnico e, posteriormente, a instalação dos mesmos no laboratório de Química.

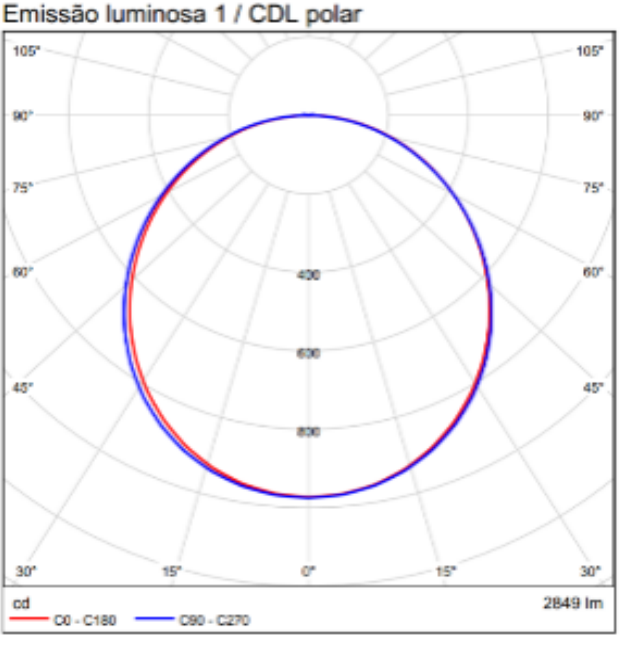
As figuras 49 e 50 apresentam os dados, levantados, dos painéis utilizados.

FIGURA 49 – CURVA DE DISTRIBUIÇÃO FORNECIDA PELO FABRICANTE



DADOS: FLUXO LUMINOSO DA LÂMPADA – 3600 LM
FLUXO LUMINOSO DA LUMINÁRIA – 5437 LM
POTÊNCIA – 45 W
RENDIMENTO LUMINOSO – 120,8 LM/W
FONTE: FABRICANTE DO PAINEL

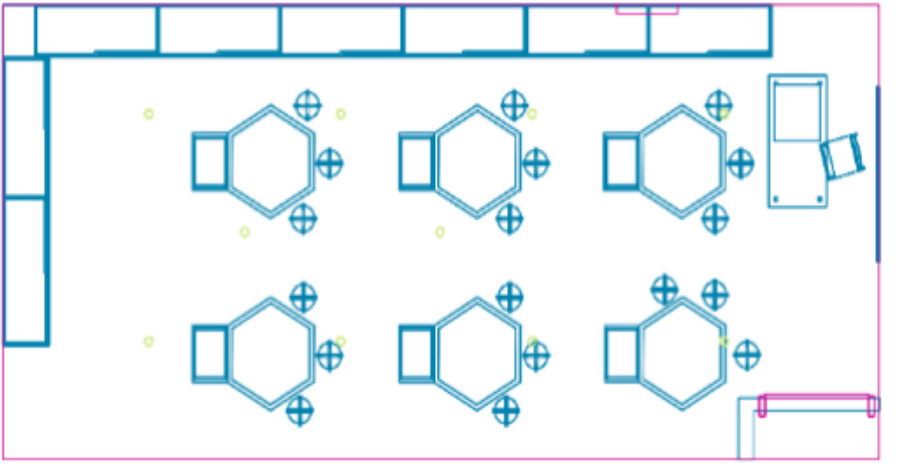
FIGURA 50 – CURVA DE DISTRIBUIÇÃO MEDIDA EM LABORATÓRIO.



DADOS: FLUXO LUMINOSO DA LÂMPADA – 2849 LM
FLUXO LUMINOSO DA LUMINÁRIA – 2830 LM
POTÊNCIA – 35,9 W
RENDIMENTO LUMINOSO – 78,8 LM/W
FONTE: LABORATÓRIO DE MEDIÇÃO

Pode-se notar uma certa variação nos valores informados. Assim, decidiu-se por fazer os estudos com ambos para se verificar quais seriam os impactos na distribuição de luminárias e analisar se isso seria determinante para os resultados após a pesquisa. Após as simulações no *software* escolhido, obteve-se o seguinte resultado apresentado na figura 51.

FIGURA 51 – DISTRIBUIÇÃO DE LUMINÁRIAS A PARTIR DOS LEVANTAMENTOS DE DADOS TÉCNICOS PELO LABORATÓRIO

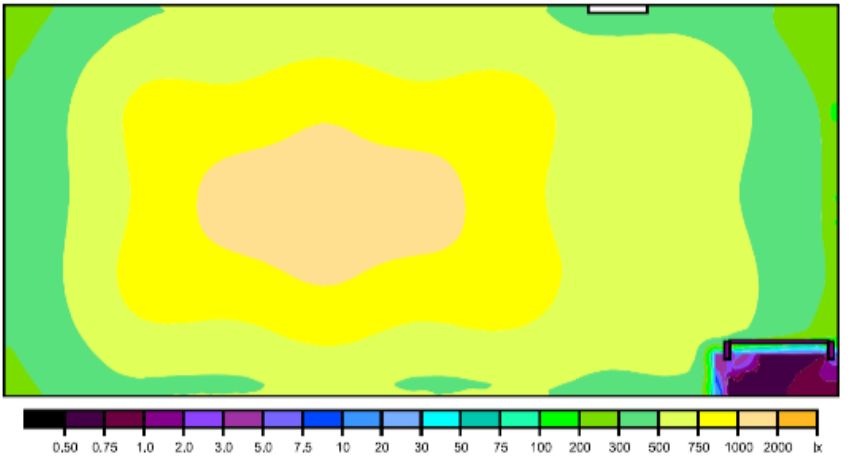


FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

Além dessa figura da distribuição e os dados do projeto simulado, obtiveram-se as curvas de distribuição de "cores falsas" que facilitou ainda mais a comparação dos dados fornecidos pelo fabricante e os obtidos pelo laboratório.

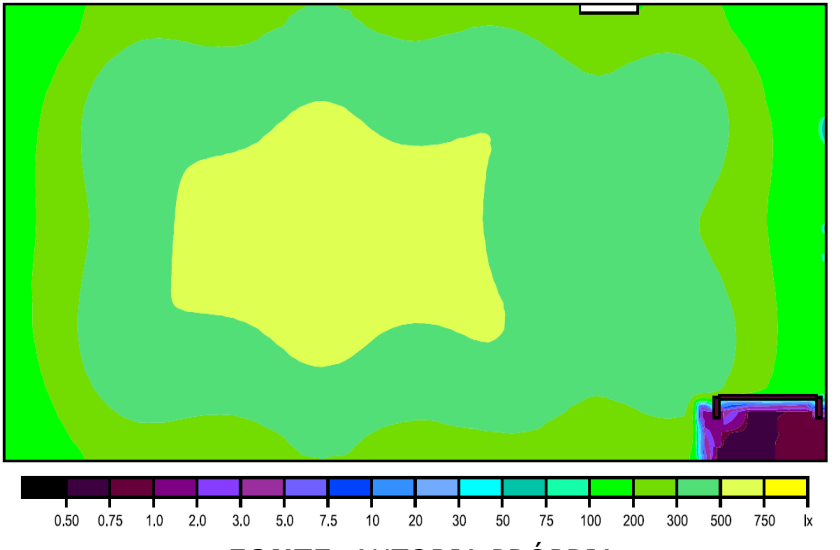
Essas curvas de distribuição de cores falsas podem ser vistas nas figuras 52 e 53.

FIGURA 52 – DIAGRAMA DE CORES FALSAS FORNECIDA, A PARTIR DA SIMULAÇÃO COM OS DADOS DO FABRICANTE.



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

FIGURA 53 – DIAGRAMA DE CORES FALSAS FORNECIDA, A PARTIR DA SIMULAÇÃO COM OS DADOS DO LABORATÓRIO.



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

Nota-se diferenças bastante significativas entre as duas curvas. A fornecida pelo fabricante mostra pontos simulados com iluminamento entre 1000 e 2000 lux, enquanto que a curva baseada nos dados levantados em laboratório fornece uma curva, cujos valores maiores não chegam entre 500 e 750 lux.

É importante colocar aqui que o levantamento em laboratório foi feito posteriormente à montagem da sala para o teste. Foi, a partir da montagem do ambiente que se notou valores medidos bastante diferentes dos valores obtidos pela simulação. Em função de todas as etapas para elaboração dos testes estarem prontas, decidiu-se dar continuidade nos mesmos e, depois, avaliar o impacto. Por desconhecer se os dados técnicos eram corretos para os painéis fornecidos, decidiu-se, também, fazer uma adaptação nas instalações dos mesmos, ou seja, abaixar a posição de montagem dos mesmos em 0,60cm para garantir os índices necessários e especificados em norma, conforme foi colocado anteriormente.

Assim, após a obtenção dos relatórios e cálculos de dimensionamento de cada um, iniciou-se a montagem no laboratório, inicialmente com os painéis e na sequência com as tubulares LED. Vale ressaltar que a aplicação dos testes principais deste estudo ocorreu no intervalo entre cada instalação. A figura 54 mostra como ficou o laboratório de química após a instalação de um dos novos sistemas, no caso a imagem é do sistema tubular LED.

FIGURA 54 – LABORATÓRIO DE QUÍMICA APÓS MONTAGEM - TUBULAR LED

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

Cada modelo foi instalado conforme parâmetros do *software* e na sequência foram coletados os dados de iluminação para os mesmos pontos de *grid* já vistos, sob as mesmas condições de horário. As tabelas 12 e 13 mostram os resultados de cada medição.

