

Universidade Federal do Rio de Janeiro

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA INDÚSTRIA E LUMINOTÉCNICA

Felipe Albino da Silva Santos

2013



**Universidade Federal
do Rio de Janeiro**

Escola Politécnica

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA INDÚSTRIA E LUMINOTÉCNICA

Felipe Albino da Silva Santos

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro.

Orientador: João Carlos dos Santos Basílio

Rio de Janeiro
Agosto de 2013

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA INDÚSTRIA E LUMINOTÉCNICA

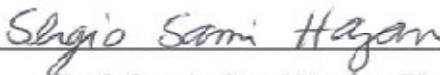
Felipe Albino da Silva Santos

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO ELETRICISTA.

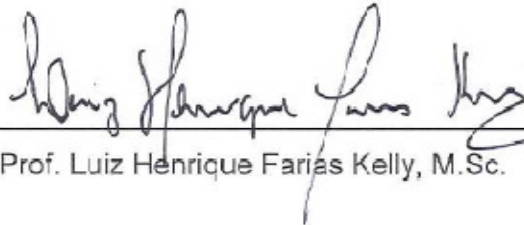
Examinado por:



Prof. João Carlos dos Santos Basílio, Ph.D.



Prof. Sergio Sami Hazan, Ph.D.



Prof. Luiz Henrique Farias Kelly, M.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

Agosto de 2013

Santos, Felipe Albino da Silva

Eficiência energética na indústria e Luminotécnica/
Felipe Albino da Silva Santos. – Rio de Janeiro: UFRJ/
Escola Politécnica, 2013.

X, 66 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: João Carlos Basílio

Projeto de Graduação – UFRJ/ Escola
Politécnica/Curso de Engenharia Elétrica, 2013.

Referencias Bibliográficas: p. 67.

1. Diagnóstico de eficiência energética. 2. Eficiência
energética na indústria. 3. Técnicas de iluminação. 4.
Luminotécnica I. Basílio, João Carlos dos Santos. II.
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola
Politécnica, Curso de Engenharia Elétrica. III. Título.

*“Faça aquilo que gosta
e não terá que trabalhar
um só dia de sua vida.”*

Warren Buffet

Agradecimentos

Agradeço primeiramente aos meus pais Francisco e Elaine. Sem eles, jamais chegaria até aqui e sou eternamente grato por todo empenho que tiveram para que não faltasse apoio, educação, e principalmente carinho. O maior ensino eu recebi no lar e na casa do Pai.

Agradeço ao meu irmão mais novo Eleazar por sempre me enxergar com referência, a pesar de ele ser a minha. À minha noiva Daniella por sempre me apoiar e motivar em todos os instantes durante esta jornada, em cada dia de estudo, cada trabalho, e pelo carinho de sempre.

Agradeço ao meu orientador João Carlos Basílio, pela total dedicação a cada etapa deste projeto para me ajudar, explicar e orientar, sempre apontando os erros cometidos de forma exemplar, respeitando o abismo abissal de conhecimento entre mestre e aluno.

Agradeço aos meus grandes amigos por terem participado de todos os obstáculos vencidos ao longo dos anos de faculdade. Sem dúvida se tornaram menos difíceis com amigos ao lado.

Ao coordenador do curso de Engenharia Elétrica Sergio Sami Hazan e também aos funcionários da secretaria por estarem sempre dispostos a ajudar os alunos. Basta um pedido simples e o problema mais complicado se resolve.

Por fim, a todos que contribuíram para a minha formação de forma direta ou indireta.

Muito obrigado.

Resumo

O presente trabalho visa mostrar, de modo inicial, a importância crescente que vem sendo atribuída ao campo da eficiência energética no mundo. Existem vários projetos sendo realizados por governos traçando metas de redução de consumo com prazos pré-definidos e incentivando projetos de pesquisa e desenvolvimento. Esses estudos propiciariam evoluções técnicas (em método) e tecnológicas (em equipamento) a fim de aperfeiçoar continuamente o consumo específico de energia. Isso significa reduzir o consumo para a mesma produção.

O estudo de técnicas de iluminação é uma das maneiras de atuação no vasto campo da eficiência energética e, especificamente neste trabalho, a luminotécnica será aplicada no âmbito industrial.

Este trabalho apresenta aplicações já realizadas de modo prático em uma fábrica multinacional do ramo de pneus instalada em diversos países de cinco continentes. Os projetos trazem estimativas de investimento e retorno com os ganhos realizados nas modificações dos projetos anteriormente instalados. O objetivo final deste trabalho é que o leitor seja capaz de compreender a importância do assunto aqui trazido e que o mesmo possa ser capaz de independente da engenharia, trabalhar no tema de iluminação associado ao vasto campo da eficiência energética na indústria.

Abstract

The present study aims at showing, the increasing importance that is being given to the field of energy efficiency in the world. There are several projects being undertaken by governments with the view to reducing energy pre-defined deadlines and encouraging research and development projects. These studies could provide technical developments (in method) and technology (equipment) in order to continuously improve the specific energy consumption. This means to reduce the consumption for a same production.

The study of lighting techniques is one way to work in the vast field of energy efficiency, specifically in this work, the lighting technique is applied in industry.

This work presents applications already done in a branch of a multinational tire factory installed in several countries in five continents. The projects bring investment and return estimates with gains achieved with the modifications on current installation. The ultimate goal of this work is that the reader would be able to understand the importance of the subject brought here and that he or she may be capable, independent of the engineering branch, to work on the theme of lighting associated with the vast field of energy efficiency in industry.

Sumário

Sumário	viii
Lista de figuras	x
Capítulo 1 – Introdução.....	1
Capítulo 2 – Luminotécnica.....	7
2.1 – Grandezas e conceitos fundamentais.....	8
2.1.1 – Fluxo Luminoso (Φ).....	8
2.1.2 – Eficiência Luminosa.....	9
2.1.3 – Intensidade Luminosa (I)	10
2.1.4 – Curva de Distribuição Luminosa	10
2.1.5 – Iluminância ou Iluminamento (E).....	11
2.1.6 – Luminância	12
2.1.7 – Índice de Reprodução de Cor (IRC).....	13
2.1.8 – Temperatura de Cor.....	14
2.2 – Fundamentos do projeto de iluminação	14
2.2.1 – Limitação de ofuscamento	16
2.2.2 – Proporção Harmoniosa entre Luminâncias	16
2.2.3 – Efeitos de Luz e Sombra.....	17
2.2.4 – Reprodução de Cores.....	17
2.2.5 – Tonalidade de Cor da Luz.....	18
2.2.6 – Acústica e ar-condicionado	18
2.3 – Fatores de Desempenho	18
2.4 – Cálculos de Iluminação Geral	22
2.4.1 – Método Ponto a Ponto	22
2.4.2 – Método das Eficiências	26
2.4.3 – Método do Fluxo Luminoso.....	30
Capítulo 3 – Aplicações	41
3.1 – Avaliações de consumo energético	44

3.2 – Avaliações de custos e rentabilidade	45
3.3 – Projetos aplicados na indústria	46
3.3.1 – Projeto inicial de verificação.....	47
3.3.2 – Projetos alternativos	51
Capítulo 4 – Conclusão.....	62
Anexo A – Tabela de eficiência do recinto	63
Anexo B – Tabela de Eficiência Aproximada das Luminárias	66
Anexo C – Tabela de tipo de luminária e fator de depreciação	67
Anexo D – Tabela de iluminância por classe de tarefas visuais	67
Referências Bibliográficas	68

Lista de figuras

Figura 1: Áreas de atuação em eficiência energética na indústria.....	5
Figura 2: Espectro eletromagnético	7
Figura 3: Eficiência luminosa ou energética de um determinado grupo de lâmpadas em (lm/W).....	9
Figura 4: Curva de Distribuição de Intensidades no plano transversal e longitudinal para uma lâmpada (A) ou associada a um refletor (B).....	10
Figura 5: Fluxo luminoso de 1 lm incidindo em uma área de 1m ² produzindo 1 lux de iluminância.....	11
Figura 6: Representação da iluminância.....	12
Figura 7 e Figura 8: Índices de reprodução de cor de 40% e 100% respectivamente .	14
Figura 9: Proporção Harmoniosa entre Luminâncias	17
Figura 10: Representação das alturas útil, do plano de trabalho, do pendente e total.	20
Figura 11: Gráfico representativo do Método Ponto a Ponto.....	23
Figura 12: Curva de Distribuição de Intensidades no plano transversal e longitudinal para uma lâmpada.....	24
Figura 13: Distribuição recomendada de luminárias no recinto em estudo.....	28
Figura 14: Figura de auxílio na obtenção da Iluminância vertical.	28
Figura 15: Figura de auxílio na obtenção da Iluminância com incidência não perpendicular.	29
Figura 16: Influência de fontes luminosas distintas na iluminância de um ponto.	30
Figura 17: Distribuição recomendada de luminárias no recinto em estudo.....	37
Figura 18: Distribuição das luminárias do exemplo	40
Figura 19: Consumo de energia nas indústrias	41
Figura 20: Evolução dos indicadores de energia elétrica no Brasil.....	42
Figura 21: Matriz elétrica brasileira	43
Figura 22: Comparação entre custos operacionais.	46
Figura 23: Armazém de estoque de pneus	48
Figura 24: Exemplo de aplicação de telhas translúcidas numa indústria.....	52
Figura 25: Exemplo de aplicação de exaustor eólico iluminador	55
Figura 26: Painel auxiliar com visão dos componentes internos.	59
Figura 27: Painel auxiliar com visão dos componentes externos.	60

Capítulo 1 – Introdução

Necessidade de redução de consumo de energia

A indústria no Brasil e no mundo frequentemente passa por momentos oscilantes, do ponto de vista econômico. A crise econômica pela qual o mundo tem passado recentemente contribui intensamente com isso. Portanto, passou a ser questão de sobrevivência e pré-requisito para a competitividade produzir de modo cada vez mais eficiente. Ou seja, processos produtivos precisarão fazer os mesmos produtos com um rendimento cada vez maior a partir da eliminação de desperdício, evolução técnica de equipamentos e melhoria de desempenho de produção.

A concorrência internacional exerce sobre a indústria brasileira uma pressão crescente de forma que sejam adotadas tecnologias cada vez mais “limpas”. É fundamental que se trabalhe com plantas industriais capazes de minimizar o consumo específico de energia e água, reduzir a emissão de efluentes e gases poluentes, bem como o descarte de resíduos.

O número de países que atuam desenvolvendo programas orientados para eficiência energética na indústria cresce dia após dia. Referente a este tema, o que será abordado ainda na introdução deste trabalho são resultado da parceria entre a Confederação Nacional de Indústria (CNI) e a ELETROBRAS, formada por intermédio do PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica e seu subprograma PROCEL INDÚSTRIA – Eficiência Energética Industrial.

Experiências internacionais em eficiência energética na indústria

No contexto deste trabalho, foram identificados programas que alcançaram os melhores resultados em termos de eficiência energética industrial e que poderiam, eventualmente, ser utilizados como “*benchmarking*” no Brasil [1], [2]. O levantamento realizado incluiu pesquisas na internet e em bibliotecas, além de documentos e contatos proporcionados pelo CNI [17], [18]. Quatorze países foram considerados: Estados Unidos, Canadá, França, Inglaterra, Alemanha, Suécia, Dinamarca, Finlândia, Austrália, Nova Zelândia, China, Rússia, Japão e México. Também foi incluída uma breve descrição de programas de eficiência energética da União Europeia aplicáveis ao setor industrial. Aqui serão abordados apenas dois entre os que se destacam fora da União Europeia.

Os Estados Unidos desenvolvem diversos programas de eficiência energética na indústria, incluindo a imposição de limites mínimos de eficiência de forma obrigatória na produção e importação de alguns equipamentos de uso geral na indústria, como motores elétricos, caldeiras, fornos e transformadores de distribuição, de baixa tensão. Há padrões mínimos exigidos pelo governo federal e pelos governos estaduais.

No âmbito do governo federal, o Escritório de Tecnologias Industriais do Departamento de Eficiência Energética e Energias Renováveis, vinculado ao Departamento de Energia (DOE) do governo americano, é responsável pelo Programa Tecnológico Industrial (*Industrial Technologies Program – ITP*), que visa melhorar a eficiência energética industrial e minimizar os impactos das atividades industriais no meio ambiente [20]. Os principais objetivos desse programa são:

- A diminuição da intensidade energética na indústria em 30% no ano 2020, em comparação com 2002;
- A implementação comercial de mais de dez tecnologias eficientes até 2010, por meio de parcerias público-privadas em projetos de pesquisa e desenvolvimento (P&D).

O DOE também trabalha em conjunto com as secretarias dos estados através dos Programas Estaduais de Energia (*State Energy Programs – SEP's*), buscando a descentralização dos programas, em concordância com o ITP [20]. Os subprogramas dos estados são:

1. Indústria do futuro (*Industries of the Future – IOF*): a estratégia é atingir oito segmentos industriais energo-intensivos em diversos estados, buscando a diminuição do gasto com energia e o aumento da competitividade. Os segmentos são:
 - a. Indústria de alumínio,
 - b. Química,
 - c. Papel e celulose,
 - d. Mineração,
 - e. Metalurgia,
 - f. Siderurgia,
 - g. Refino de petróleo,

O subprograma visa levar em conta as especificidades de cada estado na aplicação dos recursos. É diretamente ligado ao subprograma de indústrias Energo Intensivas (*Energy Intensive Industry*) do ITP, que compreende os mesmos oito ramos industriais;

2. Projetos Especiais (*SpecialProjects*): financia programas, as melhores tecnologias e procedimentos (*Best Practices*), inovações nas áreas de motores industriais, vapor, ar comprimido e ciclos termodinâmicos combinados.

Como aproximadamente 70% de toda a eletricidade industrial utilizada nos Estados Unidos provêm de motores elétricos, no âmbito dos SEP's foi elaborado um programa específico para os estados chamado de "Desafio dos Motores" (*Motor Challenge Program*)[13]. Os estados que mais se destacaram nesse programa foram Alabama e Ohio.

Na Finlândia, segundo informações fornecidas pela embaixada da Finlândia em Brasília, acordos voluntários têm sido estabelecidos entre o Ministério do Comércio e da Indústria e várias entidades que representam os principais agentes da economia finlandesa. Nesses acordos, o governo incentiva e subsidia as empresas na realização de diagnósticos energéticos em suas plantas; em contrapartida, as empresas se comprometem a enviar relatórios anuais para as associações sobre os seus consumos e economias de energia. ESCO's (*Energy Services Companies* ou Empresas Especializadas em Serviços de Conservação de Energia) podem ser contratadas pelas empresas para administrar os projetos de conservação de energia.

A primeira etapa desses acordos ocorreu entre 1997 e 2005 e propiciou uma economia de energia de 11 TWh. Na segunda etapa, desenvolvida no biênio 2006/2007, os resultados desses acordos foram avaliados. Uma terceira etapa foi iniciada em 2008 e deve se estender até 2016, mantendo-se o caráter voluntário dos acordos; há acordos diferenciados para as indústrias energo-intensivas e para as pequenas e médias indústrias. Investimentos maiores devem ser direcionados para as atividades de educação, capacitação e monitoramento do consumo de energia.

Estima-se que as medidas de conservação de energia implementadas graças aos acordos estejam economizando anualmente 5,5 TWh de combustíveis e 1,5 TWh de eletricidade. A indústria finlandesa consome 45 TWh de energia por ano.

Exemplos de aumento de eficiência energética

A União europeia possui quatro programas/projetos de grande impacto no âmbito da eficiência energética: Energia Inteligente na Europa (*Intelligent Energy Europe – IEE*), ManagEnergy [10], Odyssée [15] e Promot [19]. Como exemplo direto para aumento de eficiência o Promot será o foco.

Promot [19] é um instrumento de auxílio à decisão na seleção de equipamentos de acionamento de força motriz nos setores industrial e terciário. Ele é um projeto de iniciativa europeia coordenado pelo centro de Pesquisa de Fontes de Energia Renováveis – CRES – e pela federação de Associações Técnico-Científicas – FAST. Esse instrumento compreende quatro módulos, cada um deles contemplando informações gerais, informações específicas e ferramentas de cálculo. Os módulos em questão são:

- Motores elétricos;
- Sistemas de Aquecimento, Ventilação e Ar-condicionado (*Heating, Ventilation and Air Conditioning – HVAC*);
- Sistemas de bombeamento;
- Sistemas de ar-comprimido.

Em motores, os custos durante seu tempo de vida podem ser divididos em custo de energia, custos de manutenção e custo de aquisição; aproximadamente 95% do custo total é constituído pelo custo de energia. O Promot coloca à disposição dos interessados uma planilha que permite calcular detalhadamente estes custos levando em conta taxa de juros, a taxa de inflação, o tempo de vida, e os diversos custos relativos a investimentos, instalação e manutenção.

Os motores elétricos encontram-se, muitas vezes, superdimensionados para a carga real a que estão sujeitos. O rendimento máximo é, geralmente, obtido entre 60 e 100% da plena carga. Para valores inferiores a 40% da plena carga, o rendimento cai de forma brusca e o fator de potência também diminui, aumentando, assim, o consumo de potência reativa.

Sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado (HVAC) inclui equipamentos de produção de frio ou calor, bombas, ventiladores, redes condutoras e trocadores de calor. Estudos mostram que em torno de 60% do consumo energético em um sistema HVAC é devido ao resfriador (*Chiller*).

Estudos realizados pela comissão Europeia e pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos [7] e [8] identificaram que os sistemas de força motriz representam cerca de 20% do consumo de energia elétrica no mundo. Os sistemas de bombeamento respondem por 22 a 25% do consumo de energia elétrica dos sistemas de força motriz, o que faz com que esses sistemas representem cerca de 4% do consumo mundial de eletricidade. As ações sugeridas, com seus respectivos impactos em termos de economia de energia, são as seguintes:

- Seleção de bombas mais eficientes; 3%

- Seleção de uma bomba corretamente dimensionada; 4%
- Melhores práticas de instalação e manutenção; 3%
- Melhor concepção do sistema; 10%
- Melhor sistema de controle; 20%
- Total de economia de energia possível (soma); 40%

Um sistema de ar-comprimado em geral consome muita energia. Economia de energia situada entre 5 e 50% do consumo energético destes sistemas podem ser obtidas através de três tipos de ações propostas pelo Promot:

- Medidas simples, de baixo custo;
- Extensão do sistema, ou reparação em grande escala;
- Projeto, aquisição e instalação de um novo sistema de ar-comprimado.

Áreas de atuação em eficiência energética

Entre as diversas formas de atuação direta em eficiência energética destacam-se: motores, bombas, vapor, ar condicionado, ar comprimido, refrigeração, iluminação, aquecimento, transformadores e fator de Potência, conforme pode ser visto na figura 1.