TABELA 12 – RELAÇÃO DO GRID DE MEDIÇÃO DE ILUMINÂNCIA MÉDIA EM LUX – PAINEL LED

Data: 12/05/2015 Horário: 20h			Luminária LED – Painel de 45W – 6000K		
Coluna			Linha		
	1	2	3	4	5
A			386		
B	440				
C		420	405	398	
D		365	310	310	
E		519	518	540	
F	368				
G		578	568	613	
H		578	600	460	
I	453				
J		510	360	530	
K		250	250	235	

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

TABELA 13 – RELAÇÃO DO GRID DE MEDIÇÃO DE ILUMINÂNCIA MÉDIA EM LUX – TUBULAR 18W

Data: 12/05/2015 Horário: 20h			Luminária LED – Tubular 18W – 6500K		
Coluna			Linha		
	1	2	3	4	5
A			487		
B	325				
C		529	551	488	
D		626	656	565	
E		744	729	698	
F	686				
G		794	800	749	
H		778	778	737	
I	644				
J		650	642	601	
K		510	485	440	

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

A partir destas medições, obteve-se uma resultante de 438,56 lux dos painéis e 627,68 lux das tubulares. Esses valores são melhor analisados no capítulo seguinte.

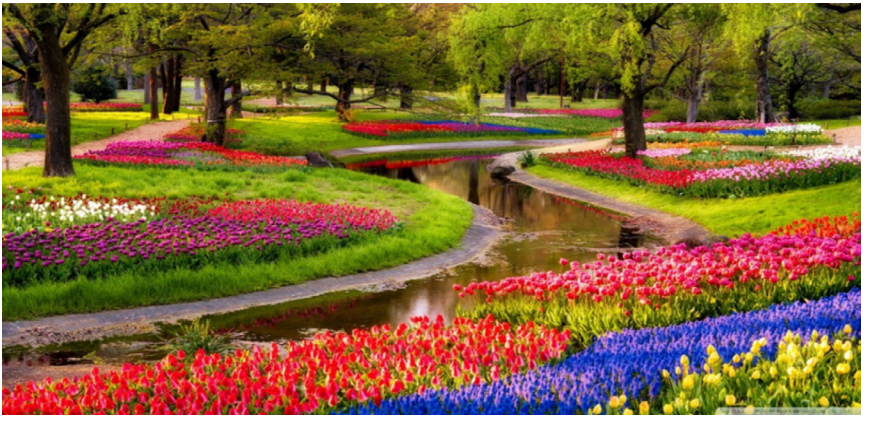
APLICAÇÃO DOS TESTES

Para atingir o objetivo específico deste estudo, foi necessário um levantamento bibliográfico a respeito de métodos e técnicas para avaliação da percepção da visão e distinção de cores. Definiu-se que a melhor maneira seria por meio de pesquisa aleatória de grupos diversificados, avaliando cada um de forma individual e dando enfoque na escolha e distinção de cores. O método de comparação simples foi escolhido para que se pudesse ser o mais fiel ao praticado em laboratórios de análises educacionais. Em análise ao que foi exposto no capítulo 5, todos os testes padrão apresentados são muito importantes, mas não são de uso contínuo no ambiente educacional, pois, muitas vezes, não foram adquiridos. Além disso, foram escolhidos três períodos: matutino, vespertino e noturno. Assim, três variáveis de influência de luz natural também puderam ser consideradas, já que os laboratórios possuem uma das laterais envidraçadas e voltadas ao ambiente externo.

Sabe-se que a gama de tons para uma imagem é infinita, podendo ainda variar em intensidade e brilho, porém um instrumento simples de análise e associação de cores foi desenvolvido para ser entregue a cada indivíduo que participasse da pesquisa. Basicamente, foram escolhidas três imagens em um banco de dados gratuito da internet, figuras 55, 56 e 57, com diversas

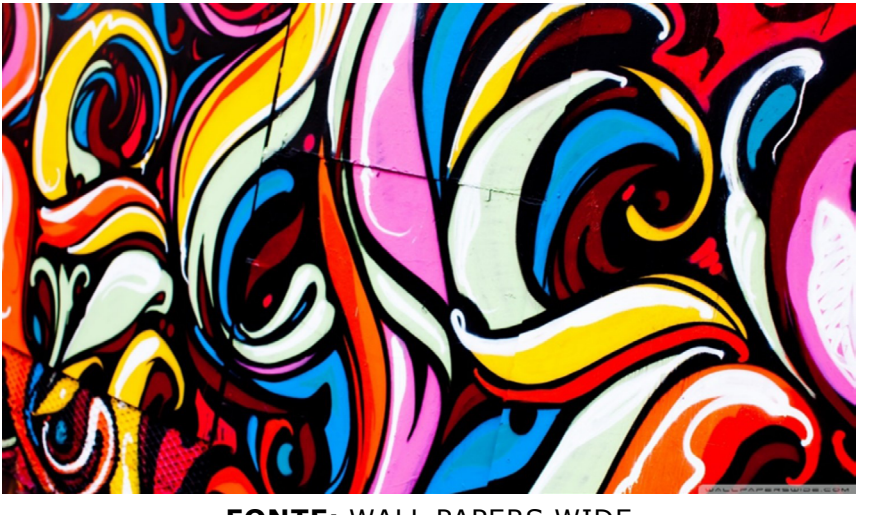
cores. Cada imagem devia exprimir, no mínimo, as 7 cores do espectro da luz branca solar: vermelho, laranja, amarelo, verde, azul, índigo e violeta.

FIGURA 55 – PRIMEIRA IMAGEM DO TESTE – TÍTULO: BEAUTIFULSPRING GARDEN



FONTE: WALL PAPERS WIDE

FIGURA 56 – SEGUNDA IMAGEM DO TESTE – TÍTULO: ITS SO EASY TO FALL IN LOVE



FONTE: WALL PAPERS WIDE

FIGURA 57 – TERCEIRA IMAGEM DO TESTE – TÍTULO: RAINBOWWAVES

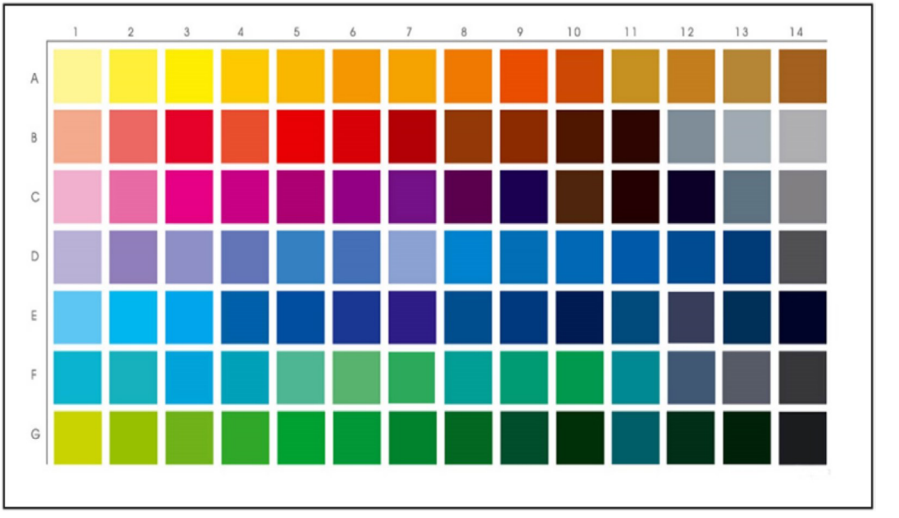
FONTE: WALL PAPERS WIDE

A próxima etapa após a escolha das imagens foi a montagem do teste. Para manter uma qualidade única e assegurar que não destoassem, foram impressas em um único lote, em alta resolução, por uma empresa especializada.

Para que o pesquisador pudesse identificar quais cores ele encontraria nas imagens, uma paleta com 98 cores, organizadas em linhas e colunas numeradas, foi entregue juntamente com o teste. Desta forma, todos tiveram o mesmo parâmetro de localização. A figura 58 mostra essa paleta.

Foi solicitado que indicassem um mínimo de 5 e um máximo de 10 tons, para que os dados pudessem gerar resultados e parâmetros confiáveis e houvesse pelo menos um mínimo de associação, sem dar margem muito grande para erros.

FIGURA 58 – PALETA DE CORES



FONTE: <HTTP://SUBLIMATED.COM.AU/INDEX.PHP/PANTONE-COLOURS>

Por fim, houve a criação de categorias dentro da pesquisa, pois, muito embora o público-alvo tenha sido definido como aleatório, existem distinções básicas entre os indivíduos frequentadores de uma escola, tais como: idade, cor de olhos e sexo. Coube então criar separadores para associar esses indivíduos. Desta maneira, mesmo sendo um teste individual, seria possível filtrar os resultados com mais facilidade. A intenção visou buscar algum tipo de desvio padrão que possa ser relevante à pesquisa.

Ao finalizar a folha teste, uma pré-pesquisa foi realizada, com apenas 5 voluntários, para garantir a eficácia e corrigir possíveis erros. Em seguida, foram agendadas datas para usar os laboratórios. No dia de cada aplicação dos testes, um mediador, integrante do

grupo de pesquisa deste doutorado, ficava presente no laboratório, recebendo e orientando os participantes. Embora cada laboratório comporte um máximo de 30 alunos, para melhor coordenação da aplicação dos testes, esse máximo foi evitado.

A escolha dos indivíduos para participação foi aleatória, respeitando apenas o fato de que deviam ser frequentadores do IFSP, sendo alunos ou não, com faixa etária variável. Cada pessoa ou grupo convidado a participar era devidamente orientado sobre o tipo da pesquisa e decidia, por livre arbítrio, se aceitava ou não contribuir.

As datas escolhidas para a aplicação dos testes não podiam ser tão aleatórias, pois, levando em consideração a importância dos períodos e a influência de luz natural de cada um, houve cautela para que cada uma das três fontes de luz – tubular LED, painel LED e fluorescente – tivessem condições de luz natural parecidas de acordo com o período escolhido. Por exemplo: não poderia haver teste num período matutino com céu nublado para fluorescente e no outro dia o céu estar aberto para testar o painel LED no mesmo período.

Todos os testes foram aplicados entre a primeira e a segunda semana de maio, nos seguintes períodos: entre 8 e 9h para matutino; entre 16 e 17h para vespertino; entre 20 e 21h para noturno.

As figuras 59 e 60 registram um desses dias.

FIGURA 59 – APLICAÇÃO DO TESTE NO LABORATÓRIO DE QUÍMICA SOB EFEITO DOS PAINÉIS LED

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

FIGURA 60 – APLICAÇÃO DO TESTE NO LABORATÓRIO DE BIOLOGIA SOB EFEITO DAS FLUORESCENTES

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

CAPÍTULO 7
ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

ANÁLISES GERAIS

Conforme foi visto no capítulo anterior, cada luminária gerou uma resultante de iluminância média no plano de trabalho. Esses valores são excelentes no que tange à necessidade de luminância, ou seja, a densidade luminosa vertical. Esse ponto é essencial para análise de uniformidade da distribuição de luz e principalmente para conforto visual que é sintetizada pela claridade e ofuscamento percebidos pelos usuários. Para os dois sistemas não houve resultados do tipo que possam comprometer tarefas visuais e motoras.

Entretanto, uma questão se mostrou bastante relevante: a iluminância média gerada, comparada com a eficiência luminosa de cada lâmpada. Conforme já foi visto na tabela 11 – *Comparativo de lâmpadas* – o painel LED tem um valor de rendimento luminoso superior à tubular LED, porém, ao se analisar a tabela 14, que compara as resultantes das medições, nota-se uma divergência. Basta um olhar apurado para perceber que existe alguma desarmonia nos modelos LED, na qual a mais eficiente retornou uma média resultante menor.

TABELA 14 – COMPARATIVO DE ILUMINÂNCIA MÉDIA

Tipo de lâmpada	Potência (W)	Fluxo luminoso (Lúmens)	Rendimento (lm/W)	Temp. Cor (K)	IRC	Lux médio no plano de trabalho (0,95m do piso)
Fluorescente	32	2350	73,4	4100	65	232,2
Tubular LED	18	1600	88,9	6500	80	627,7
Painel LED	45	5436	120,8	6000	-	438,6

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

Para efeito de constatação, todas as simulações foram revisadas e os testes novamente apresentaram as mesmas médias, deixando claro alguma divergência entre o *datasheet* do painel LED e os resultados práticos.

Ainda, no intuito de verificar essa discrepância, foram feitas diversas alterações na simulação para filtrar possíveis variáveis que pudessem interferir, mas não houve indícios de que existiam erros de cálculo. Sobretudo, porque os dados da tabela 12 não são de simulação e sim coletados *in loco*.

Aproveitando a tabela 11, nota-se, também, um ponto crucial na falta do IRC no painel LED. Vale ressaltar que cada fabricante fornece seu *datasheet* e não há como constatar a veracidade dos dados, até que se faça algum teste prático. Contudo, neste caso a notável inversão mais a falta do IRC abre passagem para vários questionamentos a respeito da importância de certificações.

ESTATÍSTICAS DOS RESPONDENTES

Após a aplicação dos testes descritos anteriormente, foram obtidos dados bastante significativos e importantes para a análise da pesquisa realizada.

Para efeito de importância, as tabelas 15, 16 e 17 mostram a quantidade e características importantes dos indivíduos respondentes desta pesquisa.

TABELA 15 – TOTALIZAÇÃO DE RESPONDENTE POR CARACTERÍSTICAS, NO LABORATÓRIO DE QUÍMICA

Cor dos olhos	Quantidade	Porcentagem
Azul	3	6%
Castanho	26	54%
Castanho-claro	3	6%
Castanho escuro	9	19%
Cor de mel	1	2%
Preto	2	4%
Verde	3	6%
Verde-escuro	1	2%
Total	48	100%
Sexo		
Masculino	29	60%
Feminino	19	40%
Total	48	100%
Idade		
Entre 15 e 20	37	77%
Entre 21 e 30	8	17%
Entre 31 e 40	0	0%
Acima de 40	3	6%
Total	48	100%

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

TABELA 16 – TOTALIZAÇÃO DE RESPONDENTE POR CARACTERÍSTICAS, NO LABORATÓRIO DE BIOLOGIA

Cor dos olhos	Quantidade	Porcentagem
Azul	3	6%
Castanho	27	56%
Castanho-claro	5	10%
Castanho escuro	9	19%
Cor de mel	0	0%
Preto	4	8%
Verde	0	0%
Verde-escuro	0	0%
Total	48	100%
Sexo		
Masculino	37	77%
Feminino	11	23%
Total	48	100%
Idade		
Entre 15 e 20	23	48%
Entre 21 e 30	14	29%
Entre 31 e 40	5	10%
Acima de 40	6	13%
Total	48	100%

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

TABELA 17 – TOTALIZAÇÃO DE RESPONDENTE POR CARACTERÍSTICAS, TOTAL GERAL

Cor dos olhos	Quantidade	Porcentagem
Azul	6	6%
Castanho	53	55%
Castanho-claro	8	8%
Castanho escuro	18	19%
Cor de mel	1	1%
Preto	6	6%
Verde	3	3%
Verde-escuro	1	1%
Total	96	100%
Sexo		
Masculino	66	69%
Feminino	30	31%
Total	96	100%
Idade		
Entre 15 e 20	60	63%
Entre 21 e 30	22	23%
Entre 31 e 40	5	5%
Acima de 40	9	9%
Total	96	100%

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

A escolha dos respondentes foi feita de forma aleatória e de forma a abranger amostras de todos os segmentos em questão de sexo, idade e cor de olhos.

OBSERVAÇÕES DOS MEDIADORES

Durante a aplicação dos testes, os mediadores responsáveis fizeram observações paralelas inerentes

ao comportamento dos indivíduos. Eles registravam os relatos e sensações sempre que havia algum tipo de manifestação.

Em primeira instância, vale registrar alguns dos efeitos observados no laboratório de biologia, equipado com lâmpada fluorescente. Uma das dificuldades relatadas pelos indivíduos era a diferenciação das cores da tabela e associação com as imagens. Houve relatos de que alguns tons eram exatamente iguais e que outros se repetiam pelas linhas e colunas, mesmo sendo todos diferentes.

A segunda questão gira em torno do conforto visual e humor dos indivíduos. Notou-se que todos sob o efeito das lâmpadas fluorescentes, que têm 4100K, ficavam mais quietos ao responderem ao questionário. Já sob a luz do LED, seja do painel ou da tubular, ficaram ligeiramente mais agitados. Esse resultado ratifica a influência que a temperatura de cor da luz pode causar no ambiente, na qual cores mais frias aceleram a atividade metabólica favorecendo atividades motoras e concentração, e as quentes induzem à tranquilidade. Esse conceito é usado há muito tempo em projetos luminotécnicos e por engenheiros, arquitetos e decoradores quando existe a cautela de se adequar o tipo de iluminação às tarefas visuais.

ANÁLISE DOS TESTES

Conforme visto no capítulo de metodologia, os testes foram organizados em segmentos no intuito

de identificar algum desvio padrão. Cada segmento foi subdividido em partes. A figura 61 mostra essas divisões.

Mesmo com a utilização de filtros na tabulação dos resultados, não foram observados fatos relevantes e substanciais em nenhum dos três segmentos especificamente. Entretanto, com uma observação ampla dos dados, a partir de uma macro análise, uma tendência se revelou em meio aos gráficos. Notou-se que havia um padrão na escolha de algumas cores mais do que outras e também variações em função da interferência de luz natural. A partir desse novo argumento, foram criados novos filtros de pesquisa, baseados nos mesmos resultados, mas desta vez focando especificamente nas matizes e suas variações, sob efeito do tipo de lâmpada e do período da aplicação do teste.

Para criação de novos filtros foi necessária a criação de grupos a partir da paleta de cores, que em sua maioria apresentavam tons das matizes primárias e secundárias. Também foram agrupados tons marrons, monocromáticos e o preto puro. Das 98 cores, obteve-se a seguinte separação, conforme figura 62.

FIGURA 62 – GRUPOS DE CORES

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

Com a separação dos tons em grupos foi possível buscar algumas tendências que abarcam diretamente no objeto de estudo desta pesquisa. A partir da tabela 18, pode-se considerar uma série de fatos que diferencia os três tipos de lâmpadas nos três períodos.