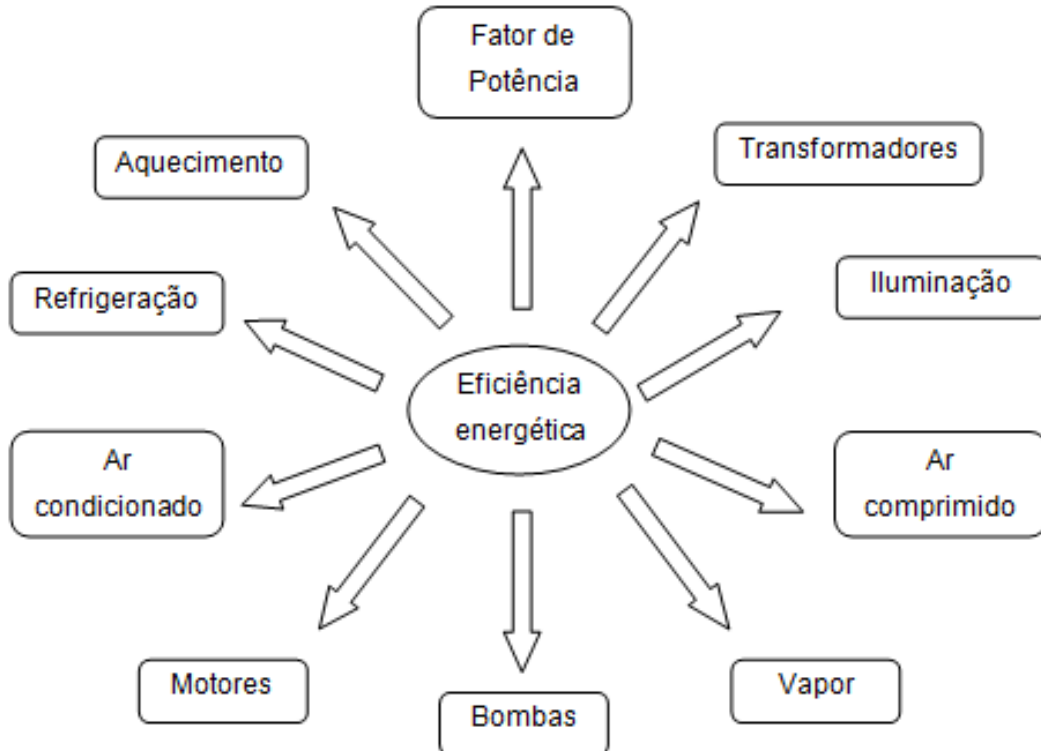


Figura 1: Áreas de atuação em eficiência energética na indústria

Apresentados os campos de atuação na indústria no que diz respeito a eficiência energética, define-se um dos mesmos para o foco desse trabalho. O presente trabalho pretende focar em iluminação como ferramenta de trabalho na redução de consumo específico em energia elétrica. Para isso será abordado de forma breve o estudo de luminotécnica.

No próximo capítulo, o capítulo 2, serão definidas as grandezas e os conceitos fundamentais da iluminação, abordados os fundamentos do projeto de iluminação, listados os fatores de desempenho e finalizado com os cálculos de iluminação geral.

No capítulo 3 será feita uma fundamentação para avaliação de consumo energético, custos de investimentos, custos operacionais finalizando com o cálculo de rentabilidade de projetos. Serão apresentados também projetos já realizados num complexo que abriga uma grande fábrica de pneus. Neles será apresentado um projeto inicial de verificação da instalação, sugestões de modificações para redução de consumo de energia elétrica em iluminação, cálculo de custos e tempo de retorno do investimento.

O objetivo final do trabalho é tornar o leitor, qualquer que seja sua área de engenharia, capaz de utilizar a ferramenta da luminotécnica para projetar ambientes com iluminação adequada aos trabalhos realizados nos recintos em análise, porém de maneira eficiente.

Capítulo 2 – Luminotécnica

Luminotécnica ou luminotécnica é o estudo da aplicação de iluminação artificial tanto em ambientes interiores como exteriores [6]. Comparando-se a época em que a luz artificial começou a ser utilizada com os dias atuais, constata-se que foi grande o passo dado pela indústria da iluminação no século XX. Desde a lâmpada criada por Thomas Edison até os produtos disponíveis hoje, houve um grande avanço.

A primeira lâmpada disponível para uso residencial foi a de Edison, considerada a primeira lâmpada comercial. Embora não seja a primeira a utilizar eletricidade para iluminação, essa lâmpada era constituída de um fio de linha carbonizado em um recipiente hermeticamente fechado onde produzia uma luz amarela e fraca como a de uma vela. Apresentava um rendimento de 1,41 lumens por Watt.

Para compreender o que é luminotécnica, é preciso antes definir o que é iluminação. Iluminação é um fenômeno físico resultante da exposição de uma fonte de luz num ambiente capaz de absorver ou refletir a luz tornando-se visível. A luz é uma onda eletromagnética, cujo comprimento de onda se encontra num determinado intervalo dentro do qual o olho humano é sensível a ela. Conforme pode ser visto na figura 2, trata-se, de outro modo, de uma radiação eletromagnética que se situa entre a radiação infravermelha e a radiação ultravioleta.

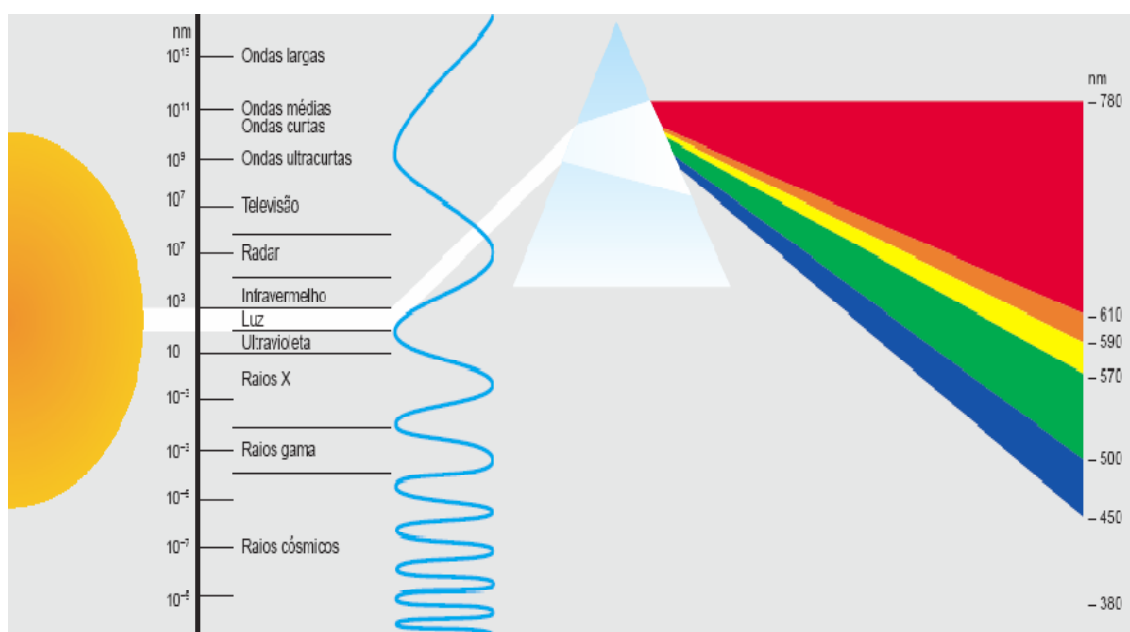


Figura 2: Espectro eletromagnético

As três grandezas físicas básicas da luz são herdadas das grandezas de toda e qualquer onda eletromagnética: intensidade (ou amplitude), frequência e polarização (ângulo de vibração). No caso específico da luz, a intensidade se identifica com o brilho e a frequência com a cor [6].

Analisando a radiação visível, verifica-se que, além da impressão luminosa, obtém-se também a impressão de cor. Essa sensação de cor está intimamente atrelada aos comprimentos de ondas das radiações. Nota-se, de igual modo, que os diferentes comprimentos de onda produzem variadas sensações de luminosidade; ou seja, o olho humano não é igualmente sensível a todas as cores do espectro visível.

Um raio de luz é a trajetória da luz em determinado espaço e sua representação indica de onde a luz é criada (fonte) e para onde ela se dirige. O conceito de raio de luz foi introduzido por Alhazen. Propagando-se em meio homogêneo, a luz percorre trajetórias retilíneas; somente em meios não-homogêneos a luz pode descrever trajetórias curvas.

É importante ressaltar que a faixa de radiações das ondas eletromagnéticas detectadas pelo olho humano se situa entre 380nm e 780nm¹.

2.1 – Grandezas e conceitos fundamentais

2.1.1 – Fluxo Luminoso (Φ)

Fluxo luminoso é a potência luminosa total emitida em todas as direções por uma fonte luminosa ou por uma fonte de luz capaz de produzir estímulo visual. Em outras palavras, o fluxo luminoso é a potência luminosa de uma fonte percebida pelo olho humano. Sua unidade de medida é o lúmen (lm) [16].

O lúmen pode ser definido como o fluxo luminoso emitido de acordo com um ângulo sólido de um esterradiano, por uma fonte puntiforme de intensidade invariável em todas as direções.

Como exemplo prático, pode-se citar:

- i) Lâmpada multi-vapor metálico de 250W: 17.000 lm
- ii) Lâmpada de vapor de mercúrio de 250W: 12.700 lm
- iii) Lâmpada fluorescente de 40W: 1700 a 3250 lm
- iv) Lâmpada incandescente de 100W: 1000 lm

¹ 1 nanometro = 1×10^{-9} m

2.1.2 – Eficiência Luminosa

Como o próprio termo diz, a eficiência luminosa é um indicador de eficiência, relacionando o fluxo luminoso emitido por uma lâmpada com a potência elétrica a ela associada. Portanto sua unidade é lumens/watts (lm/W). Em algumas literaturas encontra-se a denominação “Eficiência Energética” para a relação lm/W. A figura 3 mostra um grupo de lâmpadas e a eficiência luminosa de cada com a variação de acordo com os tipos.

Como exemplo prático, pode-se citar:

- v) Lâmpada multi-vapor metálico de 250W: 68 lm/W
- vi) Lâmpada de vapor de mercúrio de 250W: 50,8 lm/W
- vii) Lâmpada fluorescente de 40W: 42,5 a 81,25 lm/W
- viii) Lâmpada incandescente de 100W: 10 lm/W

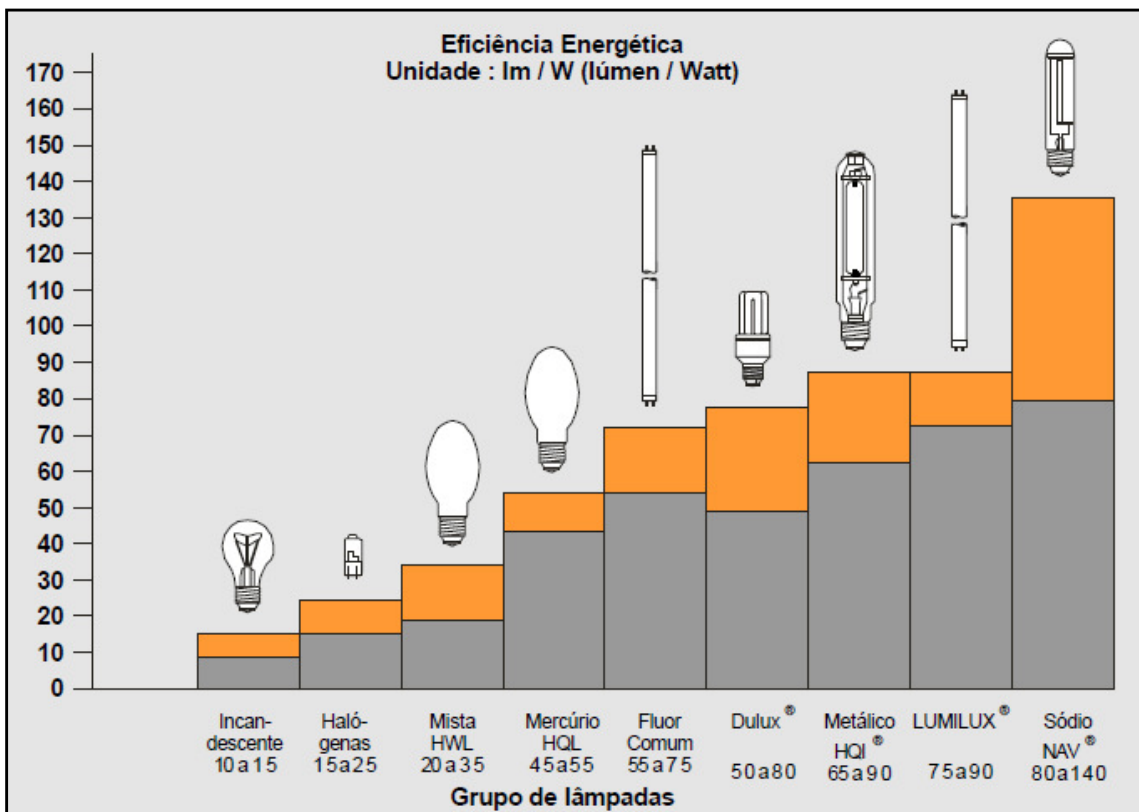


Figura 3: Eficiência luminosa ou energética de um determinado grupo de lâmpadas em (lm/W)

2.1.3 – Intensidade Luminosa (I)

Intensidade luminosa é a medida da percepção da potência luminosa emitida por uma fonte luminosa em uma dada direção. A unidade do sistema internacional (SI) para intensidade luminosa é a candela (cd).

Torna-se mais fácil compreender o que é intensidade luminosa quando se analisa o conceito da curva de distribuição luminosa.

2.1.4 – Curva de Distribuição Luminosa

A curva de distribuição luminosa é um gráfico que indica a intensidade luminosa de um ponto de luz, em um determinado plano para todas as direções. Conforme mostra a figura 4, trata-se de um diagrama polar no qual se considera a lâmpada ou luminária reduzida a um ponto no centro do diagrama e se representa a intensidade luminosa nas várias direções por vetores, partindo do centro do diagrama cujos módulos são proporcionais às velocidades. A curva obtida ligando-se as extremidades desses vetores é a curva de distribuição luminosa.

É de costume, na representação polar, referir os valores de intensidade luminosa constantes a um fluxo de 1000 lumens.

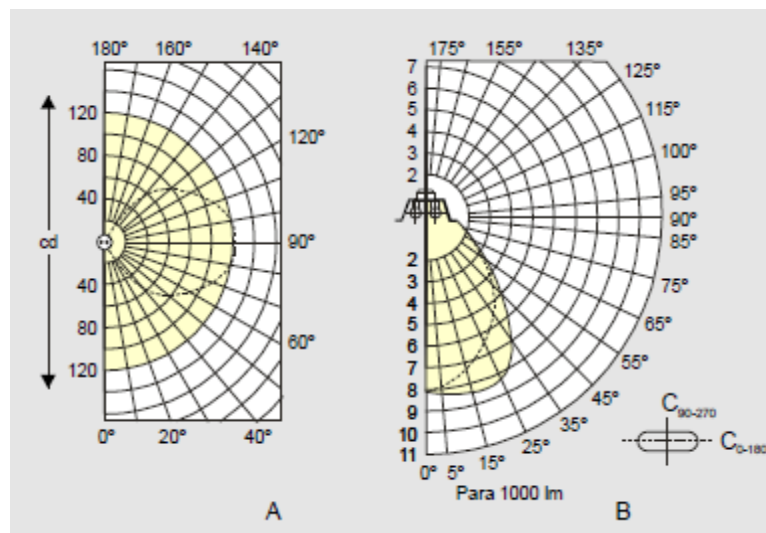


Figura 4: Curva de Distribuição de Intensidades no plano transversal e longitudinal para uma lâmpada (A) ou associada a um refletor (B)

2.1.5– Iluminância ou Iluminamento (E)

A iluminância é a relação entre o fluxo luminoso que incide na direção perpendicular a uma superfície e sua área, ou seja, é a densidade de fluxo luminoso na superfície sobre a qual este incide.

Na prática, a iluminação é a quantidade de luz dentro de um ambiente. O fluxo luminoso não é distribuído uniformemente, assim como a quantidade de luz. Sendo assim ao ser medida não apresentará o mesmo valor em todos os pontos da área do recinto em questão.

A unidade de medida de iluminância é o lux (lx). Para medi-la usa-se o aparelho chamado luxímetro. Para facilitar a compreensão, a figura 5 mostra a incidência de um fluxo luminoso de 1 lm incidindo em uma área de 1 m² resultando em 1 lux de iluminância. Ou seja, lux significa lm/m².

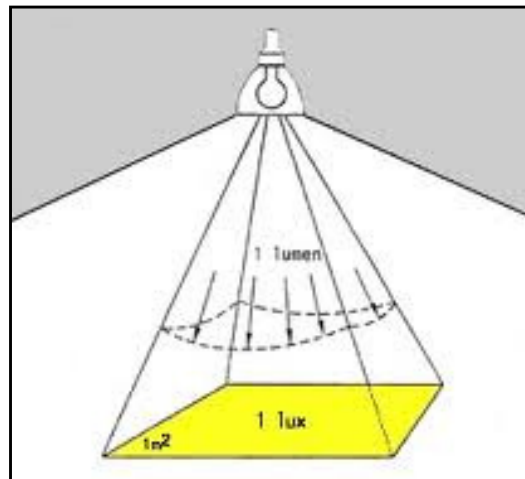


Figura 5: Fluxo luminoso de 1 lm incidindo em uma área de 1m² produzindo 1 lux de iluminância

Como exemplos de iluminância podemos citar:

- i) Dia ensolarado de verão em local aberto ≈ 100.000 lux;
- ii) Dia encoberto de verão ≈ 20.000 lux;
- iii) Dia escuro de inverno ≈ 3.000 lux;
- iv) Boa iluminação de rua ≈ 20 a 40 lux;
- v) Noite de lua cheia $\approx 0,25$ lux;
- vi) Luz de estrelas $\approx 0,01$ lux.

2.1.6 – Luminância

A luminância é um dos conceitos mais abstratos que a luminotécnica apresenta. É por meio da luminância que o homem enxerga. Já foi denominada brilho, fazendo referência a que a luminância está ligada ao brilho. A diferença é que a luminância é uma excitação visual, enquanto o brilho é a resposta visual.

A luminância está ligada a contrastes. Por exemplo, a leitura de uma página com letras pretas (refletância 10%) sobre um fundo branco (papel, refletância 85%) revela que a luminância das letras é menor que a do fundo e, assim, a leitura é “menos cansativa aos olhos”. Entretanto, quando as luminâncias se aproximam, como é o caso da linha de costura e o tecido, a observação se torna mais difícil (contraste reduzido) e há necessidade de mais luz. O efeito psicológico no indivíduo é grande: quando o homem vê, ele compara luminâncias. Quando compara luminâncias fica eufórico ou triste, estimulado ou abatido.

Em suma, a luminância é uma medida de densidade da intensidade de uma luz refletida numa dada direção, cuja unidade do SI é a candela por metro quadrado (cd/m^2). Descreve a quantidade de luz que atravessa ou é emitida de uma superfície em questão, e decai segundo um ângulo sólido.

Por definição luminância é a razão entre a intensidade luminosa (dI) incidente num elemento de superfície que contém o ponto dado e a área (dA) aparente vista pelo observador, quando esta área tende a zero. Deve-se levar em consideração também o ângulo segundo o qual o observador está em relação ao ponto observado que é traçado a partir de uma linha vertical traçada perpendicularmente ao ponto iluminado. A figura 6 representa o conceito citado mostrando a luz incidente no plano e refletindo em direção aos olhos do observador.

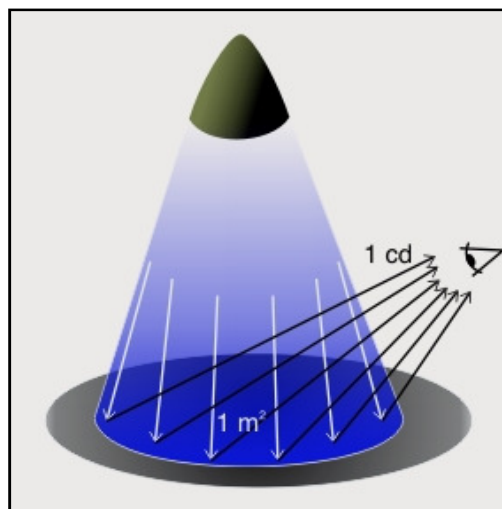


Figura 6: Representação da iluminância

A equação que melhor representa este conceito é a seguinte:

$$L = \frac{dI}{dA \cdot \cos \alpha}, \quad (1)$$

em que:

- L : Iluminância [cd/m^2];
- A : área da superfície [m^2];
- α : direção da observação em graus [$^\circ$];
- I : Intensidade Luminosa [cd].

Porém, como é difícil medir intensidade luminosa (I) que provém de um corpo não radiante (através de reflexão), pode-se recorrer a uma segunda formulação:

$$L = \frac{\rho \cdot E}{\pi} \quad (2)$$

em que:

- ρ : Refletância ou coeficiente de reflexão;
- E : Iluminância sobre a superfície, em lx.

2.1.7 – Índice de Reprodução de Cor (IRC)

De forma simples e direta o IRC é a medida de correspondência entre o que seria a cor real do objeto e sua aparência diante de uma fonte de luz. Quanto mais próximo da luz do dia, maior será o IRC. A luz artificial deve permitir ao olho humano perceber as cores de modo correto, que seria o máximo possível próximo da luz natural do dia. Quanto mais elevado o índice, melhor será a reprodução de cores. Lâmpadas com IRC de 100% apresentam as cores com total fidelidade e precisão. As figuras 7 e 8 evidenciam o contraste entre reprodução de cor de 40% e 100% mostrando o impacto da qualidade da luz incidente na reprodução das cores de forma fiel.

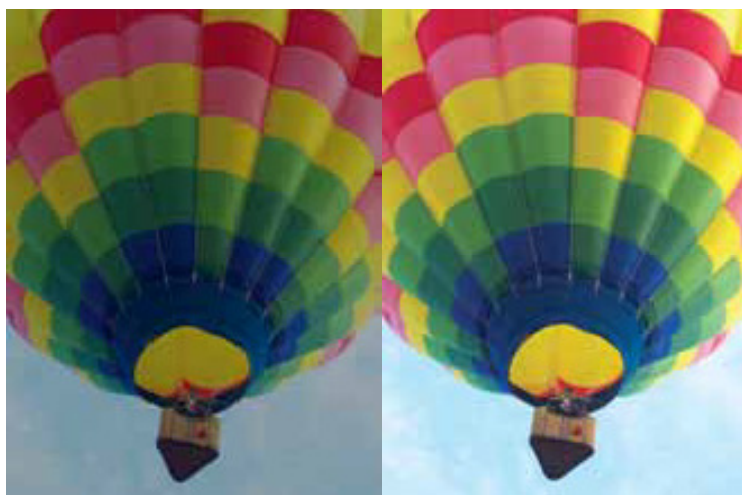


Figura 7 e Figura 8: Índices de reprodução de cor de 40% e 100% respectivamente

2.1.8 – Temperatura de Cor

A temperatura de cor é um conceito muito utilizado em técnicas de iluminação de interiores. Pode ser entendida de modo prático como a correlação inversa entre a temperatura aparente que uma determinada fonte produz com a temperatura de cor correspondente. Em outras palavras, é a grandeza que indica a aparência de cor da luz. Quanto mais alta a temperatura de cor, mais branca é a cor da luz. A unidade de temperatura de cor é Kelvin (K). A luz “fria” de aparência azul violeta, por exemplo, tem temperatura maior que 6000K. A luz “quente” de aparência amarelada tem baixa temperatura de cor (menor que 3000K). A luz branca natural emitida pelo sol em céu aberto ao meio-dia tem temperatura de cor aproximada de 5800K.

2.2 – Fundamentos do projeto de iluminação

Uma vez definidas as grandezas e os conceitos fundamentais, o próximo passo é conhecer os fundamentos do projeto de iluminação. Com a junção de tudo, poder-se-á planejar um sistema de iluminação. Mais adiante neste trabalho, haverá a necessidade de conhecimento a cerca de tipos de lâmpadas e luminárias, pois são os objetos principais quando se trata de iluminação artificial.

Ao se realizar um projeto luminotécnico, é necessário ter em vista quatro conceitos visuais básicos. São eles:

1. Quantidade de luz;

2. Equilíbrio da iluminação;
3. Ofuscamento da luz;
4. Reprodução de cores.

A necessidade de observação desses conceitos tem como premissa as necessidades visuais básicas e o conforto visual, ou seja, o bem estar humano no ambiente em questão.

Como metodologia de execução de projetos, ações podem ser definidas em 10 passos:

1. Determinar os objetivos da iluminação e os efeitos que se quer gerar;
2. Realizar levantamento das dimensões do local analisado (como largura, comprimento, altura), os materiais utilizados (tipos de lâmpada e luminárias, cores de teto, parede e chão) e características da rede elétrica no local;
3. Analisar os fatores de influência na qualidade da iluminação;
4. Cálculo geral de iluminação (Método do fluxo luminoso);
5. Avaliar os resultados e adequá-lo ao projeto;
6. Realizar o cálculo de controle;
7. Definir os pontos de iluminação;
8. Realizar cálculo de iluminação dirigida;
9. Avaliar o consumo energético;
10. Calcular os custos e a rentabilidade.

De posse dos passos listados, os itens 1 e 2 serão variáveis de acordo com cada projeto. O que não irá variar são as formulações e definições dos demais itens que se seguirão neste capítulo.

Fatores de influência na qualidade da iluminação

Os requisitos visuais de acordo com as atividades realizadas em determinado ambiente definem a iluminância. Quanto maior for a exigência da visão na realização de uma atividade, maior deverá ser a iluminância média (E_m) sobre o plano de trabalho. A NBR 5413 [14] define em tabelas as faixas de valores de iluminância de acordo com os trabalhos desempenhados. Portanto, deve-se consultar essa norma para definir a iluminância média pretendida.

Outro fator que deve ser observado é o decaimento do fluxo luminoso de determinada lâmpada em função do tempo de uso. O motivo dessa redução está no envelhecimento do equipamento ou até mesmo no acúmulo de poeira na superfície da

lâmpada e luminária. Este acúmulo faz com que haja redução de iluminância. Em razão disso, quando se calcula o número de lâmpadas para um ambiente, leva-se em conta associado um Fator de Depreciação (Fd). Caso haja aumento da quantidade de lâmpadas e luminárias haverá um menor decaimento da iluminância com o desgaste.

Neste trabalho haverá um capítulo totalmente voltado às aplicações práticas, quando será visto de maneira objetiva a obtenção do Fd a partir de tabelas que o classificam.

2.2.1 – Limitação de ofuscamento

O ofuscamento ocorre quando feixes de luz encontram os olhos diretamente ou indiretamente. Sendo assim, pode ser classificado em duas formas:

1. Ofuscamento indireto ou reflexivo: ocorre quando raios de luz encontram um objeto e são refletidos em direção aos olhos;
2. Ofuscamento direto: ocorre quando raios de luz provenientes de uma fonte encontram o campo visual de forma direta.

Cabe aqui dizer que luminárias com luminâncias próprias com níveis acima de 200 cd/m² geram incômodo. Por isso, recomenda-se que para valores acima desse não se utilize ângulos superiores à 15°. O conhecimento dessa angulação aproximada pode ser encontrado na Curva de Distribuição Luminosa vista no capítulo anterior.

2.2.2 – Proporção Harmoniosa entre Luminâncias

Grandes diferenças entre luminâncias de superfícies distintas provocam fadiga visual devido ao excessivo trabalho de acomodação visual ao passar por variações bruscas de sensações de claridade. Esse desconforto pode ser evitado seguindo luminâncias recomendadas por especialistas para piso, parede e teto na proporção 1:2:3 e também assegurando que o plano de trabalho não possua grau inferior a 1/3 da luminância do objeto em observação sobre ele. A figura 9, obtida do Manual Luminotécnico Prático da OSRAM [3], exemplifica o que foi dito acima.

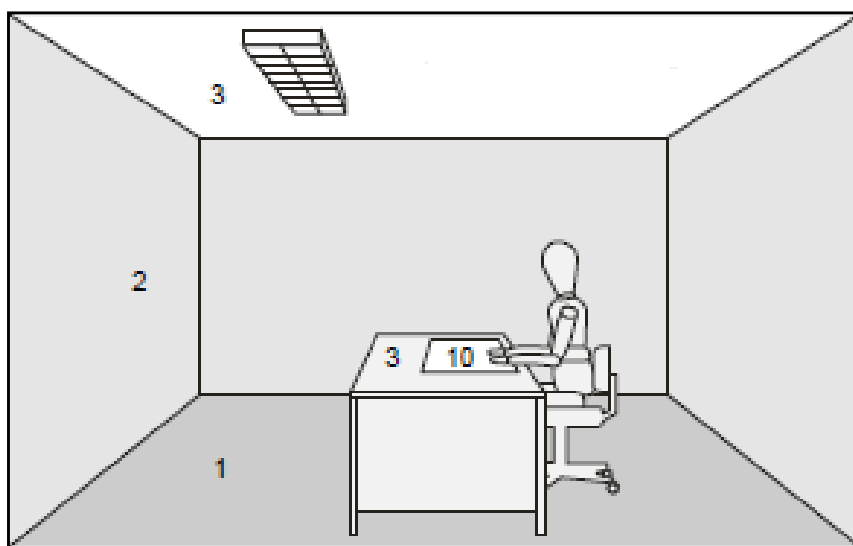


Figura 9: Proporção Harmoniosa entre Luminâncias

2.2.3 – Efeitos de Luz e Sombra

Uma boa iluminação certamente não significa luz igualmente distribuída, pois a ausência total de sombras retira a capacidade de identificação de texturas e até mesmo de formatos de objetos. Uma iluminação com foco da luminária dirigido de forma irregular pode gerar sombras perturbadoras. Portanto, deve-se tomar cuidado com o direcionamento da luz e com a quantidade distribuída a fim de que haja harmonia entre luz e sombra.

2.2.4 – Reprodução de Cores

As cores dos objetos são percebidas devido à reflexão da luz que neles incide. Portanto, de imediato, é possível associar boa reprodução de cores com qualidade da luz incidente.

É importante frisar que, assim como existem normas que regulam o uso de fontes com determinados índices de iluminância média, para a Reprodução de Cores também existe normatização e depende do que se pretende para o ambiente estudado.

2.2.5 – Tonalidade de Cor da Luz

Quando o objetivo é o conforto visual, um dos requisitos é o uso da iluminação para oferecer ao ambiente o aspecto desejado. Quando se combina tonalidade da luz com o nível de iluminância, pode-se provocar diferentes sensações e estímulos. Para iluminâncias elevadas são necessárias lâmpadas com temperatura de cor elevadas. E esta definição está baseada na própria natureza que no por do sol propicia ao mesmo tempo redução de luminosidade e temperatura de cor.

Existe uma idéia errônea de que quanto mais “clara” for a tonalidade de cor mais se ilumina. Este pensamento leva ao erro de que “lâmpadas frias” precisariam de menos luz, o que é uma inverdade.

2.2.6 – Acústica e ar-condicionado

O sistema de iluminação, em algumas situações, pode comprometer a acústica de um ambiente. Existem equipamentos chamados “auxiliares” (reatores e transformadores eletromagnéticos) que podem produzir ruídos. A opção para evitar esse incômodo é a utilização, na instalação, de sistemas eletrônicos. Outro fator a ser observado é o aumento de carga térmica que a iluminação pode provocar. Cabe aqui citar que o corpo humano irradia, em média, energia térmica igual à de uma lâmpada de 100W. Portanto, a quantidade de lâmpadas e sua potência devem ser controladas para não sobrecarregar o sistema de climatização. Por essa razão, são consideradas fontes de luz eficientes aquelas que contribuem para o bem estar visual, além de reduzirem o impacto na carga térmica ao sistema de refrigeração.

2.3 – Fatores de Desempenho

De um modo geral as lâmpadas instaladas em um ambiente estão dentro de luminárias e, por conseguinte, o fluxo luminoso resultante é reduzido. Essa redução se deve aos materiais constituintes das luminárias e sua capacidade absorção, reflexão e transmissão de luz.

Para se avaliar o fluxo luminoso emitido pela luminária, é observada a eficiência da luminária, ou seja, é feita uma relação entre o fluxo luminoso emitido pela luminária com o emitido pela lâmpada. O valor dessa relação é normalmente indicado pelos fabricantes de luminárias, porém existe uma tabela de referência que apresenta

valores médios de eficiência para luminárias, agrupados por tipos. A tabela do anexo B mostra esses valores.

O fluxo luminoso emanado pela luminária depende das qualidades físicas do ambiente onde a mesma será instalada. Dependendo dessas características e da reflexão e absorção dos objetos presentes no recinto, o fluxo emanado se propagará mais facilmente. Nesse contexto surge a eficiência do recinto, que é essa condição de maior ou menor favorecimento ao fluxo. O seu valor se relaciona aos valores de coeficiente de reflexão do piso, parede e teto, com a curva de distribuição luminosa da luminária, e o Índice do Recinto. Esses valores se encontram na tabela do anexo A. Para o cálculo do índice do recinto, a figura 10 mostra as diferentes alturas que podem ser consideradas como: a altura da luminária, a altura útil e a altura do plano de trabalho.

O índice do recinto, por sua vez, é função das dimensões do local, sendo dado para iluminação direta, pela seguinte equação:

$$K_d = \frac{a.b}{h(a+b)} \quad (3)$$

sendo:

- a : profundidade do recinto;
- b : largura do recinto;
- h : pé-direito útil;

Para iluminação indireta, teremos a seguinte expressão:

$$K_i = \frac{3.a.b}{2.h.(a+b)} \quad (4)$$

em que:

- h : distância do teto ao plano de trabalho;

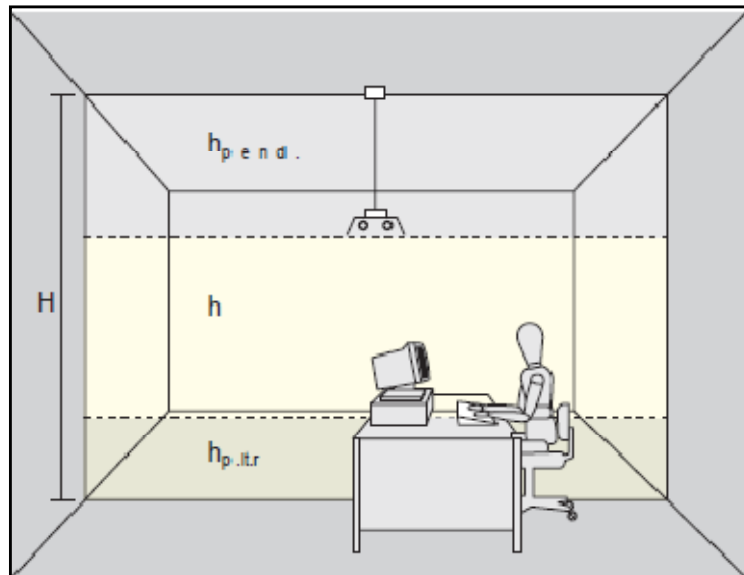


Figura 10: Representação das alturas útil, do plano de trabalho, do pendente e total

Cabe uma pequena explicação sobre pé direito útil. Pé direito útil é a altura das luminárias subtraindo a altura do plano de trabalho, ou seja, é a distância real entre luminária e plano de trabalho. Por isso, deve também ser subtraído o comprimento do pendente da luminária, além da distância entre o plano de trabalho e o chão.

O fluxo luminoso final (útil) que haverá de incidir sobre o plano de trabalho é avaliado pelo chamado fator de utilização, que indica a eficiência luminosa de todo o conjunto compreendido entre lâmpada, luminária e recinto. O fator de utilização é dado pelo produto entre a eficiência do recinto e a eficiência da luminária, cuja equação é dada por:

$$F_u = \eta_L \cdot \eta_R \quad (5)$$

sendo:

- η_L : a eficiência da luminária;
- η_R : a eficiência do recinto.