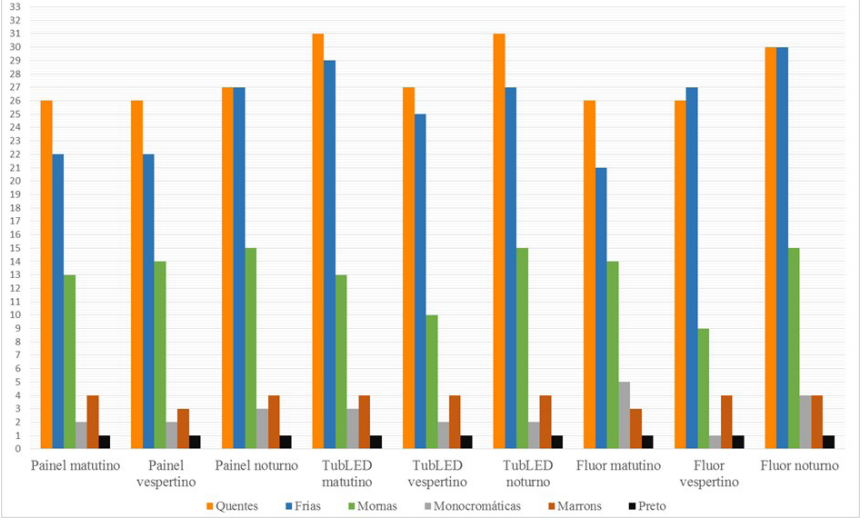
TABELA 18 – OCORRÊNCIAS POR GRUPO DE CORES EM FUNÇÃO DA LUMINÁRIA E PERÍODO

GRUPOS DE CORES	1	2	3	4	5	6
TIPO DE LUMINÁRIA /PERÍODO	INCIDÊNCIA DE CORES POR GRUPO					
Painel matutino	26	22	13	2	4	1
TubLED matutino	31	29	13	3	4	1
Fluorescente matutino	26	21	14	5	3	1
Painel vespertino	26	22	14	2	3	1
TubLED vespertino	27	25	10	2	4	1
Fluorescente vespertino	26	27	9	1	4	1
Painel noturno	27	27	15	3	4	1
TubLED noturno	31	27	15	2	4	1
Fluorescente noturno	30	30	15	4	4	1

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

A tabela anterior foi agrupada de maneira a comparar os períodos em ordem crescente. Uma vez que cada grupo de cor possui uma quantidade de cores é possível evidenciar pontos positivos e negativos de cada luminária para cada situação. O gráfico 01 facilita essa observação.

GRÁFICO 01 – OCORRÊNCIAS POR GRUPO DE CORES EM FUNÇÃO DA LUMINÁRIA E PERÍODO



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

Esse gráfico traz à tona os resultados mais satisfatórios ao objetivo deste trabalho. Não apenas sobre a eficácia de cada sistema, mas com relação à associação do tipo de luz com a qualidade de reprodução das cores e sua representatividade. O eixo 'x' tem o agrupamento do tipo de lâmpadas e períodos e o 'y' os valores máximos que os grupos atingiram nos testes.

Começando pelos grupos menos representativos – marrons, monocromáticos e preto – é evidente que não houve grandes variações no decorrer dos períodos e pelos tipos de lâmpadas, exceto pelas colunas da "Fluor Matutino", que mostram uma inversão entre a representatividade dos marrons com as monocromáticas, quando comparadas às demais colunas e grupos. Também com relação a essa lâmpada, nota-se que os resultados do vespertino são bem abaixo da média e o noturno mostra o contrário disso, equalizando os índices. Isso leva a crer que esse tipo de luz não tem influência positiva com a luminosidade natural do período vespertino, mas favorece o ambiente noturno. Vale relembrar que os resultados das fluorescentes nessa ocasião são para lâmpadas de 4100K. Outras temperaturas de cor podem gerar outros dados.

Em segunda análise entram as cores mornas, que em sua totalidade são 17 tons da paleta. Para esse grupo, as variações mais importantes estão no período noturno para todos os tipos de lâmpadas, na qual a representatividade retornou o mesmo índice e quase perto do total, tendo 15 citações. No quesito lâmpada, o painel retornou os melhores resultados para todos os períodos, inclusive em ordem crescente, onde o índice mais alto se encontra no noturno, com zero interferência de luz natural. A pior classificação fica com a fluorescente, novamente no vespertino, que apresentou apenas 9 tons. Também houve baixa representatividade da "TubLED" para o mesmo período.

O terceiro ponto compreende diretamente o objeto do estudo e corrobora com a intenção de se validar a eficácia

do sistema LED. Analisando os dois primeiros grupos no gráfico, que representam as cores quentes e frias, que por sua vez são a maioria da paleta e também nas imagens que fizeram parte do teste, nota-se que os índices das cores quentes são sobressalentes às frias. Quando se considera a figura "49 – Grupos de cores" percebe-se que o Grupo 1 possui menos cores na paleta que o Grupo 2. Entretanto, ao se confrontar essa quantidade com os índices do gráfico, fica evidente que as cores quentes foram mais citadas nos testes que as frias. O único caso em que houve resultado inverso foi novamente nas colunas da fluorescente, no período vespertino.

Em vista ao tipo de lâmpada, cabe uma análise direta sobre cada sistema. Começando pelo painel LED, não se nota uma variação entre os períodos matutino e vespertino para os grupos 1 e 2, mas há um crescimento de cinco cores, ou 18%, do marcador das cores frias. O grupo 3 aumentou gradativamente, de 13 tons no matutino para 15 no noturno.

Partindo para a fluorescente, tem-se uma variação acentuada para o crescimento das cores frias de 21 tons no matutino, 27 no vespertino e 30 no noturno, marcando o melhor índice para este grupo entre todos os sistemas e períodos. O grupo 1 obteve bons resultados, superando o painel LED para a situação mais crítica, que é o noturno.

Por fim, chega-se às lâmpadas TubLED. Nota-se que foi o único sistema que conseguiu registrar todos os tons da paleta no grupo 1, exatamente 31, tanto no matutino, quanto no noturno. Em comparação ao painel

LED se mostrou melhor nos grupos 1 e 2 e manteve uma média para o 4, 5 e 6, ficando atrás apenas nas cores mornas, sobretudo no período vespertino. No entanto, se comparadas com as fluorescentes, seu desempenho foi pouco inferior nas cores mornas e frias com superioridade nas quentes.

Em análise geral do gráfico é possível caracterizar o período do vespertino como sendo o mais crítico para todas as lâmpadas, capaz de inverter o padrão de resultados, principalmente para a fluorescente. Mesmo o noturno não tendo a contribuição de nenhuma luz natural, os índices para cores quentes sempre foram maiores que noutros.

A notação mais relevante é quanto ao grupo 1, que possui menos tons da paleta e mesmo assim atingiu registros mais altos que as frias ou mornas. Esse fato leva a crer que estas cores podem ser favorecidas na percepção do indivíduo, principalmente sob efeito da TubLED, que foi ao máximo de 31 tons.

Não se pode descartar o fato de que todas as lâmpadas alcançaram bons resultados, com ligeira diferença entre elas, com destaque para eficácia da fluorescente e painel LED no noturno e TubLED no matutino.

Após a análise deste gráfico e seus índices foi possível idealizar um novo padrão de filtros na pesquisa, que ratifica os fatos supracitados, porém com um outro enfoque, desta vez observando a quantidade de respondentes e a variação das respostas em função dos grupos de cores. Além disso, faz-se necessária uma abordagem estatística dos resultados.

ANÁLISES ESTATÍSTICAS

A tabela 19 demonstra o percentual dos respondentes e quantifica, por cada período e tipo de lâmpada, quais foram os grupos mais citados e percebidos, além de dar margem a uma análise mais ampla aos resultados gerais do teste. Previamente, pode-se dizer que as cores dos grupos mais representativos foram percebidas por 100% dos respondentes e apenas as cores monocromáticas, marrons e preto tiveram variações e geraram resultados distintos.

TABELA 19 - RELAÇÃO DE RESPONDENTES POR PERÍODO E TIPO DE LÂMPADA PARA OS GRUPOS DE COR MAIS REPRESENTATIVOS

Tipo de lâmpada e período	Total de respondentes	Grupo de cor 1		2		3	
		Respondentes					
		Absoluto	Relativo (%)	Absoluto	Relativo (%)	Absoluto	Relativo (%)
Painel matutino	16	16	100,0%	16	100,0%	16	100,0%
Painel vespertino	11	11	100,0%	11	100,0%	11	100,0%
Painel noturno	21	21	100,0%	21	100,0%	21	100,0%
TubLED matutino	12	12	100,0%	12	100,0%	12	100,0%
TubLED vespertino	16	16	100,0%	16	100,0%	16	100,0%
TubLED noturno	13	13	100,0%	13	100,0%	13	100,0%
Fluor matutino	8	8	100,0%	8	100,0%	8	100,0%
Fluor vespertino	16	16	100,0%	16	100,0%	16	100,0%
Fluor noturno	24	24	100,0%	24	100,0%	24	100,0%

Tipo de lâmpada e período	Total de respondentes	Grupo de cor 4		5		6	
		Respondentes					
		Absoluto	Relativo (%)	Absoluto	Relativo (%)	Absoluto	Relativo (%)
Painel matutino	16	7	43,8%	13	81,3%	5	31,3%
Painel vespertino	11	2	18,2%	8	72,7%	4	36,4%
Painel noturno	21	3	14,3%	14	66,7%	7	33,3%
TubLED matutino	12	6	50,0%	9	75,0%	5	41,7%
TubLED vespertino	16	6	37,5%	10	62,5%	7	43,8%
TubLED noturno	13	5	38,5%	9	69,2%	6	46,2%
Fluor matutino	8	8	100,0%	7	87,5%	5	62,5%
Fluor vespertino	16	2	12,5%	13	81,3%	2	12,5%
Fluor noturno	24	9	37,5%	17	70,8%	9	37,5%

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

Considerando a segunda parte da tabela, do grupo 4 ao 6, notam-se alguns fatos novos e outros que ratificam a análise anterior. Começando diretamente pelas cores, há o pior percentual para o grupo das monocromáticas, para o período vespertino, com o painel LED e fluorescente. Entre os grupos se destacou o 5, com valores de percepção acima de 70% dos respondentes em todas as salas e períodos.