Em suma, a eficiência da luminária está diretamente ligada ao poder de refletância de sua base e às condições de limpeza da mesma. Com o acúmulo de poeira e detritos na superfície refletora existe perda de eficiência. Por outro lado, a eficiência do recinto está intimamente atrelada às refletâncias do teto, parede e piso com suas respectivas dimensões. Alguns catálogos relacionam índices para cada um deles. Por exemplo:

ρ_1 : Refletância do teto;

ρ_2 : Refletância da parede;

ρ_3 : Refletância do piso;

Esses valores, associados àqueles obtidos na equação (3), resultarão num ponto da tabela de Eficiência do Recinto que consta no anexo A, como indicado na tabela 2.1 que é uma parte do anexo citado:

Tabela 2.1: Parte da tabela de Eficiência do Recinto extraída do anexo A

Luminária	Refletâncias												
	Teto	ρ_1	0,8			0,5		0,8			0,5		0,3
	Parede	ρ_2	0,8	0,5	0,3	0,5	0,3	0,8	0,5	0,3	0,5	0,3	0,3
	Piso	ρ_3	0,3					0,1					
Índice do Recinto	K												
A 1.2	0,6	0,72	0,48	0,42	0,47	0,42	0,68	0,47	0,41	0,47	0,41	0,40	
	0,8	0,85	0,61	0,54	0,59	0,53	0,80	0,59	0,53	0,58	0,52	0,52	
	1	0,94	0,69	0,62	0,67	0,61	0,87	0,67	0,61	0,65	0,60	0,59	
	1,25	1,01	0,78	0,71	0,75	0,69	0,92	0,75	0,68	0,73	0,68	0,66	
	1,5	1,06	0,83	0,75	0,80	0,74	0,96	0,80	0,73	0,77	0,72	0,71	
	2	1,11	0,81	0,84	0,87	0,81	1,00	0,86	0,80	0,84	0,79	0,78	
	2,5	1,15	0,87	0,80	0,82	0,87	1,02	0,91	0,85	0,88	0,83	0,82	
	3	1,18	1,02	0,86	0,86	0,91	1,04	0,94	0,89	0,91	0,87	0,86	
	4	1,21	1,09	1,02	1,02	0,96	1,05	0,97	0,94	0,95	0,91	0,90	
	5	1,23	1,12	1,06	1,04	1,00	1,06	1,00	0,96	0,97	0,94	0,92	



A figura a seguir lista de forma direta fatores de utilização de acordo com o índice do recinto. É um exemplo de ordem de grandeza dos números que se deve obter após os cálculos.

Tabela 2.2: Tabela de exemplo de Fator de utilização (Catálogo da Siemens)[3].

K	751	731	711	551	531	511	331	331
0,6	0,32	0,28	0,26	0,31	0,28	0,26	0,28	0,25
0,8	0,39	0,36	0,33	0,39	0,35	0,33	0,35	0,35
1,0	0,44	0,41	0,39	0,43	0,40	0,38	0,40	0,38
1,25	0,48	0,45	0,43	0,47	0,45	0,42	0,44	0,42
1,5	0,51	0,48	0,45	0,49	0,47	0,45	0,46	0,45
2,0	0,54	0,52	0,50	0,53	0,51	0,49	0,50	0,49
2,5	0,55	0,54	0,52	0,55	0,53	0,52	0,52	0,51
3,0	0,57	0,55	0,54	0,56	0,54	0,53	0,54	0,52
4,0	0,58	0,57	0,56	0,57	0,56	0,55	0,53	0,54
5,0	0,60	0,58	0,57	0,58	0,57	0,56	0,56	0,55

2.4 – Cálculos de Iluminação Geral

Os projetos de iluminação dispõem de métodos para sua realização. Entre os mais conhecidos estão os Métodos do Fluxo Luminoso (ou dos Lumens) e das eficiências, ambos para cálculos de iluminação geral. Existe ainda como o Método Ponto a Ponto, utilizado para cálculos de iluminância. Este último é mais utilizado em projetos específicos para ambientes onde se realizam trabalhos que requerem iluminação perfeitamente dimensionada, assim como exposições, decoração, exteriores e ajustes dos demais métodos depois de implementados.

Nesta seção será realizada uma breve descrição do método ponto a ponto pelas seguintes razões:

- (i) Permite determinar a contribuição de cada ponto luminoso sobre um ponto no plano de trabalho;
- (ii) A partir das contribuições é possível viabilizar redução de número de lâmpadas ligadas em determinado ambiente em períodos ociosos.

Por último será descrito o método do fluxo luminoso pelas seguintes razões:

- (i) O mais utilizado por ser o mais simples;
- (ii) Foi o método utilizado nos projetos modelos de eficiência energética aplicados na indústria, a serem descritos no próximo capítulo.

2.4.1 – Método Ponto a Ponto

É o método básico para o dimensionamento de iluminação baseado no cálculo de iluminância. Tem como fundamento os conceitos e leis básicas da luminotécnica.

O ponto de partida da utilização do método é a curva de distribuição de intensidade luminosa de uma fonte para que seja determinado o iluminamento em pontos diversos do espaço em estudo. Um exemplo dará uma noção clara do método.

Considere uma fonte luminosa puntiforme iluminando um determinado ambiente. É possível determinar a intensidade luminosa desta fonte em uma direção. A figura a seguir mostra uma reta que liga o ponto luminoso e ponto iluminado.

Fonte luminosa

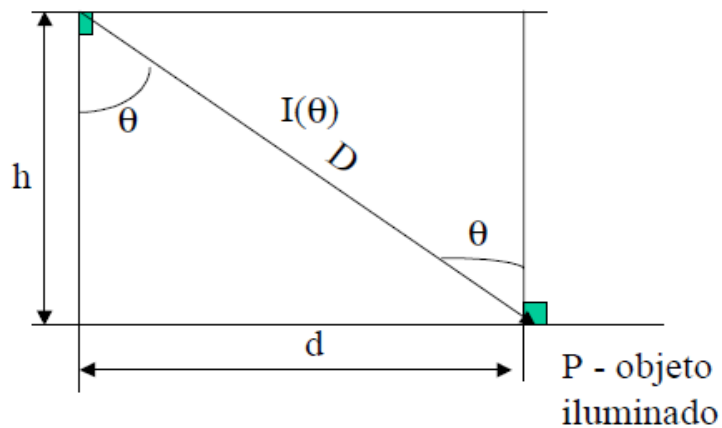


Figura 11: Gráfico representativo do Método Ponto a Ponto

A iluminância no ponto P resultante da fonte luminosa é dividida em horizontal e vertical. A iluminância horizontal pode ser calculada de acordo com a equação (6) a seguir:

$$E_p = \frac{I(\theta) \cdot \cos \theta}{D^2} \quad (6)$$

a equação (7) mostra como calcular a iluminância vertical num determinado ponto:

$$E_p = \frac{I(\theta) \cdot \sin \theta}{D^2} \quad (7)$$

em que:

E_p : Iluminância do ponto P resultante do fluxo luminoso da fonte luminosa [lux];

$I(\theta)$: Intensidade luminosa da fonte em função do ângulo θ [cd];

D : A distância entre a fonte luminosa e o ponto iluminado [m];

Da equação (7) podemos obter a Iluminância Vertical (E_v) e a Iluminância horizontal (E_H) obtemos a partir da equação (6) aplicando a trigonometria no triângulo retângulo. Sendo assim, obtém-se:

$$E_V = \frac{I(\theta) \cdot \sin^3 \theta}{d^2} \quad (8)$$

$$E_H = \frac{I(\theta) \cdot \cos^3 \theta}{h^2} \quad (9)$$

Exemplo: Utilizando a curva de distribuição luminosa contida na figura 4 da página 10, calcular a iluminância horizontal (E_H) e vertical (E_V) correspondente aos ângulos (θ) iguais a: 0° , 15° , 30° , 45° e 50° . Considere que a fonte luminosa se situa a uma altura de 5 metros.

Solução:

A figura 12 mostra a curva de distribuição luminosa:

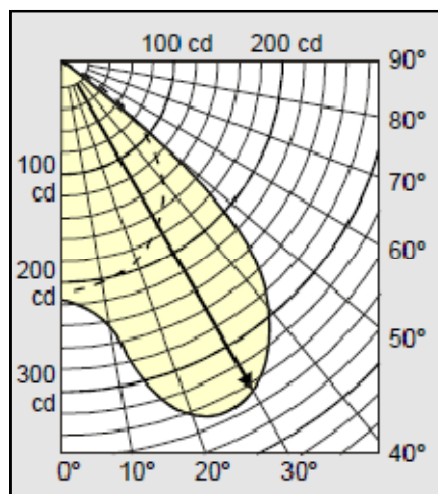


Figura 12: Curva de Distribuição de Intensidades no plano transversal e longitudinal para uma lâmpada

Da figura 12, obtemos os seguintes valores de intensidade luminosa:

$$I(0^\circ) = 219cd, \quad I(15^\circ) = 320cd, \quad I(30^\circ) = 342cd, \quad I(40^\circ) = 300cd, \quad I(50^\circ) = 150cd$$

Obtendo as Iluminâncias horizontais a partir da equação (9):

Para 0° :

$$E_H(0^\circ) = \frac{I(0^\circ) \cdot \cos^3 0^\circ}{5^2}$$

$$E_H(0^\circ) = 8,76lux$$

Para 15°:

$$E_H(15^\circ) = \frac{I(15^\circ) \cdot \cos^3 15^\circ}{5^2}$$

$$E_H(15^\circ) = 11,53lux$$

Para 30°:

$$E_H(30^\circ) = \frac{I(30^\circ) \cdot \cos^3 30^\circ}{5^2}$$

$$E_H(30^\circ) = 8,88lux$$

Para 40°:

$$E_H(40^\circ) = \frac{I(40^\circ) \cdot \cos^3 40^\circ}{5^2}$$

$$E_H(40^\circ) = 5,39lux$$

Para 50°:

$$E_H(50^\circ) = \frac{I(50^\circ) \cdot \cos^3 50^\circ}{5^2}$$

$$E_H(50^\circ) = 1,59lux$$

Para obtermos as Iluminâncias verticais, antes é necessário determinar as diferentes distâncias para cada ângulo em questão a partir de trigonometria:

$$tg(\theta) = \frac{d}{h}$$

$$d = h \cdot tg(\theta)$$

Portanto as distâncias serão as seguintes:

$$d_1 = 5 \cdot tg(0^\circ) = 0$$

$$d_2 = 5 \cdot tg(15^\circ) = 1,34m$$

$$d_3 = 5 \cdot tg(30^\circ) = 2,89m$$

$$d_4 = 5 \cdot tg(40^\circ) = 4,19m$$

$$d_5 = 5 \cdot tg(50^\circ) = 5,96m$$

Sendo assim, a partir da equação (8) pode-se obter as Iluminâncias verticais:

Para 0°:

$$E_v = \frac{I(0^\circ) \cdot \text{sen}^3 0^\circ}{0^2}$$

$$E_v(0^\circ) = \text{ind}$$

Para 15°:

$$E_v = \frac{I(15^\circ) \cdot \text{sen}^3 15^\circ}{1,34^2}$$

$$E_v(15^\circ) = 3,09 \text{lux}$$

Para 30°:

$$E_v = \frac{I(30^\circ) \cdot \text{sen}^3 30^\circ}{2,89^2}$$

$$E_v(30^\circ) = 5,12 \text{lux}$$

Para 45°:

$$E_v = \frac{I(40^\circ) \cdot \text{sen}^3 40^\circ}{4,19^2}$$

$$E_v(0^\circ) = 4,54 \text{lux}$$

Para 50°:

$$E_v = \frac{I(50^\circ) \cdot \text{sen}^3 50^\circ}{5,96^2}$$

$$E_v(50^\circ) = 1,89 \text{lux}$$

2.4.2–Método das Eficiências

O método das eficiências visto de maneira simplificada visa determinar a quantidade de luminárias a ser distribuída no ambiente em projeto iniciando-se com a escolha da lâmpada e luminária adequadas.

Portanto, para o desenvolvimento de um projeto utilizando o método em questão deve-se seguir esta sequência de cálculo:

1. Escolha da lâmpada;
2. Escolha da luminária adequada;

3. Cálculo da quantidade de luminárias.

Para o cálculo da quantidade de luminárias, usa-se o seguinte método necessário para se chegar à Iluminância Média (E_m) exigida por norma.

$$n = \frac{E_m \cdot A \cdot F_d}{\varphi \cdot \eta_L \cdot \eta_R} \quad (10)$$

em que:

n : Quantidade de lâmpadas necessárias;

E_m : Iluminância média (Conforme ABNT 5413);

A : Área do recinto (m^2);

F_d : Fator de Depreciação;

φ : Fluxo Luminoso da Lâmpada (Conforme catálogos);

η_L : Eficiência da luminária (em que $0 \leq \eta_L \leq 1$ dados de fabricantes);

η_R : Eficiência do recinto (Tabela do anexo A).

Mesmo em se tratando de projetos ligados a eficiência energética, caso o número de luminárias resultante do cálculo não seja compatível com a distribuição desejada, é recomendado aumentar o número de luminárias ao invés de reduzir para que não haja perda da iluminância desejada.

Depois de calculada a quantidade de luminárias desejada é possível calcular, exatamente, a iluminância média atingida.

Os pontos de iluminação, de preferência, devem ser distribuídos de maneira uniforme no ambiente em estudo. Levando-se sempre em conta o lay-out do mobiliário, o direcionamento da luz para o plano de trabalho e o próprio tamanho da luminária. É recomendado, como mostra a figura 13, que a distância entre a luminária e a parede seja o dobro da distância entre a luminária e a parede lateral.

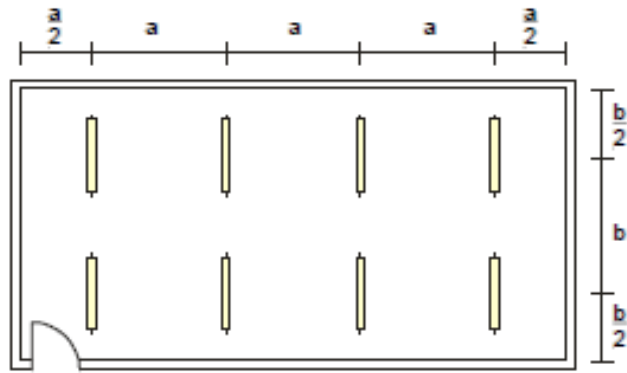


Figura 13: Distribuição recomendada de luminárias no recinto em estudo

Para o cálculo de iluminação dirigida, se a distância entre a fonte de luz e o objeto a ser iluminado for 5 vezes maior (ou mais) do que as dimensões físicas da fonte de luz, pode-se calcular a iluminância pelo Método de Iluminância Pontual, através da seguinte formulação:

$$E = \frac{I}{d^2} \quad (11)$$

em que:

- I*: Intensidade Luminosa lançada verticalmente sobre o ponto [cd];
- d*: Distância entre a fonte de luz e o ponto [m];
- E*: Iluminância [lx];

A figura 14 facilita a visualização do modo de cálculo da iluminância vertical.



Figura 14: Figura de auxílio na obtenção da Iluminância vertical.

Através desse método é possível observar que a iluminância (*E*) é Inversamente proporcional ao quadrado da distância entre fonte luminosa e objeto iluminado. Ou

seja, aumentando-se ao dobro a distância entre fonte e objeto, sua iluminância será reduzida a um quarto do valor inicial.

Caso a incidência da luz não seja perpendicular ao plano do objeto, a figura 15 auxilia na visualização, a fórmula passa a ter a seguinte configuração:

$$E = \frac{I_{\alpha} \cdot \cos \alpha}{d^2} \quad (12)$$

Como

$$d = \frac{h}{\cos \alpha}$$

Obtém-se:

$$E = \frac{I_{\alpha} \cdot \cos^3 \alpha}{h^2} \quad (13)$$

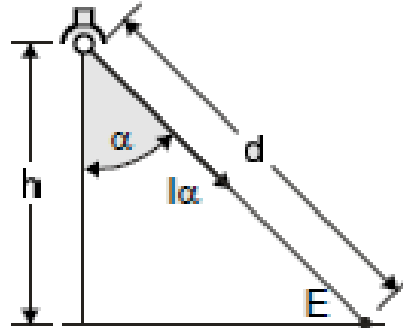


Figura 15: Figura de auxílio na obtenção da iluminância com incidência não perpendicular.

Formalizadas as formulações para incidências perpendiculares e não perpendiculares, defini-se assim a iluminância (E) em um ponto como sendo a iluminância gerada pela luminária exatamente acima desse ponto somada às iluminâncias gerada pelas demais luminárias presentes no ambiente. Ou seja:

$$E = \frac{I_1}{h^2} + \Sigma \left(\frac{I_{\alpha} \cdot \cos^3 \alpha}{h^2} \right) \quad (14)$$

A figura 16 apresenta com detalhes a iluminância total e seus fatores:

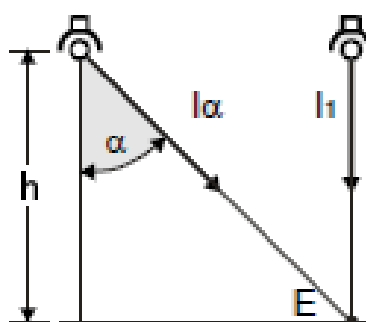


Figura 16: Influência de fontes luminosas distintas na iluminância de um ponto.

2.4.3–Método do Fluxo Luminoso

O método do fluxo luminoso também é conhecido como o método dos lumens. Este método foi desenvolvido visando o cálculo de iluminação para ambientes interiores. Os dados considerados nele são as características de cada luminária e lâmpada, bem como as cores e/ou estado de limpeza das paredes e do teto (índice de reflexão). O método emprega, em sua aplicação, tabelas e gráficos obtidos a partir da aplicação do método ponto a ponto para diversas situações.

Em suma, o objetivo é determinar o número de luminárias necessárias para se produzir uma determinada luminância em uma área e a base é o fluxo médio.

A utilização do método pode ser dividida em passos. São eles:

1. Determinação do nível de iluminância a ser atingido;
2. Escolha da luminária e lâmpada;
3. Determinação dos índices do recinto;
4. Determinação do índice de utilização da luminária;
5. Determinação do coeficiente de manutenção;
6. Cálculo do fluxo luminoso total (lumens);
7. Cálculo do número de luminárias;
8. Ajuste final do número e espaçamento das luminárias.

Determinação do nível de iluminância.

É importante citar que o nível de iluminância deve ser escolhido de acordo com as recomendações da NBR-5413 da ABNT. A tabela 2.3 é um resumo da tabela que

consta na norma (para maiores informações deve-se consultar a norma) traz um exemplo de níveis de iluminância para diferentes atividades.

Tabela 2.3: Iluminância para cada grupo de atividades visuais (extraída do anexo D)

Faixa	Iluminância (Lux)	Tipo de atividade
A Iluminação geral para áreas usadas interruptamente ou com tarefas visuais simples.	20 – baixa 30 – média 50 – alta	Áreas públicas com arredores escuros.
	50 – baixa 75 – média 100 – alta	Orientação simples para permanência curta.
	100 – baixa 150 – média 200 – alta	Recintos não usados para trabalho contínuo, depósitos.
B Iluminação geral para áreas de trabalho.	200 – baixa 300 – média 500 – alta	Tarefas com requisitos visuais limitados, trabalho bruto de maquinaria, auditórios.
	500 – baixa 750 – média 1000 – alta	Tarefas com requisitos visuais normais, trabalho médio de maquinaria, escritórios.
	1000 – baixa 1500 – média 2000 – alta	Tarefas com requisitos especiais, gravação manual, inspeção, indústria de roupas.
C Iluminação geral para tarefas visuais difíceis.	2000 – baixa 3000 – média 5000 – alta	Tarefas visuais exatas e prolongadas, eletrônica de tamanho pequeno.
	5000 – baixa 7500 – média 10000 – alta	Tarefas visuais muito exatas, montagem de micro-eletrônica.
	10000 – baixa 15000 – média 20000 - alta	Tarefas visuais muito especiais, cirurgias.

Escolha da luminária.

A luminária pode ser escolhida a partir de diversos fatores:

- distribuição adequada de luz;
- rendimento máximo;
- estética e aparência geral;
- facilidade de manutenção, incluindo a limpeza;
- fatores econômicos.

A escolha depende basicamente do projetista e do usuário. A tendência atual é buscar luminárias que proporcionem melhor eficiência de luminosidade, reduzindo as necessidades de consumo de energia.

Determinação do índice do recinto (K).

O índice em questão é calculado relacionando as dimensões do local que vai ser iluminado. Pode ser calculado pela seguinte expressão:

$$K = \frac{a \cdot b}{h(a + b)} \quad (15)$$

em que:

- a : comprimento do recinto;
- b : largura do recinto;
- h : distância da luminária ao plano de trabalho.

Determinação do fator/coeficiente de utilização da luminária.

Conforme descrito anteriormente os corpos possuem propriedades de absorção e reflexão da luz. Por isso parte do fluxo luminoso emitido pelas lâmpadas é perdido nas luminárias. Sendo assim, apenas uma parte do fluxo atinge o plano de trabalho. O coeficiente de utilização (F_u) de uma luminária é, pois, a relação entre o fluxo luminoso útil recebido pelo plano de trabalho ($\varphi_{\text{útil}}$) e o fluxo total emitido pela luminária (φ_{total}), sendo dado pela seguinte equação:

$$F_u = \frac{\varphi_{\text{útil}}}{\varphi_{\text{total}}} \quad (16)$$

ou pelo produto entre a eficiência do recinto (η_R) e a eficiência da luminária (η_L), índices já vistos na seção 2.4.2, isto é:

$$F_u = \eta_R \cdot \eta_L \quad (17)$$

O fator de utilização é obtido por meio do uso de tabelas que os fabricantes desenvolvem e aprimoram continuamente, nas quais, para cada tipo de luminária, tem-

se o coeficiente ou fator de utilização em função do índice do recinto (K) e dos coeficientes de reflexão do teto, paredes e piso. A tabela 2.4 apresenta os valores de reflexão normalmente adotados para as cores de paredes, tetos e pisos. A tabela 2.5 mostra uma parte de uma tabela de eficiência do recinto.

A tabela 2.6 mostra a eficiência aproximada da luminária de acordo com sua construção. As tabelas 2.7 e 2.8 mostram exemplos de tabelas já com o fator de utilização diretamente obtido para luminárias de lâmpadas fluorescentes e incandescentes.

Tabela 2.4: Índices de reflexão (ρ).

Teto	Branco	0,8 (80%)
	Claro	0,3 (30%)
	Médio	0,5 (50%)
Parede	Clara	0,8 (80%)
	Média	0,3 (30%)
	Escura	0,5 (50%)
Piso	Médio	0,3 (30%)
	Escuro	0,1 (10%)

Tabela 2.5: Parte da tabela de Eficiência do Recinto (η_r).

Luminária	Refletâncias												
	Teto	ρ_1	0,8			0,5		0,8			0,5		0,3
	Parede	ρ_2	0,8	0,5	0,3	0,5	0,3	0,8	0,5	0,3	0,5	0,3	0,3
	Piso	ρ_3	0,3					0,1					
Índice do Recinto		K											
A 1.2		0,8	0,72	0,48	0,42	0,47	0,42	0,88	0,47	0,41	0,47	0,41	0,40
		0,8	0,85	0,61	0,54	0,59	0,53	0,80	0,59	0,53	0,58	0,52	0,52
		1	0,94	0,69	0,62	0,67	0,61	0,87	0,67	0,61	0,65	0,60	0,59
		1,25	1,01	0,78	0,71	0,75	0,69	0,92	0,75	0,68	0,73	0,68	0,66
		1,5	1,05	0,83	0,75	0,80	0,74	0,96	0,80	0,73	0,77	0,72	0,71
		2	1,11	0,91	0,84	0,87	0,81	1,00	0,86	0,80	0,84	0,79	0,78
		2,5	1,15	0,97	0,90	0,92	0,87	1,02	0,91	0,85	0,88	0,83	0,82
		3	1,18	1,02	0,96	0,96	0,91	1,04	0,94	0,89	0,91	0,87	0,86
		4	1,21	1,09	1,02	1,02	0,96	1,05	0,97	0,94	0,95	0,91	0,90
		5	1,23	1,12	1,06	1,04	1,00	1,06	1,00	0,96	0,97	0,94	0,92



Tabela 2.6: Eficiência aproximada da luminária (η_L).

Luminárias abertas com lâmpadas nuas	0,9
Luminárias com refletor ou embutidas abertas	0,7
Luminárias com refletor e lamelas de alta eficiência	0,7
Luminárias com refletor ou embutidas com lamelas	0,6
Luminárias tipo "plafond" com acrílico anti-ofuscante	0,6
Luminárias de embutir com acrílico anti-ofuscante	0,5

Tabela 2.7: Fator de utilização- Lâmpadas fluorescentes (F_u).

K	Teto	70			50			30	
	Parede	50	30	10	50	30	10	30	10
	Plano de trabalho	10			10			10	
0,60		0,39	0,33	0,28	0,38	0,32	0,28	0,32	0,28
0,80		0,48	0,42	0,37	0,47	0,41	0,37	0,41	0,37
1,00		0,55	0,48	0,44	0,53	0,48	0,43	0,47	0,43
1,25		0,61	0,55	0,50	0,59	0,54	0,50	0,53	0,50
1,50		0,65	0,60	0,55	0,64	0,59	0,55	0,58	0,55
2,00		0,71	0,67	0,63	0,70	0,66	0,62	0,64	0,61
2,50		0,75	0,71	0,68	0,74	0,70	0,67	0,69	0,66
3,00		0,78	0,75	0,71	0,76	0,73	0,70	0,72	0,70
4,00		0,82	0,79	0,76	0,80	0,77	0,75	0,76	0,74
5,00		0,84	0,81	0,79	0,82	0,80	0,78	0,78	0,77

Tabela 2.8: Fator de utilização - Lâmpadas incandescentes (F_u).

K	Teto	70			50			30	
	Parede	50	30	10	50	30	10	30	10
	Plano de trabalho	10			10			10	
0,60		0,31	0,26	0,23	0,30	0,26	0,22	0,26	0,22
0,80		0,36	0,31	0,27	0,35	0,30	0,27	0,30	0,27
1,00		0,43	0,38	0,34	0,42	0,37	0,34	0,37	0,34
1,25		0,48	0,43	0,40	0,47	0,43	0,39	0,42	0,39
1,50		0,52	0,47	0,44	0,50	0,47	0,44	0,46	0,44
2,00		0,57	0,53	0,50	0,56	0,53	0,50	0,53	0,50
2,50		0,61	0,58	0,55	0,60	0,57	0,55	0,57	0,55
3,00		0,63	0,61	0,58	0,63	0,60	0,58	0,60	0,58
4,00		0,67	0,65	0,63	0,66	0,64	0,63	0,64	0,63
5,00		0,69	0,68	0,66	0,69	0,67	0,66	0,67	0,66

Nas tabelas 2.7 e 2.8, as primeiras colunas apresentam valores do índice do local (K). Na primeira linha observa-se o índice de reflexão do teto (em percentagem). Na segunda e terceira linhas têm-se o índice de reflexão (em percentagem) da parede

e do plano de trabalho respectivamente. A interseção desses índices proporciona a obtenção do fator de utilização (F_u).

Coeficiente de manutenção.

Com o passar do tempo as luminárias vão se empoeirando, acarretando a redução do fluxo emitido. Tal situação pode ser parcialmente atenuada por meio da realização de manutenção de modo eficiente, contudo mesmo assim o rendimento da instalação diminuirá. Portanto, é necessário considerar essa depreciação na determinação do número das luminárias. Isso é realizado através da determinação do coeficiente de manutenção, também conhecido como fator de depreciação (F_d). Este coeficiente deve ser calculado para cada ambiente e leva em consideração, além do período de manutenção das luminárias, as condições gerais de limpeza do recinto em estudo.

Para que se possa determinar o fator de depreciação (F_d) lança-se mão de curvas de depreciação. A partir dos dados obtidos nas curvas resulta em tabelas como a tabela 2.9.

Tabela 2.9: Tipo de luminária x Fator de Depreciação.

Tipo de Aparelho	F_d
Aparelhos para embutir lâmpadas incandescentes	0,85
Aparelhos para embutir lâmpadas refletoras	
Calha aberta e chanfrada	0,0
Refletor industrial para lâmpadas incandescentes	
Luminária comercial	0,75
Luminária ampla utilizada em linhas contínuas	
Refletor parabólico para duas lâmpadas incandescentes	0,7
Refletor industrial para lâmpada VM	
Aparelho para lâmpada incandescente para iluminação indireta	
Luminária industrial tipo Miller	
Luminária com difusor de acrílico	
Globo de vidro fechado para lâmpada incandescente	
Refletor com difusor plástico	0,6
Luminária comercial para lâmpada high output colméia	
Luminária para lâmpada fluorescente para iluminação indireta	

Cálculo do fluxo luminoso total.

A partir da determinação dos diversos índices, pode-se calcular o fluxo luminoso total a ser produzido pelas lâmpadas através da seguinte relação:

$$\varphi_{total} = \frac{E \cdot S}{F_u \cdot F_d} \quad (18)$$

em que:

φ_{total} : fluxo luminoso total produzido pelas lâmpadas [lm];

E : iluminância determinada pela norma [lux];

S : área do recinto [m²];

F_u : fator/coeficiente de utilização;

F_d : fator de depreciação (coeficiente de manutenção).

Cálculo do número de luminárias.

De posse do fluxo luminoso, calculado nos passos anteriores, calcula-se o número de luminárias necessárias para o ambiente em estudo através da seguinte relação:

$$n = \frac{\varphi_{Total}}{\varphi_{luminária}} \quad (19)$$

sendo $\varphi_{luminária}$ o fluxo luminoso emitido por luminária. Esse fluxo dependerá do tipo e do número de lâmpadas instaladas por luminária. O número de luminárias encontrado dificilmente será inteiro, devendo-se, portanto, adotar o número inteiro mais próximo. Esse número também dificilmente proporcionará uma distribuição estética e simétrica das luminárias no ambiente. Portanto, deve-se ajustar o número de luminárias de maneira conveniente para o recinto em estudo.

Espaçamento das luminárias.

Deve-se buscar um espaçamento adequado entre as luminárias. A figura 17 exemplifica muito bem este espaçamento. Normalmente o fabricante fornece fatores que determinam os espaçamentos máximos a serem adotados. Porém, deve-se

buscar a distribuição igualmente distribuída pelo ambiente de acordo com a área do recinto. Considere, por exemplo,

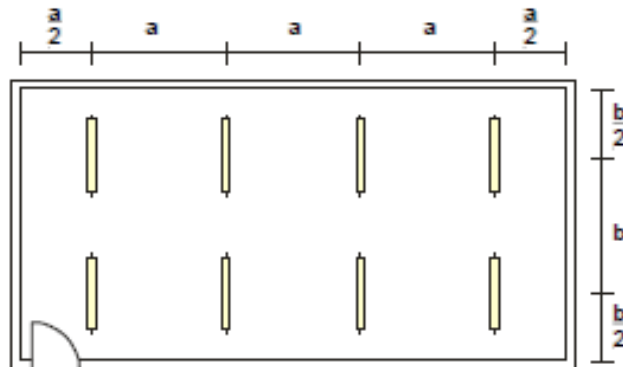


Figura 17: Distribuição recomendada de luminárias no recinto em estudo

um projeto que consiste na iluminação da área de inspeção de uma indústria de vidro. Essa área de inspeção possui 30 m de profundidade, 15 m de largura e 7 m de altura. O teto é claro e as paredes têm cor média. As mesas utilizadas para inspeção têm 1 m de altura. Suponha que a manutenção das luminárias é feita semestralmente, e que o ambiente é limpo e o nível de iluminância baixo. Deseja-se utilizar luminárias com uma lâmpada de vapor de mercúrio de alta pressão de 400 W, capazes de produzir um fluxo luminoso de 22.300 lm. Seguindo os passos apresentados nessa seção, o projeto deve seguir os seguintes passos:

- a) Determinação do nível de iluminamento.

Utilizando-se a tabela 2.3, adotou-se o nível de iluminância de 1000 lux.

- b) Determinação do índice do recinto (K).

Sabe-se que:

$$K = \frac{a \cdot b}{h(a + b)}$$

Como $a = 30m$; $b = 15m$; $h = 7 - 1 = 6m$, então:

$$K = \frac{30 \cdot 15}{6(30 + 15)} = 1,66$$

$$K = 1,66$$

c) Determinação do fator de utilização da lâmpada.

Para a obtenção do fator de utilização é necessário antes determinar as eficiências do recinto e da luminária. Porém, existem fabricantes que fornecem tabela com os valores do fator de utilização a partir da refletância do teto, parede e índice do recinto. Nesses casos, uma tabela como a tabela 2.10 deve ser conhecida.

Tabela 2.10: Fator de utilização – Luminárias de lâmpadas de vapor de mercúrio de alta pressão.

K	Teto	70			50			30	
	Parede	50	30	10	50	30	10	30	10
	Plano de trabalho	10			10			10	
0,60		0,33	0,27	0,23	0,32	0,27	0,23	0,26	0,23
0,80		0,40	0,34	0,30	0,39	0,34	0,30	0,33	0,30
1,00		0,46	0,40	0,36	0,44	0,40	0,36	0,39	0,36
1,25		0,51	0,46	0,42	0,50	0,45	0,42	0,44	0,41
1,50		0,55	0,50	0,46	0,53	0,49	0,46	0,49	0,46
2,00		0,60	0,57	0,53	0,59	0,56	0,53	0,55	0,52
2,50		0,64	0,61	0,58	0,62	0,60	0,57	0,58	0,56
3,00		0,66	0,63	0,61	0,65	0,62	0,60	0,61	0,59
4,00		0,69	0,67	0,65	0,68	0,66	0,64	0,65	0,63
5,00		0,71	0,69	0,67	0,70	0,68	0,66	0,67	0,65

Para o uso da tabela 2.10, é necessário obter o nível de reflexão das paredes e do teto, além do valor do índice do recinto (K).

Considerando-se os dados iniciais deste exemplo e a tabela 2.4, teremos:

- teto claro – nível de reflexão: 50%
- paredes de cor média – nível de reflexão: 30%
- K=1,5 (valor próximo do valor 1,66 encontrado anteriormente)

$$F_u = 0,49$$

d) Determinação do fator de depreciação (F_d).

Para se obter o fator de depreciação utiliza-se a tabela 2.9. Pelo problema, o ambiente é considerado limpo e as luminárias são limpas a cada seis meses. Portanto, obtém-se: $F_d \geq 0,85$.

e) Determinação do fluxo luminoso total (φ_{total}).

Sabe-se que:

$$\varphi_{total} = \frac{E \cdot S}{F_u \cdot F_d}$$

em que $S = a \cdot b$ (área do recinto).

Substituindo os valores dados, teremos:

$$\varphi_{total} = \frac{1000 \cdot 30 \cdot 15}{0,49 \cdot 0,9} = 1.020.408,16$$

Portanto, o fluxo será de 1.020.408,16 lm.

f) Determinação do número de luminárias

Deseja-se utilizar luminárias de vapor de mercúrio de alta pressão de 400 W. Tem-se que uma lâmpada de 400 W produz, em média, um fluxo luminoso de 22.300 lm. Portanto, pode-se calcular o número de lâmpadas da seguinte forma:

$$n = \frac{\varphi_{total}}{\varphi_{lu \text{ min } \acute{a}ria}} = \frac{1.020.408,16}{22.300} = 45,75$$

Assim sendo, serão utilizadas, inicialmente, 46 luminárias:

g) Ajuste do espaçamento de luminárias.

Nessa fase procura-se ajustar as luminárias às dimensões do local, levando-se em conta as diversas possibilidades existentes. Busca-se uma melhor possibilidade de manutenção e operação do sistema, bem como uma melhor estética. No problema em questão, visando uniformizar a instalação vamos utilizar 48 luminárias dispostas como na figura 18.

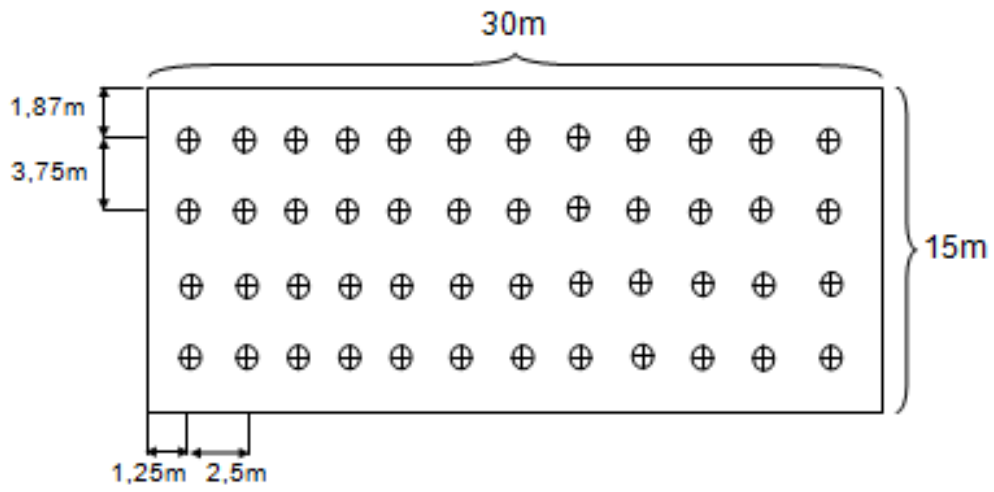


Figura 18: Distribuição das luminárias do exemplo

Capítulo 3 – Aplicações

A motivação principal do capítulo é aproximar a teoria de aspectos práticos de forma a permitir que projetos de iluminação possam ser pensados como forma de atuação em eficiência energética.