Com relação aos períodos, percebe-se novamente um significativo desequilíbrio no vespertino com a lâmpada fluorescente, ficando abaixo de 15% de percepção para os grupos 4 e 6. Já o painel LED, para as monocromáticas, retornou uma inversão, se comparado com o resultado do gráfico 01, na qual possuía um índice bom no noturno e médio para os demais. Pela tabela, a situação mostra que o melhor percentual de percepção foi no matutino, ficando o vespertino e noturno com valores abaixo de 20% dos respondentes.

Por meio de comparações gerais dos resultados, identifica-se um equilíbrio entre as lâmpadas TubLED e fluorescente no período noturno, com ligeiro ganho percentual para a TubLED. Estreitando a análise para o vespertino em ambas, no qual houve a mesma quantidade de respondentes, existe uma considerável mudança nesse equilíbrio, no qual mostra mais uma vez a inversão de dados no período, não seguindo um padrão.

Uma última observação que se faz relevante sobre a tabela encontra-se nas diferenças entre valores de mínimo e máximo, em função dos grupos para um mesmo período. Considerando duas linhas da tabela, Flúor vespertino e Painel vespertino, existe uma variação de mais 50% para ambas, chegando aos 65%, ao se comparar os grupos 4 e 5 no caso da fluorescente. Essa disparidade não ocorre para nenhuma das outras linhas.

A última tabela determinou algumas médias aritméticas que permitiram comparar as luminárias, por grupo de cor. A tabela 20 mostra esses resultados. Por esta nova perspectiva, é possível notar como o período e sua interferência de luz natural pode interagir com a fonte de luz artificial. Percebe-se que, em ordem crescente, a partir do matutino, os respondentes para cada grupo tendem a decair, em percentual, gradualmente até chegar no índice mais baixo, no noturno. Exceto para o grupo 6, que sobe rasos 0,2%.

TABELA 20 - MÉDIA DE RESPONDENTES POR PERÍODO EM FUNÇÃO DO GRUPO DE COR

Tipo de lâmpada e período	Total de respondentes	Grupo de cor			Grupo de cor		
		4	5	6	4	5	6
		Respondentes por grupo de cor			Média relativa dos respondentes (%)		
		Absoluto	Absoluto	Absoluto			
Painel matutino	16	7	13	5			
TubLED matutino	12	6	9	5	64,6%	81,3%	47,9%
Flúor matutino	8	8	7	5			
Painel vespertino	11	2	8	4			
TubLED vespertino	16	6	10	7	42,0%	77,7%	38,8%
Flúor vespertino	16	2	13	2			
Painel noturno	21	3	14	7			
TubLED noturno	13	5	9	6	30,1%	68,9%	39,0%
Flúor noturno	24	9	17	9			

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

Este fato decrescente aparece somente nestes grupos de cores, pois como já foi visto na análise do gráfico 01, os tons mornos, azuis e, principalmente, quentes, são otimamente percebidos em todos os períodos, inclusive com grande destaque no noturno.

Utilizando uma ferramenta de análise estatística – moda – foi possível reiterar sobre a percepção do grupo 1, 2 e 3 sob influência das fontes de luz analisadas, separando as 5 cores mais relatadas pelos respondentes em cada seção. Para tanto, foram descartados alguns filtros da base de dados dos testes, reduzindo as 3363 entradas de respostas para 3103 registros. Destes,

contabilizou-se os cinco mais e menos citados de cada grupo. A tabela 21 retrata esse quantitativo modal.

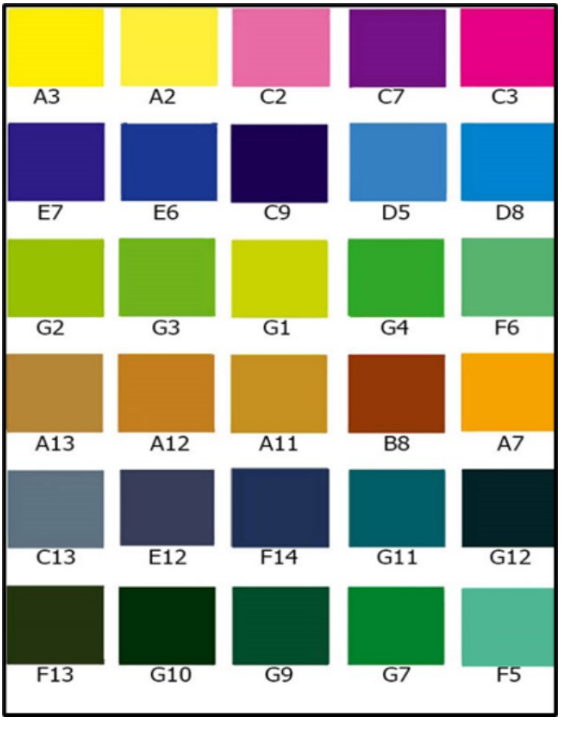
Para melhor análise da tabela e visualização dos 30 tons que foram listados, foi realizada uma reorganização da paleta de cores – figura 63 – de modo a agrupar as mais e menos citadas para cada grupo, excluindo as demais nuanças. Desta forma, ficou mais claro perceber quais as tendências de percepção que os respondentes tiveram durante o teste.

TABELA 21 - APRESENTAÇÃO QUANTITATIVA DOS TONS MAIS E MENOS INDICADOS NOS TESTES

GRUPO DE COR	Mais citadas		Menos citadas	
	Referência na paleta	Quantidade de citações	Referência na paleta	Quantidade de citações
Quentes	A3	193	A13	4
	A2	164	A12	7
	C2	148	A11	9
	C7	126	B8	13
	C3	102	A7	17
Frias	E7	57	C13	1
	E6	47	E12	1
	C9	44	F14	1
	D5	41	G11	2
	D8	41	G12	2
Mornas	G2	135	F13	5
	G3	104	G10	9
	G1	97	G9	10
	G4	53	G7	10
	F6	23	F5	11

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

FIGURA 63 – IDENTIFICAÇÃO DOS TONS MAIS E MENOS CITADOS DE ACORDO COM TABELA 21



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

Em vista da última tabela, percebe-se as diferenças entre as cores que foram mais e menos citadas. Evidencia-se novamente a tendência para os tons quentes e suas associações que são encontradas no grupo 3.

Vale relembrar que as frias possuem 40 tons, contra 31 das quentes, na paleta de cores, e as mornas apenas 17. Mesmo assim, a percepção dos respondentes nas três imagens foi sempre melhor nos grupos 1 e 3.

Ao se analisar minuciosamente as imagens do teste no intuito de buscar uma explicação ao desvio encontrado pela tabela, não se nota nada em especial que justifique as escolhas dos respondentes. O que se percebe é um equilíbrio entre vários tons de cada grupo dividido pelas 3 figuras.

Antes que se inicie quaisquer considerações ou conclusões deste estudo, mediante todas as tabelas, filtros e análises realizadas, no intuito de validar ou não as hipóteses que permeiam o objetivo principal deste estudo, vale registrar que logo que os testes terminaram, o laboratório de química não foi modificado para sua configuração original, mantendo o sistema de iluminação TubLED, o qual foi o último a ser testado. Essa decisão partiu do pesquisador e sua equipe, que ponderaram, a partir dos índices de iluminância média muito superiores aos da fluorescente anterior, que seria melhor manter o sistema do que retroceder para um padrão que, inclusive não atendia à norma, além disso, foi observado que todos os respondentes e usuários comuns do local apreciaram bastante o conforto visual provocado por esta lâmpada.

CAPÍTULO 8
CONCLUSÕES

Para a conclusão deste trabalho é necessário pontuar alguns aspectos das análises realizadas:

Foram analisadas, em ambientes de mesma dimensão, 3 tipos de lâmpadas instaladas conforme definidas em simulação para atender as necessidades do local e de seus usuários conforme definido em norma. Esses três tipos foram: Lâmpada fluorescente tubular de 32W, Painel LED de 45 W e Lâmpada tubular LED de 18W;

As orientações passadas também foram iguais para não ocorrer nenhum tipo de distorção de informação e que pudesse causar alterações ou induções nas respostas por parte dos respondentes;

O experimento foi realizado com grupos separados por faixa etária, cor de olhos e sexo e que serviram como filtros para as análises estatísticas;

Foram aplicados testes em condições iguais mudando, apenas o ambiente e sua fonte de iluminação;

Para análise dos resultados, a paleta de cores foi dividida em 6 grupos de forma a facilitar a análise.

Considerando isso, é possível concluir que:

As lâmpadas fluorescentes, instaladas no laboratório de biologia, tiveram o melhor desempenho no período

noturno para o grupo de cores quentes e frias. Para os outros grupos e nos outros períodos, seu desempenho foi igual ou inferior às outras lâmpadas;

Os painéis de LED não tiveram bom desempenho em qualquer período ou qualquer grupo de cores. É importante lembrar que, no caso destes painéis, os dados fornecidos e utilizados nos estudos e simulado em *software* não foram ratificados quando instalados, ou seja, os valores medidos foram completamente diferentes dos dados obtidos em simulação, daí nossa conclusão de haver informações desencontradas no *datasheet* do mesmo;

As lâmpadas tubulares LED tiveram ótimos resultados e se destacaram nos grupos de cores quentes e frias, só perdendo nas cores frias e no período noturno em relação às lâmpadas fluorescentes. É importante ressaltar que este sistema foi o único que permitiu o registro de todos os tons da paleta de um grupo de cores (as cores quentes) e em dois períodos do dia (matutino e noturno).

Um outro ponto importante a ser colocado é que, as lâmpadas tubulares LED não foram retiradas do local do teste (laboratório de química) por solicitação dos próprios usuários do local. Apesar desta vertente não fazer parte dos objetivos deste trabalho, foi observado que todos os respondentes e usuários comuns do local apreciaram bastante o conforto visual provocado por esta lâmpada, daí a decisão de não retirá-las.