Assim sendo, no capítulo serão mostrados cálculos realizados em projetos de eficiência energética numa indústria que fabrica pneus. Como é comum, o complexo da indústria em questão é formado por imensos galpões divididos por diversas atividades. Haverá um momento inicial de verificação dos projetos de iluminação já instalados nos recintos estudados quanto à quantidade de luminárias e lâmpadas. Em seguida, serão apresentadas opções para redução do uso de energia elétrica nestes ambientes. Por fim será feita uma breve análise da relação de investimentos em material com o retorno financeiro gerado pelas modificações propostas em economia de energia elétrica.

Antes, porém, é necessário se fazer uma breve explanação sobre a avaliação do consumo energético nacional, após isso avaliar os custos de investimentos e operacionais, além do cálculo de rentabilidade.

O balanço energético nacional brasileiro realizado em 2012, referente ao ano de 2011 revelou uma parcela de, aproximadamente, 36% de consumo de energia do Brasil pela indústria, seguido de 30% do consumo em transportes [3] e [4]. Este dado comprova o importante consumidor que é a indústria no cenário nacional brasileiro.

Da energia consumida pela indústria em 2011 a repartição da matriz está estratificada na figura 19 a seguir:

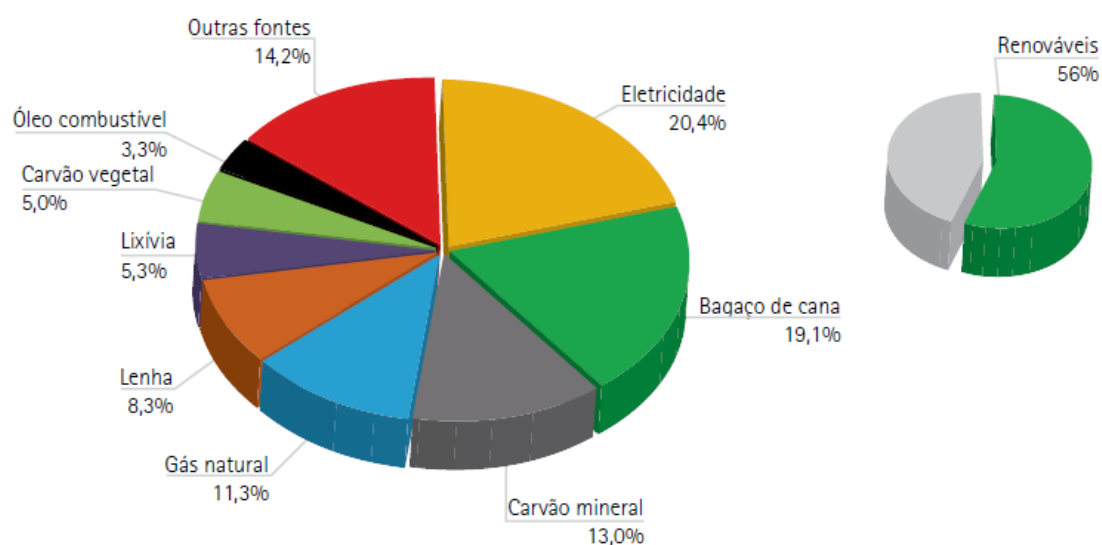


Figura 19: Consumo de energia nas indústrias

Vale mencionar que a maior parcela de consumo é a de energia elétrica. E que a oferta de energia tem se elevado ao longo dos anos como mostra a figura 20 [61].

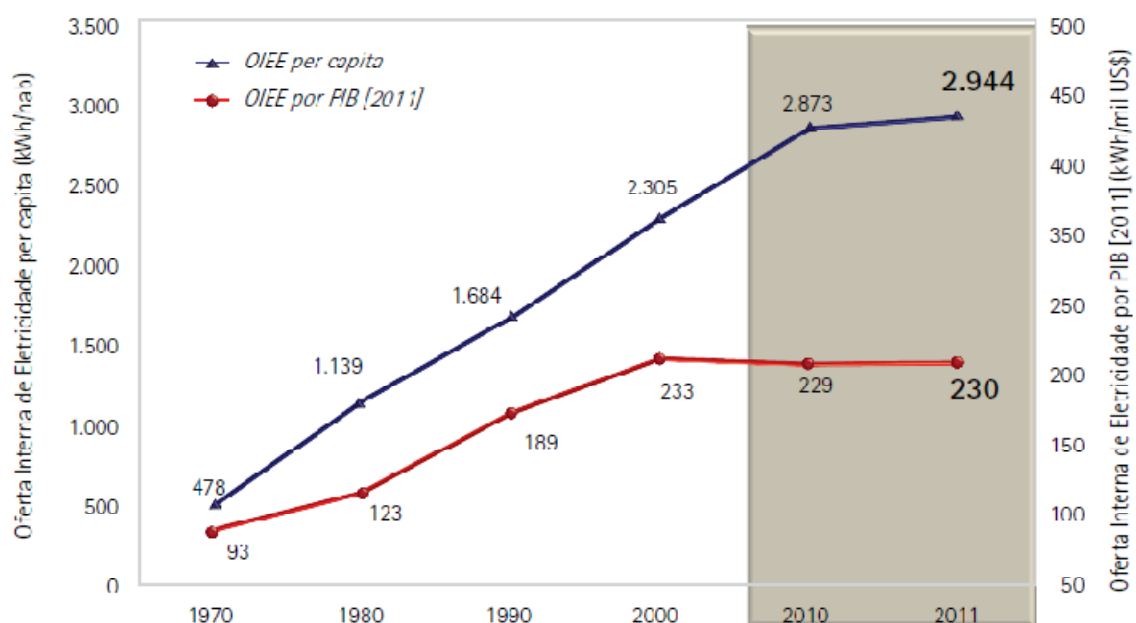


Figura 20: Evolução dos indicadores de energia elétrica no Brasil

A matriz energética brasileira é muito dependente da geração hidrelétrica, com 81,7% de participação. Mas o que tem havido com frequência é a redução do nível dos reservatórios e a entrada em operação das termoeletricas, que equilibram a demanda enquanto a hidrelétrica não pode gerar com o potencial usual. Isso se reflete diretamente no preço da energia que passa a ser gerada a partir de recursos considerados não renováveis e que, por sua vez, custam muito. Por isso é tão importante a diversificação da matriz energética.

A figura 21 evidencia a dependência atual em relação à energia gerada por usinas hidrelétricas. A oferta interna de energia (total de energia demandada no país) cresceu 1,3% em 2011 ante 2010. Foi uma evolução menor que a do PIB (soma das riquezas produzidas no Brasil), que, conforme o IBGE expandiu 2,7%. O menor crescimento da demanda de energia significa que a economia brasileira gastou menos energia para produzir a mesma quantidade de bens e serviços.

A diferença entre a oferta interna e o consumo final de energia é o que se gasta nos processos de transformação da energia primária (por exemplo, a energia gasta para gerar energia elétrica ou para produzir os derivados de petróleo).

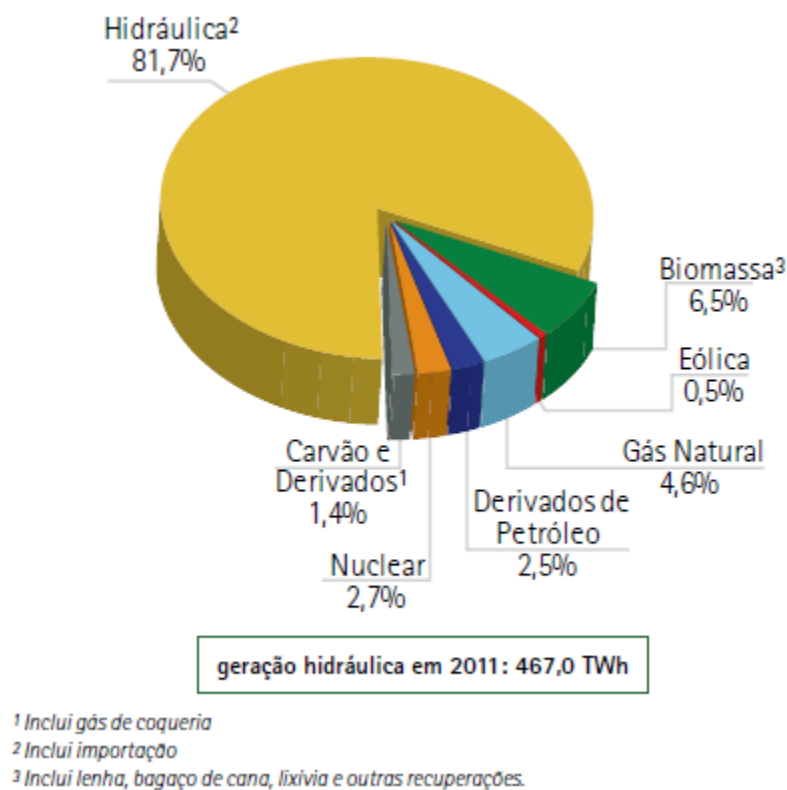


Figura 21: Matriz elétrica brasileira

Portanto, torna-se claro a necessidade de controle cada vez maior no consumo de energia elétrica na indústria brasileira. Mesmo em face da capacidade de geração e da oferta diversificada, é preciso notar que, face aos custos da mesma energia no mundo o Brasil não apresenta preços competitivos. Ainda mais quando se faz necessária a operação de termoeletricas de modo mais efetivo.

Sendo assim, o investimento em estudos para sistemas de iluminação mais eficientes, em termos de consumo, contribui fortemente para a redução do consumo e custo final do produto fabricado. A utilização da iluminação ajustada aos recursos perenes da natureza, como a luz solar, precisa ser aproveitado o melhor possível. Caso houver possibilidade de, sem prejuízo da iluminância, modificar o sistema em operação por um mais econômico como mudar luminárias com lâmpadas de vapor metálico por luminárias com lâmpadas de LED integradas, a opção é uma solução cuja rentabilidade deve ser avaliada.

Por isso não é possível avaliar uma instalação apenas pelo seu consumo (potência), é preciso observar também os custos de manutenção, a vida útil do equipamento. E é este tema que será visto a partir de agora.

3.1 – Avaliações de consumo energético

Qualquer projeto luminotécnico só estará completo quando atentar para o consumo energético da instalação e para o cálculo de custos. Além da quantidade de luminárias e lâmpadas, bem como o nível de iluminância, é de suma importância a determinação da potência da instalação, pois através da potência pode-se verificar os custos com a energia e assim desenvolver um estudo de rentabilidade entre diversos projetos apresentados [5].

O valor da “Potência por m²” [W/m²] é um índice amplamente divulgado e, quando corretamente calculado, pode ser o indicador de projetos luminotécnicos mais econômicos. Para isso, calcula-se a potência total instalada através do somatório da potência de cada aparelho instalado na iluminação. Trata-se da potência da lâmpada multiplicada pela quantidade existente no local, somado à potência consumida de todos os reatores, transformadores e/ou ignitores. A potência instalada é expressa em quilowatts, logo, aplica-se assim o quociente 1000 na equação:

$$P_{Total} = \frac{n \cdot P_{unid}}{1000} \quad (20)$$

em que:

- P_{unid} : potência consumida pelo conjunto lâmpada + reator.

Outro índice utilizado na determinação de consumo é a densidade de potência que é a potência total instalada em watt para cada metro quadrado da área analisada. Essa grandeza é muito útil para projetos elétricos de uma instalação, até mesmo de sistemas de ar-condicionado.

$$D = \frac{P_{Total} \cdot 1000}{A} \quad (21)$$

A comparação entre projetos luminotécnicos só se evidencia quando se leva em consideração níveis de iluminância para diferentes sistemas. Ou seja, um sistema é mais eficiente do que outro se, ao apresentar o mesmo nível de iluminância do outro, consumir menos watts por metro quadrado. Portanto, é necessário observar o conceito

de densidade de potência relativa. Esse conceito é baseado na densidade de potência total instalada para cada 100 lx de iluminância. Logo, teremos:

$$D_r = \frac{P_{Total}}{\frac{A.E}{100}}$$

(22)

$$D_r = \frac{D.100}{E} \quad (21)$$

em que:

- D_r : densidade de potência relativa (W/m^2);
- P_{Total} : potência total da instalação (kW);
- E : Iluminância (lx).

Portanto, quando for necessário comparar consumo entre dois recintos distintos, o projetista deverá tomar nota da área (A) de cada um, iluminância (E), calcular a densidade de potência (D) e a densidade relativa. Pode ocorrer de uma das instalações consumir menos potência que outra, mas será mais eficiente aquela que obtiver menor valor de densidade relativa, pois será a relação de potência por metro quadrado.

3.2 – Avaliações de custos e rentabilidade

Na avaliação de custos, é importante observar basicamente dois tipos: custos de investimento e custos operacionais. O primeiro consiste na soma dos valores de compra de todos os equipamentos que compõem o sistema de iluminação, como lâmpadas, luminárias, reatores, transformadores, ignitores, fiação acrescentando o custo de mão-de-obra dos profissionais envolvidos desde o início até o final do projeto. Já os custos operacionais são o somatório do que é gasto após a instalação do sistema de iluminação estar concluída, como os custos de manutenção de lâmpadas e luminárias e os custos de energia consumida.

O custo mensal de manutenção das lâmpadas comporta o custo de aquisição de novas unidades e custo de mão-de-obra necessária para realizar a manutenção. Tal custo resulta da soma das horas mensais de utilização dividida pela vida útil. O

resultado dessa divisão é o número de lâmpadas que serão repostas, e seu valor deve ser multiplicado pelo preço da nova lâmpada. O custo de mão-de-obra é dado em função da remuneração por hora de trabalho do profissional, relação conhecida como homem-hora (HH). Esse valor deverá ser multiplicado pelo número de lâmpadas repostas por mês.

O fator decisivo no custo operacional é o custo de energia elétrica, que corresponde à potência total multiplicada pelas horas de uso mensal e pelo preço do kWh. Quando é possível optar por sistemas mais eficientes, esse custo sofre forte redução. A figura 22 mostra um exemplo dos custos operacionais envolvidos quando se compara dois tipos de sistemas de iluminação, considerando consumo de energia, tempo de vida útil (quantidade de reposição) e mão de obra.

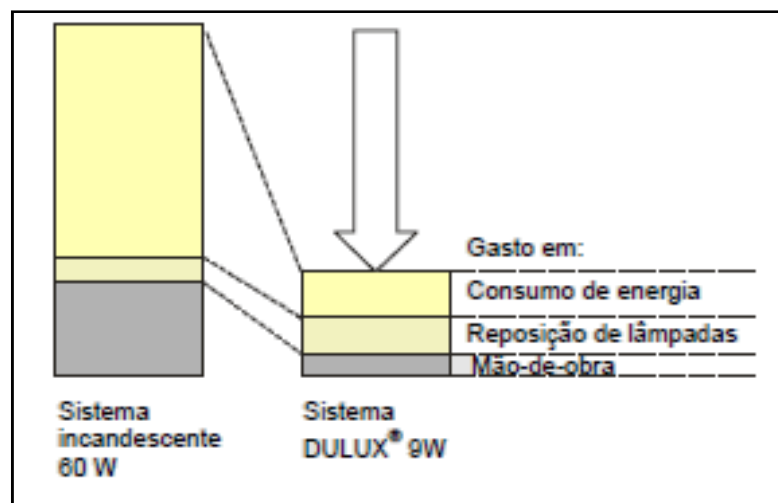


Figura 22: Comparação entre custos operacionais.

A análise comparativa de dois sistemas luminotécnicos, para concluir qual deles é o mais rentável, leva em consideração tanto os custos de investimento quanto operacionais. Geralmente o uso de lâmpadas de melhor eficiência energética leva a um investimento maior, mas proporciona economia nos custos operacionais. Procede dessa daí a amortização dos custos, ou seja, há retorno do investimento dentro de um dado período. O tempo de retorno é calculado pelo quociente da diferença do investimento pela diferença da manutenção.

3.3 – Projetos aplicados na indústria

Nessa seção serão apresentados quatro projetos. Tais projetos foram fruto de trabalhos realizados numa grande fábrica de pneus de modo a reduzir o consumo de energia elétrica em um dos armazéns de seu complexo industrial. No recinto verificou-

se enorme quantidade de luminárias com lâmpadas acesas 24 horas por dia. A figura 23 mostra uma parte do armazém em questão e a grande quantidade de lâmpadas ligadas. Daí foi realizado um projeto para a verificação se o número de luminárias estava calculado de forma correta, e em seguida surgiram três opções para a redução do consumo de energia:

1. Substituição de parte do telhado por telhas translúcidas de polipropileno;
2. Instalação de exaustores eólicos iluminadores;
3. Instalação de acionamento automático de circuitos por programadores horários.

O que vem a seguir são os projetos mencionados aplicando os conhecimentos abordados em luminotécnica associando à eficiência energética.

3.3.1 – Projeto inicial de verificação

O projeto em questão tem como visão inicial a utilização de energia elétrica de maneira eficiente, e como benefício secundário, mas não menos importante, a redução nos custos da mesma energia.

Sendo assim, inicialmente levantou-se o número de lâmpadas já existentes no armazém para estoque de pneus, o tipo de lâmpadas e luminárias, dimensões do ambiente, tipo de atividades desenvolvidas com o fim de constatar se o projeto inicial está dentro dos padrões.

Portanto, a conclusão deste trabalho será a apresentação de três projetos alternativos e sustentáveis com custos e previsão de retorno do investimento.

Levantamento inicial

Para melhor análise, o recinto foi dividido em três grandes áreas denominadas “Parte”.

Dados levantados de iluminação local:

- Largura e comprimento:
 - Parte 1: $a = 40\text{m}$; $b = 93\text{m}$;
 - Parte 2: $a = 60\text{m}$; $b = 55,8\text{m}$;
 - Parte 3: $a = 90\text{m}$; $b = 55,8\text{m}$.
- Altura:

- Nível lâmpadas: 6m;
- Teto máximo: 10m;
- Teto mínimo: 7,5m.

Total de 1216 luminárias com base para duas lâmpadas (a maioria com bases de baixo poder refletor);

Total de lâmpadas: 2432 unidades;

As lâmpadas são fluorescentes tubulares de 58W (OSRAM) acesas 24h/dia com reatores de 4 W cada luminária;

Custo médio mensal em energia elétrica:

P = 150.784 W

R\$ 21.328,27

Custo médio anual em energia elétrica:

R\$ 255.939,26



Figura 23: Armazém de estoque de pneus

Projeto de verificação

Para os dados levantados no item anterior, levando-se em consideração o nível de iluminância [lux] necessário para iluminar o ambiente bem como as atividades desenvolvidas no mesmo, é possível calcular o número de lâmpadas necessárias com a potência especificada também no item anterior. Os cálculos podem ser realizados por alguns métodos como o método do fluxo luminoso ou outros. Para simplificar, nesse projeto foi escolhido o primeiro.

Facilitando a compreensão do leitor, os cálculos serão efetuados por passos.

Cálculos

- Índice do recinto (K):

$$K = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)}$$

(Considerando iluminação direta)

Parte (1):

$$\left. \begin{array}{l} a = 40 \text{ m} \\ b = 93 \text{ m} \\ h = 6 \text{ m} \end{array} \right\} K^1 = 4,66$$

Parte (2):

$$\left. \begin{array}{l} a = 60 \text{ m} \\ b = 55,8 \text{ m} \\ h = 6 \text{ m} \end{array} \right\} K^2 = 4,82$$

Parte (3):

$$\left. \begin{array}{l} a = 90 \text{ m} \\ b = 55,8 \text{ m} \\ h = 6 \text{ m} \end{array} \right\} K^3 = 5,74$$

- Eficiência do recinto (η_R): (De acordo com a tabela do anexo A)

$$\eta_R = 1,04$$

- Eficiência do recinto (η_L): (De acordo com a tabela do anexo B)

$$\eta_L = 0,73$$

- Fator de utilização (F_u):

$$F_u = \eta_R \cdot \eta_L \cong 0,76$$

- Fator de depreciação (F_d): (De acordo com a tabela do anexo C)

$$F_d = 0,66$$

- Iluminância desejada (E):

$$E = 500 \text{ lux, (Pelo ambiente e atividade desenvolvida, tabela do anexo D)}$$

- Fluxo luminoso (ϕ):

$$\phi = \frac{E \cdot S}{F_u \cdot F_d}$$

Substituindo-se os valores nas incógnitas, teremos:

$$\phi_1 = 3.712.041,38 \text{ lm}$$

$$\phi_2 = 3.340.837,24 \text{ lm}$$

$$\phi_3 = 5.011.255,87 \text{ lm}$$

- Necessidade de Lâmpadas (N_L):

$$N_L = \frac{\phi}{\phi_L}$$

Observação: O denominador corresponde ao fluxo de uma unidade de lâmpada.

$$N_L^1 = \frac{3.708.134}{5200} = 713,85$$

$$N_L^2 = \frac{3.337.320,6}{5200} = 642,47$$

$$N_L^3 = \frac{5.005.980,8}{5200} = 963,70$$

$$N_L \cong 2.320 \text{ Lâmpadas.}$$

Conclusão: Comparando-se o valor obtido com o valor atual de lâmpadas presentes atualmente no recinto é possível observar que o projeto inicial está próximo do ideal e a diferença é de 3,5% para mais. A redução na diferença para próximo de

zero (80 lâmpadas) nos daria uma economia aproximada e energia elétrica de **R\$ 634,75/mês**.

3.3.2 – Projetos alternativos

Neste tópico serão apresentadas soluções para o uso eficiente da energia elétrica associada à utilização de luz natural para iluminação do recinto. Traremos como opções a utilização de telhas translúcidas de polipropileno e exaustores eólicos iluminadores. Serão considerados em ambos o período de maior insolação entre os horários de 8:00-15:00 horas. O método a ser utilizado para os cálculos ainda será o dos lumens. A figura 24 mostra um exemplo de aplicação de iluminação natural numa fábrica de bebidas.

Opção 1: Telhas translúcidas de polipropileno

Os seguintes dados do material foram considerados:

- passagem de 70% da luz natural;
- contém isolante térmico e acústico;
- aditivo anti-UV;
- R\$100,00/unidade;
- área de uma telha $3,66 \times 1,10\text{m} = 4,03\text{m}^2$.



Figura 24: Exemplo de aplicação de telhas translúcidas numa indústria

Iluminâncias consideradas:

- (1) Dia ensolarado de verão em local aberto → 100.000lux
- (2) Dia encoberto de verão → 20.000lux
- (3) Dia escuro de inverno → 3.000lux

Observação: O pior caso será a nossa referência para os cálculos, haja vista que o satisfazendo, em qualquer outro caso haveria maior quantidade de lumens no ambiente. Portanto, a passagem de luz pela telha será: $0,7 \cdot 3.000 = 2.100\text{lux}$.

Cálculos

1) Índice do recinto (K):

$$K = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)}$$

Parte (1):

$$\left. \begin{array}{l} a = 40\text{m} \\ b = 93\text{m} \\ h = 9,25\text{m} \end{array} \right\} K^1 = 3,024$$

Parte (2):

$$\left. \begin{array}{l} a = 60\text{m} \\ b = 55,8\text{m} \\ h = 9,25\text{m} \end{array} \right\} K^2 = 3,12$$

Parte (3):

$$\left. \begin{array}{l} a = 90\text{m} \\ b = 55,8\text{m} \\ h = 9,25\text{m} \end{array} \right\} K^3 = 3,72$$

2) Eficiência do recinto (η_R): (dado obtido da tabela do anexo A)

$$\eta_R = 0,95$$

3) Eficiência da luminária (η_L): (dado obtido da tabela do anexo B)

$$\eta_L = 0,7$$

- Fator de utilização (F_u):

$$F_u = \eta_R \cdot \eta_L \cong 0,66$$

4) Fator de depreciação (F_d): (dado obtido da tabela do anexo C)

$$F_d = 0,66$$

5) Iluminância (lux):

$$E = 2.100 \text{ lux}$$

6) Fluxo luminoso (lm):

$$\phi = \frac{E \cdot S}{F_u \cdot F_d}$$

$$\phi = 17.933.884,3 \text{ lm}$$

$$\phi_2 = 16.140.495,9 \text{ lm}$$

$$\phi_3 = 24.210.743,8 \text{ lm}$$

Numa comparação do fluxo luminoso do telhado sendo totalmente substituído por telhas translúcidas e o fluxo necessário para as atividades realizadas no recinto teríamos:

$$\phi_1^{(0)} = 3.712.041,38\text{lm}$$

$$\phi_1 = 17.933.884,3\text{lm}$$

-Necessidade:

Aproximadamente **21% do telhado** deverão ser constituídos por telhas translúcidas para obter o fluxo desejado.

- Custo:

Para o preenchimento de 21% do telhado com telhas translúcidas serão necessárias 563 unidades.

R\$ 56.290,62

- Economia:

➤ 8:00 – 15:00h → 210h/mês

R\$ 5.554,08/mês = 66648,96/ano

- Retorno do investimento:

$$R = \frac{\textit{Investimento}}{\textit{Economia}} \cdot 12\textit{meses}$$

$$R = \frac{56290,62}{66648,96} \cdot 12 = 10,13$$

Recuperação do investimento no material em aproximadamente **10 meses**.

Opção 2: Exaustores eólicos iluminadores

Dados do material:

- Equivalente a uma lâmpada de 250W;
- R\$ 270,00/unidade;
- Não corrosivo (policarbonato);
- Um equipamento soluciona dois problemas: exaustão do ar aquecido e fator iluminamento.

A figura 25 mostra outro exemplo de aplicação de iluminação natural, porém com a utilização de exaustores eólicos iluminadores.

Dados de Iluminâncias:

- (1) Dia ensolarado de verão em local aberto → 100.000lux
- (2) Dia encoberto de verão → 20.000lux
- (3) Dia escuro de inverno → 3.000lux

Observação: O valor de potência equivalente a uma lâmpada não nos permite saber o fluxo luminoso. Por isso os cálculos finais serão feitos para uma faixa possível de valores considerando a eficiência luminosa equivalente às Lâmpadas de 250W associados à luz do dia.



Figura 25: Exemplo de aplicação de exaustor eólico iluminador

Cálculos

1) Índice do recinto (K):

$$K = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)}$$

Parte (1):

$$\left. \begin{array}{l} a = 40 \text{ m} \\ b = 93 \text{ m} \\ h = 9,75 \text{ m} \end{array} \right\} K^1 = 2,87$$

Parte (2):

$$\left. \begin{array}{l} a = 60 \text{ m} \\ b = 55,8 \text{ m} \\ h = 9,75 \text{ m} \end{array} \right\} K^2 = 2,96$$

Parte (3):

$$\left. \begin{array}{l} a = 90 \text{ m} \\ b = 55,8 \text{ m} \\ h = 9,75 \text{ m} \end{array} \right\} K^3 = 3,53$$

2) Eficiência do recinto (η_R): (dado obtido da tabela do anexo A)

$$\eta_R = 0,95$$

3) Eficiência da luminária (η_L): (dado obtido da tabela do anexo B)

$$\eta_L = 0,9$$

4) Fator de utilização (F_u):

$$F_u = \eta_R \cdot \eta_L \cong 0,85$$

5) Fator de depreciação (F_d): (dado obtido da tabela do anexo C)

$$F_d = 0,66$$

6) Iluminância (lux):

$$E = 500 \text{ lux}$$

7) Fluxo luminoso (lm):

$$\phi = \frac{E \cdot S}{F_u \cdot F_d}$$

$$\phi_1 = 3.315.508,02 \text{ lm}$$

$$\phi_2 = 2.983.957,22 \text{ lm}$$

$$\phi_3 = 4.475.935,83 \text{ lm}$$

- Necessidade:

$$N_L = \frac{\phi}{\phi_L}$$

Nesta formulação o denominador corresponde ao fluxo luminoso médio que o exaustor pode proporcionar. Como dito anteriormente, faremos uma faixa dos mesmos.

ϕ_L (lm)	17.000	25.500	38.483
N_L (unid)	634	418	280

O valor ideal de observação seria o central na tabela acima.

- Custo:

Para as diferentes quantidades de exaustores teríamos os seguintes gastos:

N_L (unid)	634	418	280
R\$	171.180,00	112.860,00	75.600,00

- Economia:

➤ 8:00 – 15:00h → 210h/mês

R\$ 5.554,08/mês = 66648,96/ano

- Retorno do investimento:

$$R = \frac{\text{Investimento}}{\text{Economia}} \cdot 12 \text{meses}$$

$$R = \frac{112860}{66648,96} \cdot 12 = 20,32$$

Recuperação do investimento no material em aproximadamente um ano e oito meses para o caso ideal.

Vale lembrar que estes valores seriam para substituir toda a iluminação artificial pela alternativa em questão. Não é totalmente viável a instalação de centenas de exaustores haja vista que os custos de manutenção podem ser maiores que os benefícios.

Opção 3: Programadores horários

A terceira opção é a que foi escolhida pela equipe de direção da fábrica para implementação imediata. A opção consiste na utilização de desligamento e ligamento dos quadros de iluminação a partir da utilização de programadores horários. Isso só é possível pois foi informado à equipe de projetos que o armazém, objeto do estudo, operava até às 00:00h, retornando a partir das 8:00 horas da manhã.

O fato de poder desligar toda a iluminação durante oito horas por dia já nos dá como economia direta de 30% do consumo do dia. Ou seja:

- Economia:

➤ 0:00 – 08:00h → 240h/mês

Economia mensal:

R\$ 7.109,42

Economia anual:

R\$ 85.313,08

A realização do projeto só seria possível se houvesse modificação nos quadros de iluminação do local. Antes do projeto o quadro contava apenas com um disjuntor principal alimentando o barramento e os disjuntores de cada circuito ligados a ele. Para viabilizar a automação de forma segura para o sistema e de forma a minimizar falha geral, foi decidido que a modificação dividiria os circuitos existentes em uma área em três zonas de comando. Cada zona teria uma defasagem de tempo de desligamento e acionamento na programação para minimizar impactos no sistema e evitar defeito total.

Para a realização de tal projeto seria necessária, então, a instalação de três novos disjuntores alimentados pelo primeiro disjuntor e conectá-los à contadoras comandadas por CLP para acionamento temporizado de cada zona de comando (conforme mostra a figura 26). O CLP necessitaria de um painel *view* instalado na face externa da porta do quadro para não haver necessidade de abertura do mesmo para programação (conforme mostra a figura 27).

A partir das necessidades de projeto levantadas, foram adquiridos os seguintes materiais para a confecção do quadro auxiliar que viabilizaria a automação da iluminação do armazém:

- Descrição do material:
 - Painel AGB de 2200x400x400 mm;
 - Chave seccionadora tripolar 25 A;
 - Disjuntor termomagnético tripolar 1.6-2.5 A;
 - Disjuntor termomagnético monopolar 2 A;
 - Disjuntor diferencial residual;
 - Transformador monofásico, isolamento a seco, 400VA, tensão primária 440/220 V, tensão secundária: 110V;
 - Contator trip, tesys D 80A 1NA+1NF 110VCA;
 - Disjuntor C120N 3P curva C 100 A;
 - Contato auxiliar ACTI9 IOF/SD+OF 1NA/NF + 1NA/NF 240-415 VCA 24-130 VDC para C60;
 - Contato auxiliar ACTI9 IOF/SD+OF 1NA/NF + 1NA/NF 240-415 VCA 24-130 VDC para IC60;
 - Painel view C300 monocromático;

- Fonte de alimentação 24 Vcc5 A;
- Bloco distribuição Tetraf BD;
- Módulo de comunicação micrologix 100/240 V AC.



Figura 26: Painel auxiliar com visão dos componentes internos.



Figura 27: Painel auxiliar com visão dos componentes externos.

- Custo:

- Custo do material: R\$ 30.350,00
- Custo da mão-de-obra: R\$ 17.000,00

Custo total:
R\$ 47.350,00

- Retorno do investimento:

$$R = \frac{\textit{Investimento}}{\textit{Economia}} \cdot 12 \textit{meses}$$

$$R = \frac{47350}{85313} \cdot 12 = 6,7$$

Aproximadamente sete meses.

Por ser o projeto que mexe menos na estrutura física do armazém e ao mesmo tempo proporciona ganhos substanciais retornando o investimento em curto prazo o projeto foi aprovado e executado com sucesso. Hoje a fábrica é uma das mais eficientes em energia no mundo quando comparada às fábricas “irmãs” por conta dessa e outras ações sobre eficiência energética aplicada em iluminação. No ano de 2012 a fábrica gastou R\$ 6.840.000,00 em energia elétrica. O projeto pelo qual a equipe de direção fabril adotou proporcionará 1,2% de economia total, baseado nos valores de 2011. A fábrica recebeu como meta a redução anual na ordem de 4%, sendo assim o projeto contribuirá fortemente para este alvo.

Cabe citar que a melhor estratégia seria a junção da primeira opção (telhas translúcidas) com a terceira opção (automação) que traria economias durante o dia e durante a madrugada. Com isso a economia gerada viria a ser na ordem de 60%, e a empresa não só lucraria com o fato de adotá-las, mas também contribuiria ainda mais com utilização de recurso natural renovável. Ou seja, a opção pela aplicação de telhas translúcidas seria uma opção sustentável.

Portanto, a empresa decidiu adotar no momento somente a opção de automatizar o quadro de iluminação e a mesma já se encontra em atividade no armazém de estoque de pneus, proporcionando a redução de 30% do consumo anual em relação ao consumo anterior.

Capítulo 4 – Conclusão

O presente trabalho deixou evidente, de modo inicial, a importância crescente que vem sendo atribuída ao campo da eficiência energética no mundo. Tornou-se claro que vem sendo realizados, com variedade, projetos de incentivo por governos traçando metas de redução de consumo com prazos pré-definidos e incentivando projetos de pesquisa e desenvolvimento.

O estudo de técnicas de iluminação é uma das maneiras de atuação no vasto campo da eficiência energética e, no presente trabalho houve exposição suficiente do assunto para que o leitor possa desenvolver projetos objetivos em eficiência ou até mesmo um simples projeto de iluminação para um posto de trabalho.




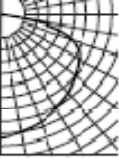

Como aplicação prática foi apresentado um projeto dividido em quatro partes com verificação da instalação inicial e três opções alternativas para reduzir o consumo de energia. A partir dos cálculos apresentados houve exposição de custos de investimento e o retorno do investimento. A melhor aplicação, entre os projetos apresentados, seria a junção da opção de telhas translúcidas associada à automação para desligamento automático durante a madrugada. Caso ambas fossem adotadas a economia em relação ao que gasto atualmente chegaria na ordem de 60%.


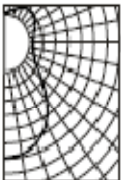
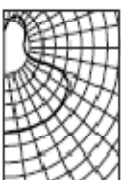
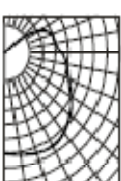
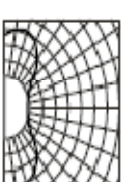
O uso da Luminotécnica para a redução de consumo de energia não é algo novo, mas não é aproveitado como poderia ser. No caso de novas construções (novos galpões industriais inclusive) é imperativo que haja a conscientização quanto à sustentabilidade e a economia que pode ser gerada para o futuro da instalação. Dimensionar o justo necessário visando ao menos a utilização de luz natural nos ambientes e a carga térmica adequada.

Portanto, é possível trabalhar em iluminação de forma alternativa na redução de consumo específico de energia elétrica em qualquer indústria. Os próximos passos em direção à otimização do uso de energia elétrica em iluminação artificial são os estudos com fibra ótica e LED. Os custos ainda são elevados em alguns casos porém o estudo dos materiais propiciará cada vez mais a redução dos custos de fabricação e viabilizará a utilização em larga escala.


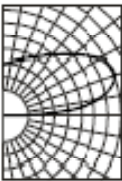
A energia, de modo geral, tende ficar mais cara a cada dia. Trabalhar com eficiência energética é trabalhar pela longevidade do negócio e pela preservação da vida.