É possível notar que, todas essas considerações nos levam a concluir que a lâmpada LED pode ser utilizada em

locais que exigem requisitos especiais e onde a percepção de cores, por parte de seus usuários, é fundamental. Não é possível considerar que, apenas por este estudo, o LED dominará o mercado, pois, infelizmente, os fabricantes e importadores ainda de pequeno e médio portes não entenderam a grande importância do datasheet de seus produtos. Não basta montar e colocar no mercado com a informação que reduz o consumo de energia, pois não se sabe, exatamente, onde o comprador irá utilizá-lo. Dessa forma, os produtos não certificados e sem o padrão exigido por normas, mesmo sendo internacionais, podem ter qualidade, mas não garantem um uso eficiente nos locais onde são aplicados.

Fica a recomendação para os interessados em colocar seus produtos no mercado que sigam as exigências dos órgãos controladores e das normas técnicas existentes para que o mercado se torne cada vez mais amplo para este tipo de produto. Além disso, que produzam os *datasheet* de seus produtos que correspondam às reais características dos mesmos, utilizando para isso, ensaios em laboratórios certificadores de qualidade.

REFERÊNCIAS

ABILUX, Comemoração de 80 anos, www.abilux.com.br, Consultado em 10/02/2015.

ALMEIDA, J. E. L.; SILVEIRA, P. M.; ABREU, J. P. **Efeitos das fluorescentes compactas em sistemas de distribuição.** Eletricidade Moderna, n.378, p.50-115-69, Set. 2005.

ALVAREZ, A. L. M. **Uso racional e eficiente de energia elétrica: Metodologia para a determinação dos potenciais de conservação dos usos finais em instalações de ensino e similares.** Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1998.

ANDRADE, Jr., K. R.; LEÃO, R. P. S. **Diagnóstico e solução de problemas de consumidores: casos práticos.** Eletricidade Moderna, n.339, p.108-115, Jun. 2002.

ANEEL. **Resolução nº. 492 de 03 de setembro.** Critérios para publicação de recursos em Programas de Eficiência Energética. 2002.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR5464 – Eletrotécnica e Eletrônica – Interferências Eletromagnéticas.** 1981.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR8184 – Lâmpadas fluorescentes e luminárias – Medição de Radiointerferência – Método de ensaio.** 1983.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR14417 – Reatores eletrônicos alimentados em corrente alternada para lâmpadas fluorescentes tubulares – Prescrições gerais e de segurança.** 1999.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR14418 – Reatores eletrônicos alimentados em corrente alternada para lâmpadas fluorescentes tubulares – Prescrições de desempenho.** 1999.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR14538 – Lâmpadas fluorescentes com reator integrado à base para iluminação geral – Requisitos de Segurança.** 2000.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR14539 – Lâmpadas fluorescentes com reator integrado à base para iluminação geral – Requisitos de desempenho.** 2000.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR IEC 60061-1 – Bases de lâmpadas, porta-lâmpadas, bem como gabaritos para o controle de intercambialidade e segurança – Parte 1: Bases de lâmpadas.** 1998.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR IEC/PAS 62612:2013 – Lâmpadas LED com dispositivo de controle incorporado para serviços de iluminação geral – Requisitos de desempenho.** 2013.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT IEC/PAS 16205:2013 – Lâmpada LED sem dispositivo de controle incorporado de base única**. 2013.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 16205-2:2013 – Lâmpadas LED sem dispositivo de controle incorporado de base única. Requisitos de desempenho.** 2013.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR IEC 62560:2013 – Lâmpadas LED com dispositivo de controle incorporado para serviços de iluminação geral para tensão > 50V – Especificações de segurança.** 2013.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT ISSO/CIE 8995-1:2013 – Iluminação de ambientes de trabalho. Parte I – Interiores.** 2013.

ASTORGA, O. A. M.; et al. O Emprego de Tecnologia LED na Iluminação Pública – Seus Impactos na Qualidade de Energia e no Meio Ambiente. In: **THE 8th LATIN-AMERICAN CONGRESS ON ELECTRICITY GENERATION AND TRANSMISSION - CLAGTEE,** 2009. Disponível em: <http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Arquitetural/Ilumina%E7%E3o%20P%FAblica/Artigos/o_emprego_de_tecnologia_led_na_iluminacao_publica_seus_impactos_na_qualidade_de_energia_e_no_meio_ambiente.pdf>. Acesso em 30 de outubro de 2013.

BANDEIRA, V.; NETTO, U. C.; SOUZA, A. M. de. **Iluminação Sólida Como Inovação e Diferencial Positivo Para Conservação de Energia e Modernização da Luminotécnica Brasileira**. 2004. Monografia (Graduação em Eletrotécnica) - Projeto final de graduação - Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Curitiba, 2004.

BARÃO, Sônia. **Sensibilidade ao Contraste**. In: António Ramalho [Personal Home Page], 2013. Disponível em <http://www.antonioramalho.com/direscrita/ficheiros/Sensibilidade%20ao%20Contraste.pdf>. Acesso em 30 de julho de 2014.

BARTOLOMEU, M. M. F. **Iluminação no local de trabalho**. 2003. Monografia (Pós-Graduação em Segurança do Trabalho) - Programa de Pós-Graduação do Instituto Superior de Línguas e Administração, Belém, 2003.

BARLOW, H. B.; et al. Efficiency of Human Visual Signal Discrimination. In: ***American Association for the Advancement os Science.*** Science, New Series, Vol. 214, No. 4516. (Oct. 2, 1981)*, pp. 93-94.* Disponível em <http://links.jstor.org/sici?sici=0036-8075%2819811002%293%3A214%3A4516%3C93%3AEOHVSD%3E2.0.CO%3B2-9>. Acesso em 25 maio 2013.

BOMMEL, Wout van. O espectro das fontes de luz e os níveis baixos de iluminação: o básico. Tipos de visão e aspectos da adequabilidade de espectros específicos das fontes de luz para uso em vias. In: ***Portal - O Setor Elétrico****,* edição 50, Atitude Editorial, março de 2010*.* Disponível em < http://www.osetoreletrico.com.br/web/a-revista/edicoes/326-o-espectro-das-fontes-de-luz-e-os-niveis-baixos-de-iluminacao-o-basico.html>. Acesso em 05 novembro 2012.

BRASIL. **Balanço Energético Nacional 2005 (ano base 2004).** MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. Brasília – DF, 2005.

BRASIL. **Portaria nº. 020 de 29 de janeiro.** Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. 2002.

BRASIL. **Portaria no. 27 de 18 de fevereiro. Instituto de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial.** 2000.

BRASIL. **Portaria Interministerial no. 132** de 12 de junho. Brasília. 2006.

BRASIL. **Portaria Interministerial no. 289** de 16 de novembro. Brasília. 2006.

BRASIL. **Portaria Interministerial MME/MCT/MDIC nº 1.007** de 31 de dezembro. Brasília. 2010.

BRINDLEY, G.S. **The effects on colour vision of adaptation to very bright lights**. Artigo. The Journal of Physiology, November, 1953.

BRITO, Paulo. **O sistema sensitivo.** Visão Geral do Sistema Sensitivo. Instituto Paulo Brito, 2013. Disponível em <http://neurologiapaulobrito.com/pdf/pdf_programa_ residencia/sistema_sensitivo/visao_geral_sistema_sensitivo.pdf> Acesso em 25 julho 2014.

CANDURA, Paulo. Visão humana. Vapores metálicos *versus* Vapor de sódio. In: **Lume Arquitetura.** Ed. 03, São Paulo, DeMaio Editora, p. 48-52, setembro 2003. Disponível em < http://lumearquitetura.com.br/pdf/ed03/ed_03_Ilum.pdf> Acesso em: 13 maio 2013.

DEHOFF, P. **Relação entre eficiência energética na iluminação e as necessidades do usuário.** Eletricidade Moderna, n.382, p.124-135, Jan. 2005.

EDUCAÇÃO UOL **Biografia de Edward Jenner**. Disponível em:<http://educacao.uol.com.br/biografias/edward-jenner.htm>, acessado em 07/02/2014).

ELETROBRÁS. **Plano 2015 – plano nacional de energia elétrica 1993 – 2015. v.1.** Rio de Janeiro, 1994.

ELETROBRÁS/PROCEL Info. Disponível em <www.eletrobras.com/pci/main.asp>. Acesso em 14 de outubro de 2006.

EXPERT SOLUTIONS. Site www.expertsolutions.com.br. **Publicações**. Consultado em 04/05/2015.

ENSINO NOVO. Física, uma visão histórica. Consultado em http://ensinonovo.if.usp.br/universitario-alunos/uma-visao-historica/. 13/06/2014.

FIGURA 43. **Beautifulspring Garden.** Wall Papers WIDE. Disponível em <http://wallpaperswide.com/beautiful_spring_garden-wallpapers.html> , acesso em 28/03/2015.

FIGURA 44. : **Its so easy to fall in love.** Wall Papers WIDE. Disponível em <http://wallpaperswide.com/its_so_easy_to_fall_in_love-wallpapers.html> acesso em 28/03/2015.

FIGURA 45. **Rainbowwaves.** Wall Papers WIDE. Disponível em <http://wallpaperswide.com/abstract_rainbow_flow-wallpapers.html> acesso em 28/03/2015.

FIGURA 46. **Pantone-color-chart.** Sublimated. Disponível em <http://sublimated .com.au/index.php/pantone-colours>, acesso em 30/03/2015.

FRASER, B.; MURPHY, C.; BUNTING, F. ***Color Management***. 2ª. ed. Berkeley: Peachpit Press, 2005.

GABALDÓN, F. S.; GÓMEZ, E.; ENCINAS, N.; MOLINA, A.; VALERO, S.; ORTIZ, M.; FRANCO, F. G. **Nova tecnologia para melhorar a eficiência energética das instalações de uma universidade.** Eletricidade Moderna, n.378, p.70-83, Set. 2005.

GELLER, H. **O uso eficiente da eletricidade – uma estratégia de desenvolvimento para o Brasil.** Rio de Janeiro, Instituto Nacional de Eficiência Energética, 1994.

HEYER, D. ***Colour perception: mind and the physical world.*** New York: Oxford University Press, 2003.

JESUS, Marcelo de Oliveira. Curvas fotométricas. In: **Portal - O Setor Elétrico**, edição 73, Atitude Editorial, fevereiro 2012. Cap. II, p. 48-53. Disponível em: <http://www.osetoreletrico.com.br/web/component/content/article/73-sistemas-de-iluminacao/794-capitulo-ii-curvas-fotometricas.html > Acesso em 10 maio 2013.

KAWASAKI, Juliana Iwashita. Métodos de cálculo luminotécnico. In: **Portal - O Setor Elétrico**, edição 74, Atitude Editorial, março 2012. Cap. III, p. 40-45. Disponível em: <http://www.osetoreletrico.com.br/web/component/content/article/73-sistemas-de-iluminacao/829-capitulo-iii-metodos-de-calculo-luminotecnico.html> Acesso em 10 maio 2013

LEONELLI, P.A. **Efficient Lighting in Brazil.** European Conference on Energy-Efficient Lighting, 3rd, Proceedings. Newcastle-upon-Tyne, England, 1995.

LEONELLI, P.; MONTEIRO, R.; ARAÚJO, L.; POLIS, H.; GELLER, H. **Evolução do mercado para produtos eficientes de iluminação.** Eletricidade Moderna, n.281, p.60-76, Ago. 1997.

LIMA, Mônica Gomes. **Avaliação da Sensibilidade ao Contraste Espacial de Cores em Humanos.** 2010. Dissertação (Mestrado em Neurociências e Biologia Celular) - Programa de Pós-Graduação do Instituto de Ciências Biológicas - ICB - Universidade Federal do Pará, Pará, 2010.

LIMA, Mônica Gomes, et al. **Métodos utilizados na avaliação psicofísica da visão de cores em humanos**. Psicologia USP [online]. 2011, vol.22, n.1, pp. 197-222. Epub Mar 04, 2011. ISSN 0103-6564. http://dx.doi.org/10.1590/S0103-65642011005000000

Disponível em < http://www.scielo.br_pdf_pusp_2011nahead_aop0711> Acesso em 20 julho 2013.

LUME ARQUITETURA. Site www.lumearquitetura.com.br. Revistas. Consultado em 04/05/2015.

MONTEIRO, P. R. D. **Projeto de eficiência energética nas instalações de uma universidade.** Eletricidade Moderna, n.379, p.68-83, Out. 2005. Apostila do Curso de Fisiologia 2012 Departamento de Fisiologia, IB Unesp-Botucatu Profa. Silvia M. Nishida http://www.ibb.unesp.br/Home/Departamentos/Fisiologia/Neuro/08.sentido_visao.pdf

PEA/POLI. **Apostila de Lâmpadas Elétricas**. Laboratório de Instalações Elétricas. Escola Politécnica de USP, São Paulo. Consulta em 05 de maio de 2007.

PIANTINI, A.; KANASHIRO, A.; TATIZAWA, H. **Perturbações em redes elétricas.** Apostila de aula ENE 5728. Instituto de Eletrotécnica e Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, Set. 2005.

OLIVEIRA, J.G; PINTO, R.C; e outros. **Uso da Tecnologia de estado sólido para iluminação de interiores.** Eletricidade Moderna. Pag. 74 a 78. São Paulo. 2013.

OLIVEIRA, José Gil. Aplicação de Leds e fotometria. In: **Portal - O Setor Elétrico**, edição 78, Atitude Editorial, fevereiro 2012. Cap. VII, p. 40-47. Disponível em: <http://www.osetoreletrico.com.br/web/component/content/article/73-sistemas-de-iluminacao/794-capitulo-ii-curvas-fotometricas.html> Acesso em 10 maio 2013.

OSRAM. **Manual de Iluminação**, São Paulo, 2005.

PHILIPS. COLOR KINETICS. ***Evaluating Lighting Output: Technical Brief.*** Using Delivered Light to Specify and Compare LED Lighting Fixtures. 2010. Disponível em <http//:www.webvision.med.utah.edu/book /part-v iii-gabac-receptors/color-perception/> Acesso em: 21 outubro 2012.

REMAKING CITIES INSTITUTE. ***LED Street Light Research Project****. Pittsburgh, Pensilvania, 2011.* Disponível em: < http://www.cmu.edu/rci/documents/led-updated-web-report.pdf> Acesso em: 10 novembro 2012.

REVISTA LUMIÈRE. **Curso de Fotometria On line.** Disponível em: < http://www.edlumiere.com.br/index.php/content/view/368/65/> Acesso em 30 de março de 2004.

RODRIGUES, Pierre. **Manual de iluminação eficiente**. São Paulo, PROCEL / ELETROBRAS, 2002.

SAIDEL, Marco Antonio; et al. Leds em iluminação pública: tecnologias, desempenho e implantação. In: **Portal - O Setor Elétrico**, edição 77, Atitude Editorial, maio 2012. Cap. VI, p. 48-53. Disponível em: <http://www.osetoreletrico.com.br/web/component/content/article/73-sistemas-de-iluminacao/794-capitulo-ii-curvas-fotometricas.html > Acesso em 10 maio 2013.

SAMU, K. et al. **Effect of fluorescent light sources on human contrast sensitivity**. In: 27th Session of the CIE, 2011, Sun City. Proceedings of the 27th Session of the CIE. Vienna: CIE, 2011. v. 1. p. 931-935. Disponível em <http://mono.eik.bme.hu/~samu/publications/055_cie.pdf>. Acesso em 20 julho 2013.

SAUER, I. **Usos finais de energia – tecnologias, processos e tendências.** Apostila de aula ENE 5703. Instituto de Eletrotécnica e Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, Jun, 2005.

SIRIACO, Michelle C. S. **Estudo fotométrico de luminárias públicas a LED**. I Workshop de Iluminação a LED, outubro 2012. Departamento de Laboratórios do Fundão - DLF. Eletrobrás CEPEL, 2012.

STELLARNET INC. ***Color Measurement Systems.*** Developing Intelligence for Light. 2013. Disponível em: <www.stellarnet.us/PopularConfiguration_ colorsystems.htm?gclid=CMP4uO_B8LgCFTFo7Aod2V0A4g> Acesso em: 10 outubro 2012.

TAVARES, Sílvia G. **Simulação Computacional para Projeto de Iluminação em Arquitetura.** 2007. Dissertação (Pós Graduação e Arquitetura) - Programa de Pós Graduação em Arquitetura - PROPAR. Mestrado em Arquitetura. UFRS, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2007.

TETRI, E.; GLIGOR, V. **Dimerização contínua em função da luz natural e seus efeitos.** Eletricidade Moderna, n.381, p.158-165, Dez. 2005.

VICARIO, C. U. Neurobiología de la visión. Pp 247. Edicions UPC, Barcelona, 1999.

VILUX. História da Evolução da Lâmpada. Consultado em http://www.vilux.com.br/ver_noticias.asp?codigo=143. 15/07/2014.

YATES, J. T., HEIKENS, M.F., **Colour Vision Testing – Methodologies:Update and Review**, in: Menu J.-P., Ivan D.

(eds.), RTO technicalreport 16. Operational Colour Vision in the Modern AviationEnvironment, Research And Technology Organization / North AtlanticTreaty Organization, Neuilly-sur-Seine, pp. 21-37, 2001

YU, L.; YANG, J.. **The Topologies of White LED Lamps' Power Drivers.** IEEE. 3rd International Conference on Power Electronics Systems and Applications. 2009.

SITES

http://www.drlux.com.br. Imagens. Consultado em 30/06/2015.

http://www.directindustry.com. Imagens. Consultado em 30/06/2015.

www.redoff.com.br. Imagens. Consultado em 30/06/2015.

www.es.slide.share.net. **Teste de cromatografia de papel**. Consultado em 30/06/2015.

www.ipaq.com.br. Curva de distribuição espectral. Consultado em 20/03/2015.

www.jotdown.es. Imagens. Consultado em 15/07/2015.

www.proyectacolor.cl. Imagens. Consultado em 15/07/2015.

www.acorsimplificada.com.br. Imagens. Consultado em 02/04/2015.

www.homodiscens.com. Imagens. Consultado em 02/04/2015.

www.tipografos.net. Imagens. Consultado em 10/03/2015.

www.georgehernandez.com. Imagens. Consultado em 25/08/2015.

http://www.ufrgs.br/engcart/PDASR/formcor.html. Diagrama de Cromaticidade CIE. Consultado em 02/08/2015.

www.infoescola.com. Composição do Retina. Consultado em 25/08/2015.

http://www.ilunato.com.br/curso . Curso online sobre iluminação. Consultado em 04/04/2015.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Curva de Espectro Eletromagnético

Figura 2 – Aproveitamento da Energia em lâmpadas

Figura 3 – Ilustração da Intensidade Luminosa

Figura 4 – Ilustração de Iluminância

Figura 5 – Ilustração das propriedades luminotécnicas existentes na matéria

Figura 6 – A diferença das temperaturas de cor

Figura 7 – Imagens que destacam as diferenças da reprodução de cores

Figura 8 - Ilustração dos modelos de lâmpadas incandescentes

Figura 9 - Ilustração de lâmpadas incandescentes halógenas

Figura 10 – Ilustração de lâmpadas fluorescentes tubulares

Figura 11 – Ilustração de lâmpadas fluorescentes compactas

Figura 12 – Exemplos de Lâmpada LED

Figura 13 – Marcas de Conformidade

Figura 14 – Partes do olho humano

Figura 15 – Composição da retina

Figura 16 – Curva internacional de luminosidade espectral relativa ou curva de sensibilidade do olho a radiações monocromáticas

Figura 17 – Curva de distribuição espectral

Figura 18 – Círculo de Newton

Figura 19 – Círculo de Goethe

Figura 20 – Círculo de Harris

Figura 21 – Círculo de Runge

Figura 22 – Círculo de Chevreul

Figura 23 – Círculo de Hering

Figura 24 – Círculo de Munsell

Figura 25 – Círculo de Ostwald

Figura 26 – Círculo de Itten

Figura 27 – Diagrama de Cromaticidade CIE-XY (1931)

Figura 28 – Forma de visualização dos portadores de Daltonismo

Figura 29 – As placas de transformação Ocultas de Ishihara

Figura 30 – Placas de dígito escondido e de diagnósticos de Ishihara

Figura 31 – Base de teste Farnsworth D-15

Figura 32 – Base de teste Farnsworth D-15

Figura 33 – Luminária desenvolvida para o estudo

Figura 34 – Luminária com TCC de 6500K

Figura 35 – Luminária com TCC de 4000K

Figura 36 – Planta Arquitetônica

Figura 37 – Laboratório de química - visão dos fundos

Figura 38 – Laboratório de química - visão frontal

Figura 39 – Luxímetro digital - ICEL - LD800

Figura 40 – Grid de iluminância do laboratório de química

Figura 41 – Imagem foto-realística do laboratório de química a partir do DIALux

Figura 42 – Tubular LED 18W

Figura 43 – Painel LED – 45W – 6500K – com driver externo

Figura 44 – Driver bivolt do painel

Figura 45 – Simulação final - Tubular LED 18W

Figura 46 – Simulação final - Tubular LED 18W

Figura 47 – Planta baixa de distribuição de luminárias gerada pelo Dialux – Painel LED

Figura 48 – Planta baixa de distribuição de luminárias gerada pelo Dialux –TubLED

Figura 49 – Curva de distribuição fornecida pelo Fabricante

Figura 50 – Curva de distribuição Medida em Laboratório.

Figura 51 – Distribuição de luminárias a partir dos levantamentos de dados técnicos pelo Laboratório

Figura 52 – Diagrama de cores falsas fornecido, a partir da simulação com os dados do fabricante

Figura 53 – Diagrama de cores falsas fornecido, a partir da simulação com os dados do Laboratório

Figura 53 – Laboratório de química após montagem - Tubular LED

Figura 54 – Primeira imagem do teste – Título: Beautifulspring Garden

Figura 55 – Segunda imagem do teste – Título: Its so easy to fall in love

Figura 56 – Terceira imagem do teste – Título: Rainbowwaves

Figura 57 – Paleta de cores

Figura 58 – Aplicação do teste no laboratório de química sob efeito dos painéis LED

Figura 59 – Aplicação do teste no laboratório de biologia sob efeito das fluorescentes

Figura 60 – Divisão dos segmentos

Figura 61 – Grupos de cores

Figura 62 – Identificação dos tons mais e menos citados de acordo com tabela 21

LISTA DE FIGURAS

Tabela 1 – Eficiência mínima exigida pela portaria interministerial para lâmpadas incandescentes domésticas de 127V

Tabela 2 – Eficiência mínima exigida pela portaria interministerial para lâmpadas Incandescentes domésticas de 220V

Tabela 3 – Consumo de lâmpadas residenciais 2012/2013

Tabela 4 – Histórico da evolução do LED

Tabela 5 – Comparação entre reatores eletromagnéticos e eletrônicos

Tabela 6 – Relação dos circuitos de acionamento para LED e suas características

Tabela 7 – Lista de normas atuais aplicadas a lâmpadas fluorescentes tubulares

Tabela 8 – Relação dos grupos de trabalho da comissão de eletricidade

Tabela 9 – Lista de normas atuais aplicadas a lâmpadas com LED

Tabela 10 – Relação do grid de medição de iluminância média em Lux

Tabela 11 – Comparativo de lâmpadas

Tabela 12 – Relação do grid de medição de iluminância média em Lux – Painel LED

Tabela 13 – Relação do grid de medição de iluminância média em Lux – Tubular 18W

Tabela 14 – Comparativo de iluminância média

Tabela 15 – Totalização de respondentes por características, no laboratório de biologia

Tabela 16 – Totalização de respondentes por características, total geral

Tabela 17 – Ocorrências por grupo de cores em função da luminária e período

Tabela 18 – Ocorrências por grupo de cores em função da luminária e período

Tabela 19 – Relação de respondentes por período e tipo de lâmpada para os grupos de cor mais representativos

Tabela 20 – Média de respondentes por período em função do grupo de cor

Tabela 21 – Apresentação quantitativa dos tons mais e menos indicados nos testes

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

ANSI – Instituto de Normalização Nacional Americano

BSI – Instituto de Normalização Britânica

CA – Corrente Alternada

CC – Corrente Contínua

CE – Comunidade Européia

CEN – Comitê Europeu de Normalização

CMN – Comitê MERCOSUL de Normalização

CIE – Commission Internationale de l'Eclairage

CSA – Canadian Standards Association

DEUTAN – Indivíduo portador de Deuteranopia

HID – High Intensity Discharge

IEC – International Electrotechnical Commission

IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers

IFSP – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia

IRAN – Instituto Argentino de Normalização

ISO – Organização Internacional de Normalização

MERCOSUL – Mercado Comum do Sul

MCT – Ministério da Ciência e Tecnologia

MDIC – Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio

MME – Ministério das Minas e Energias

PROTAN – Indivíduo portador de Protanopia

TIRTAN – Indivíduo portador de Tritanopia

RESUMO

Silva, C. G. M. **Avaliação da utilização das lâmpadas LED em laboratórios de análise: uma visão psicofísica nos laboratórios de Química e Biologia do Instituto Federal de São Paulo – Câmpus São Paulo.** 2015. 244 p. Tese (Doutor em Ciências) - Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

Nos últimos 15 anos, a utilização do LED (*Light-emitting diode*) como fonte de iluminação alternativa tornou- se bastante comum. Na década de 90, eles evoluíram de forma a ser possível a criação de LED com comprimentos de ondas menores, nas cores azul, verde e ciano e de onde veio a criação do LED branco de alta potência. Com este novo conceito de iluminação, devido às exigências de condições específicas para o desenvolvimento de atividades que exige um grau maior de cuidado no conforto visual e na confiabilidade de análise de cores na produção de produtos, o ser humano passou a ser um dos focos de pesquisa. Como a visão humana pode perceber o espectro de cores dos resultados de processos químicos com a presença do LED? Como o uso dessa tecnologia pode alterar de forma significativa o resultado de testes e exames onde a percepção de cores é determinante? O objetivo deste trabalho é identificar a sensibilidade ao contraste espacial e fazer uma comparação com o uso das lâmpadas fluorescentes tradicionais para identificar as principais vantagens e desvantagens no uso desta tecnologia. As lâmpadas LED foram instaladas em um dos laboratórios de Química do Câmpus São Paulo e testes para identificação de cores foram aplicados a voluntários. Para efeito de comparação, os mesmos testes foram aplicados no laboratório de Biologia que tem o mesmo formato e dimensão, mas as lâmpadas foram as Fluorescentes tubulares e, para completar a análise, painéis LED foram instalados, também, no laboratório de Química e os testes foram repetidos. Os resultados quanto ao uso das lâmpadas tubulares LED foram bem consistentes e comprovam que o LED pode ser utilizado em ambientes profissionais onde as cores são imprescindíveis para qualidade de produtos.

Palavras-chave: Tecnologia LED, Reprodução de cores, Iluminação, Laboratórios de Análises

ABSTRACT

Silva, C. G. **M. Evaluation of the use of LED lamps for analytical laboratories: A psychophysical sight in Chemistry and Biology laboratories of the Instituto Federal of São Paulo – Câmpus São Paulo.** 244 p. PhD Thesis – Graduate Program on Energy. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

In the last 15 years, the use of LED (Light-emitting diode) as a source of alternative lighting has become quite common. In the 90 they evolved in such a way that it is possible to create LED with smaller wavelengths, in the colors Blue, green and cyan and the creation of the high power white LED. With this new lighting concept, due to the requirements of specific conditions for the development of activities that require a higher level of care in the visual comfort and reliability of color analysis in the production of products, the human being has become one of the focuses of research. As the human vision could perceive the color spectrum of the results of chemical processes with the presence of LED? As the use of this technology can change significantly the result of tests and exams where the perception is crucial? The aim of this study is to identify the spatial contrast sensitivity and make a comparison with the use of traditional fluorescent lamps to identify the main advantages and disadvantages in the use of this technology. LED lamps installed in a Campus chemistry Labs and tests for identification of colors applied to volunteers. For comparison, the same tests applied in the laboratory of Biology that has the same format and size, but the lamps were the tubular Fluorescent and, to complete the analysis, LED panels installed, too, in the laboratory of chemistry and the tests repeated. The results regarding the use of LED lamps were quite consistent and show that the LED used in professional environments where the colors are indispensable for quality products.

Keywords: LED technology, reproduction of colors, lighting, Analysis Laboratories