Anexo A – Tabela de eficiência do recinto

Luminária	Refletâncias														
	Teto	ρ_1	0,8			0,5			0,8			0,5			0,3
	Parede	ρ_2	0,3	0,5	0,3	0,5	0,3	0,8	0,5	0,3	0,5	0,3	0,3		
	Piso	ρ_3	0,3						0,1						
Índice do Recinto	K														
A 1		0,6	0,80	0,55	0,54	0,60	0,55	0,61	0,58	0,78	0,68	0,56	0,68		
		0,8	0,59	0,64	0,64	0,70	0,65	0,70	0,65	0,67	0,72	0,66	0,75		
		1	0,75	0,70	0,70	0,76	0,71	0,77	0,71	0,63	0,79	0,72	0,80		
		1,25	0,31	0,76	0,75	0,82	0,77	0,83	0,73	0,87	0,86	0,78	0,84		
		1,5	0,34	0,79	0,79	0,86	0,81	0,87	0,82	0,89	0,80	0,83	0,87		
		2	0,38	0,85	0,84	0,91	0,86	0,93	0,83	1,02	0,87	0,90	0,90		
		2,5	0,92	0,88	0,87	0,94	0,90	0,97	0,92	1,04	1,02	0,96	0,93		
		3	0,94	0,91	0,90	0,97	0,93	1,00	0,95	1,05	1,06	1,00	0,95		
		4	0,97	0,93	0,94	0,99	0,97	1,04	1,00	1,08	1,11	1,05	0,97		
		5	0,99	0,96	0,95	1,00	0,96	1,06	1,02	1,06	1,14	1,09	0,98		
A 1.1		0,6	0,93	0,74	0,70	0,74	0,69	0,89	0,73	0,70	0,72	0,68	0,82		
		0,8	1,01	0,82	0,77	0,81	0,76	0,91	0,73	0,77	0,80	0,76	0,93		
		1	1,05	0,88	0,82	0,86	0,82	0,98	0,83	0,82	0,84	0,81	1,00		
		1,25	1,10	0,93	0,88	0,91	0,87	1,01	0,90	0,86	0,88	0,85	1,06		
		1,5	1,13	0,97	0,92	0,94	0,90	1,03	0,93	0,89	0,92	0,88	1,09		
		2	1,17	1,03	0,97	0,99	0,95	1,05	0,87	0,93	0,95	0,92	1,14		
		2,5	1,20	1,07	1,01	1,03	0,96	1,05	0,99	0,96	0,97	0,94	1,17		
		3	1,21	1,10	1,05	1,05	1,00	1,06	1,00	0,98	0,98	0,96	1,20		
		4	1,24	1,15	1,10	1,08	1,03	1,06	1,02	1,00	1,00	0,98	1,23		
		5	1,25	1,17	1,13	1,10	1,06	1,07	1,03	1,01	1,01	0,99	1,24		
A 1.2		0,6	0,72	0,48	0,42	0,47	0,42	0,88	0,47	0,41	0,47	0,41	0,40		
		0,8	0,85	0,61	0,54	0,59	0,53	0,80	0,59	0,53	0,58	0,52	0,52		
		1	0,94	0,69	0,62	0,67	0,61	0,87	0,67	0,61	0,65	0,60	0,59		
		1,25	1,01	0,78	0,71	0,75	0,69	0,92	0,75	0,68	0,73	0,68	0,66		
		1,5	1,05	0,83	0,75	0,80	0,74	0,96	0,80	0,73	0,77	0,72	0,71		
		2	1,11	0,91	0,84	0,87	0,81	1,00	0,88	0,80	0,84	0,79	0,78		
		2,5	1,15	0,97	0,90	0,92	0,87	1,02	0,91	0,85	0,88	0,83	0,82		
		3	1,18	1,02	0,96	0,96	0,91	1,04	0,94	0,89	0,91	0,87	0,86		
		4	1,21	1,09	1,02	1,02	0,96	1,05	0,97	0,94	0,95	0,91	0,90		
		5	1,23	1,12	1,06	1,04	1,00	1,06	1,00	0,96	0,97	0,94	0,92		
A 2		0,6	0,83	0,39	0,33	0,39	0,33	0,61	0,38	0,34	0,37	0,33	0,32		
		0,8	0,78	0,53	0,45	0,51	0,45	0,74	0,51	0,45	0,50	0,45	0,44		
		1	0,98	0,62	0,54	0,60	0,54	0,82	0,60	0,53	0,58	0,53	0,52		
		1,25	0,95	0,71	0,63	0,68	0,62	0,88	0,63	0,62	0,66	0,60	0,60		
		1,5	1,02	0,78	0,70	0,76	0,69	0,93	0,75	0,68	0,72	0,68	0,66		
		2	1,10	0,89	0,81	0,85	0,76	0,98	0,83	0,77	0,80	0,77	0,74		
		2,5	1,14	0,96	0,88	0,91	0,85	1,01	0,89	0,83	0,85	0,82	0,80		
		3	1,17	1,01	0,94	0,95	0,89	1,03	0,92	0,87	0,88	0,86	0,84		
		4	1,21	1,07	1,01	1,00	0,95	1,04	0,96	0,92	0,93	0,90	0,89		
		5	1,23	1,12	1,06	1,03	0,96	1,05	0,99	0,95	0,96	0,93	0,92		
A 2.1		0,6	0,31	0,36	0,29	0,35	0,29	0,58	0,33	0,29	0,35	0,29	0,28		
		0,8	0,74	0,47	0,39	0,45	0,36	0,69	0,46	0,39	0,45	0,38	0,37		
		1	0,82	0,55	0,46	0,52	0,45	0,77	0,53	0,45	0,51	0,44	0,45		
		1,25	0,90	0,63	0,54	0,61	0,53	0,82	0,61	0,53	0,59	0,53	0,51		
		1,5	0,95	0,69	0,60	0,66	0,59	0,87	0,67	0,59	0,64	0,57	0,56		
		2	1,02	0,79	0,70	0,75	0,66	0,92	0,75	0,67	0,72	0,65	0,64		
		2,5	1,08	0,87	0,78	0,81	0,74	0,96	0,81	0,73	0,77	0,72	0,70		
		3	1,13	0,93	0,84	0,86	0,79	0,99	0,85	0,78	0,81	0,78	0,75		
		4	1,17	1,01	0,92	0,94	0,87	1,02	0,90	0,85	0,88	0,83	0,81		
		5	1,18	1,04	0,96	0,95	0,90	1,02	0,93	0,87	0,89	0,85	0,83		

Luminária	Refletâncias												
	Teto	ρ_1	0,8			0,5		0,8			0,5		0,3
	Parede	ρ_2	0,8	0,5	0,3	0,5	0,3	0,8	0,5	0,3	0,5	0,3	0,3
	Piso	ρ_3	0,3					0,1					
Índice do Recinto	K												
A 3		0,6	0,51	0,23	0,17	0,24	0,16	0,48	0,23	0,18	0,22	0,16	0,16
		0,8	0,65	0,36	0,27	0,36	0,28	0,61	0,34	0,28	0,34	0,28	0,26
		1	0,76	0,47	0,36	0,45	0,37	0,70	0,44	0,37	0,42	0,36	0,35
		1,25	0,87	0,57	0,48	0,54	0,46	0,80	0,55	0,47	0,52	0,45	0,44
		1,5	0,95	0,66	0,56	0,62	0,55	0,86	0,64	0,55	0,60	0,53	0,52
		2	1,05	0,79	0,69	0,75	0,67	0,94	0,75	0,68	0,72	0,66	0,64
		2,5	1,11	0,88	0,79	0,83	0,76	0,99	0,82	0,76	0,79	0,74	0,72
		3	1,15	0,94	0,86	0,89	0,82	1,02	0,87	0,81	0,83	0,78	0,77
		4	1,20	1,03	0,95	0,95	0,89	1,04	0,93	0,88	0,89	0,85	0,84
		5	1,23	1,09	1,01	1,00	0,94	1,05	0,96	0,92	0,92	0,88	0,88
B 2		0,6	0,51	0,30	0,22	0,26	0,21	0,48	0,29	0,23	0,26	0,21	0,20
		0,8	0,62	0,36	0,29	0,34	0,27	0,58	0,35	0,30	0,33	0,27	0,26
		1	0,70	0,43	0,35	0,39	0,32	0,64	0,41	0,35	0,38	0,31	0,30
		1,25	0,76	0,50	0,41	0,44	0,37	0,70	0,48	0,40	0,43	0,36	0,34
		1,5	0,82	0,56	0,47	0,48	0,42	0,74	0,54	0,45	0,47	0,40	0,37
		2	0,89	0,65	0,56	0,55	0,48	0,79	0,61	0,54	0,53	0,47	0,42
		2,5	0,95	0,72	0,62	0,60	0,53	0,83	0,67	0,60	0,57	0,51	0,46
		3	0,99	0,77	0,68	0,64	0,57	0,85	0,71	0,65	0,60	0,55	0,50
		4	1,04	0,86	0,77	0,70	0,63	0,87	0,78	0,71	0,65	0,60	0,55
		5	1,07	0,91	0,84	0,73	0,67	0,90	0,80	0,75	0,68	0,64	0,58
B 3		0,6	0,53	0,27	0,22	0,27	0,21	0,51	0,27	0,22	0,26	0,21	0,20
		0,8	0,66	0,39	0,32	0,36	0,30	0,62	0,38	0,31	0,35	0,29	0,28
		1	0,75	0,47	0,39	0,43	0,36	0,69	0,46	0,38	0,42	0,30	0,34
		1,25	0,82	0,55	0,46	0,50	0,43	0,75	0,53	0,45	0,48	0,42	0,40
		1,5	0,88	0,61	0,52	0,55	0,49	0,80	0,59	0,51	0,54	0,47	0,45
		2	0,96	0,72	0,63	0,64	0,58	0,86	0,67	0,60	0,61	0,56	0,52
		2,5	1,02	0,80	0,71	0,70	0,64	0,90	0,73	0,67	0,66	0,61	0,57
		3	1,05	0,85	0,76	0,74	0,68	0,92	0,77	0,71	0,69	0,65	0,60
		4	1,09	0,92	0,84	0,79	0,74	0,94	0,83	0,77	0,74	0,70	0,65
		5	1,12	0,97	0,89	0,83	0,78	0,96	0,86	0,81	0,76	0,73	0,68
B 4		0,6	0,51	0,25	0,18	0,24	0,18	0,48	0,25	0,19	0,23	0,18	0,17
		0,8	0,62	0,34	0,26	0,32	0,25	0,58	0,33	0,26	0,31	0,25	0,24
		1	0,71	0,41	0,32	0,38	0,31	0,64	0,40	0,32	0,37	0,30	0,29
		1,25	0,78	0,48	0,39	0,44	0,37	0,71	0,47	0,39	0,43	0,35	0,34
		1,5	0,83	0,54	0,45	0,49	0,41	0,75	0,53	0,44	0,47	0,40	0,38
		2	0,91	0,64	0,54	0,57	0,49	0,81	0,60	0,52	0,55	0,47	0,45
		2,5	0,96	0,72	0,61	0,63	0,55	0,85	0,66	0,59	0,59	0,53	0,49
		3	0,99	0,77	0,67	0,67	0,59	0,88	0,70	0,63	0,63	0,57	0,52
		4	1,04	0,85	0,75	0,72	0,66	0,91	0,77	0,69	0,67	0,62	0,57
		5	1,07	0,90	0,81	0,76	0,70	0,92	0,80	0,73	0,70	0,66	0,60
C 2		0,6	0,51	0,27	0,21	0,23	0,18	0,48	0,27	0,20	0,23	0,19	0,18
		0,8	0,62	0,36	0,29	0,32	0,26	0,58	0,34	0,28	0,31	0,26	0,24
		1	0,70	0,44	0,35	0,38	0,32	0,64	0,41	0,34	0,37	0,31	0,28
		1,25	0,77	0,50	0,41	0,43	0,37	0,70	0,48	0,41	0,42	0,36	0,33
		1,5	0,83	0,56	0,47	0,47	0,41	0,75	0,54	0,46	0,46	0,40	0,36
		2	0,91	0,66	0,57	0,55	0,48	0,80	0,62	0,55	0,53	0,46	0,41
		2,5	0,96	0,74	0,64	0,60	0,54	0,84	0,66	0,61	0,57	0,51	0,46
		3	0,99	0,79	0,69	0,63	0,58	0,87	0,72	0,66	0,60	0,55	0,49
		4	1,04	0,87	0,78	0,69	0,64	0,90	0,78	0,72	0,64	0,60	0,53
		5	1,07	0,92	0,84	0,72	0,67	0,91	0,80	0,76	0,67	0,63	0,55

Luminária	Refletâncias												
	Teto	ρ_1	0,8			0,5		0,8			0,5		0,3
Parede	ρ_2	0,8	0,5	0,3	0,5	0,3	0,8	0,5	0,3	0,5	0,3	0,3	
Piso	ρ_3	0,3					0,1						
Índice do Recinto	K												
C 3		0,6	0,47	0,21	0,14	0,20	0,13	0,46	0,20	0,15	0,19	0,14	0,13
		0,8	0,58	0,30	0,22	0,27	0,21	0,55	0,29	0,22	0,28	0,20	0,19
		1	0,66	0,37	0,28	0,32	0,26	0,61	0,36	0,27	0,32	0,24	0,23
		1,25	0,73	0,43	0,33	0,38	0,30	0,67	0,42	0,33	0,36	0,29	0,27
		1,5	0,78	0,49	0,39	0,43	0,35	0,71	0,47	0,38	0,41	0,33	0,31
		2	0,87	0,80	0,49	0,51	0,43	0,77	0,56	0,47	0,49	0,41	0,37
		2,5	0,92	0,68	0,57	0,56	0,49	0,81	0,61	0,54	0,54	0,46	0,42
		3	0,96	0,74	0,63	0,60	0,53	0,85	0,66	0,59	0,57	0,50	0,46
		4	1,01	0,82	0,72	0,66	0,60	0,88	0,72	0,63	0,62	0,56	0,51
		5	1,05	0,87	0,78	0,70	0,64	0,90	0,77	0,70	0,65	0,60	0,54
C 4		0,6	0,47	0,21	0,14	0,19	0,14	0,45	0,20	0,13	0,19	0,14	0,14
		0,8	0,57	0,30	0,21	0,26	0,20	0,55	0,29	0,22	0,25	0,19	0,18
		1	0,65	0,36	0,27	0,31	0,24	0,61	0,35	0,27	0,30	0,23	0,21
		1,25	0,72	0,42	0,32	0,36	0,29	0,67	0,41	0,32	0,35	0,28	0,25
		1,5	0,77	0,48	0,37	0,40	0,33	0,71	0,46	0,38	0,39	0,32	0,28
		2	0,85	0,58	0,46	0,47	0,39	0,77	0,54	0,45	0,46	0,38	0,33
		2,5	0,90	0,65	0,54	0,53	0,45	0,81	0,60	0,51	0,50	0,43	0,38
		3	0,94	0,71	0,60	0,57	0,50	0,84	0,65	0,58	0,53	0,47	0,41
		4	0,99	0,79	0,70	0,63	0,56	0,87	0,71	0,64	0,58	0,53	0,46
		5	1,02	0,84	0,75	0,66	0,60	0,90	0,75	0,68	0,62	0,56	0,49
D 2		0,6	0,47	0,20	0,14	0,17	0,12	0,42	0,20	0,15	0,17	0,12	0,11
		0,8	0,55	0,28	0,21	0,24	0,18	0,52	0,27	0,21	0,24	0,18	0,16
		1	0,63	0,36	0,27	0,29	0,23	0,59	0,34	0,27	0,29	0,22	0,20
		1,25	0,70	0,43	0,33	0,34	0,28	0,65	0,41	0,33	0,33	0,27	0,24
		1,5	0,76	0,49	0,39	0,39	0,32	0,69	0,47	0,39	0,37	0,31	0,27
		2	0,84	0,59	0,49	0,46	0,39	0,74	0,55	0,43	0,44	0,37	0,31
		2,5	0,90	0,67	0,57	0,51	0,44	0,78	0,61	0,54	0,48	0,42	0,35
		3	0,93	0,72	0,63	0,55	0,49	0,82	0,65	0,59	0,51	0,46	0,39
		4	0,99	0,81	0,72	0,60	0,54	0,85	0,72	0,63	0,55	0,51	0,43
		5	1,02	0,86	0,78	0,63	0,58	0,87	0,76	0,70	0,58	0,54	0,45
D 3		0,6	0,44	0,19	0,13	0,17	0,11	0,42	0,19	0,14	0,16	0,12	0,10
		0,8	0,55	0,27	0,19	0,23	0,17	0,51	0,26	0,20	0,22	0,16	0,15
		1	0,63	0,34	0,25	0,28	0,22	0,58	0,33	0,25	0,27	0,21	0,18
		1,25	0,69	0,42	0,32	0,33	0,26	0,64	0,40	0,32	0,32	0,26	0,22
		1,5	0,75	0,48	0,38	0,37	0,31	0,68	0,46	0,37	0,36	0,30	0,25
		2	0,82	0,58	0,48	0,44	0,38	0,74	0,54	0,43	0,42	0,36	0,30
		2,5	0,88	0,66	0,56	0,49	0,44	0,78	0,60	0,53	0,46	0,41	0,34
		3	0,92	0,72	0,62	0,53	0,48	0,81	0,64	0,59	0,50	0,45	0,38
		4	0,97	0,80	0,71	0,58	0,53	0,84	0,71	0,65	0,54	0,50	0,40
		5	1,00	0,85	0,77	0,61	0,57	0,85	0,75	0,69	0,57	0,53	0,42
D 4		0,6	0,43	0,17	0,12	0,16	0,095	0,41	0,17	0,12	0,15	0,10	0,095
		0,8	0,53	0,25	0,17	0,21	0,14	0,49	0,24	0,17	0,20	0,14	0,13
		1	0,61	0,31	0,22	0,25	0,19	0,56	0,30	0,21	0,24	0,17	0,16
		1,25	0,68	0,38	0,28	0,30	0,23	0,61	0,36	0,27	0,29	0,22	0,19
		1,5	0,72	0,43	0,33	0,34	0,27	0,65	0,41	0,32	0,33	0,26	0,22
		2	0,80	0,53	0,42	0,41	0,34	0,71	0,50	0,41	0,40	0,33	0,27
		2,5	0,86	0,61	0,50	0,46	0,39	0,76	0,56	0,43	0,44	0,38	0,31
		3	0,90	0,67	0,56	0,50	0,43	0,79	0,61	0,53	0,48	0,42	0,34
		4	0,96	0,75	0,65	0,56	0,49	0,82	0,68	0,60	0,52	0,47	0,38
		5	0,99	0,81	0,72	0,59	0,53	0,84	0,71	0,65	0,55	0,51	0,41

Luminária	Refletâncias												
	Teto	ρ_1	0,6			0,5		0,8			0,5		0,3
	Parede	ρ_2	0,8	0,5	0,3	0,5	0,3	0,8	0,5	0,3	0,5	0,3	0,3
	Piso	ρ_3	0,3					0,1					
Índice do Recinto		K											
E2		0,8	0,39	0,15	0,095	0,11	0,06	0,34	0,15	0,10	0,12	0,08	0,05
		0,8	0,48	0,21	0,14	0,15	0,095	0,44	0,21	0,14	0,16	0,10	0,085
		1	0,56	0,28	0,20	0,18	0,13	0,51	0,27	0,19	0,19	0,13	0,085
		1,25	0,62	0,35	0,26	0,22	0,17	0,57	0,33	0,25	0,22	0,16	0,11
		1,5	0,68	0,41	0,31	0,26	0,20	0,62	0,39	0,30	0,25	0,19	0,13
		2	0,76	0,51	0,41	0,32	0,26	0,68	0,48	0,40	0,30	0,25	0,16
		2,5	0,81	0,59	0,49	0,36	0,31	0,72	0,54	0,47	0,34	0,29	0,18
		3	0,85	0,65	0,55	0,39	0,34	0,75	0,58	0,52	0,37	0,32	0,20
		4	0,90	0,72	0,64	0,43	0,39	0,77	0,64	0,58	0,40	0,36	0,22
		5	0,93	0,77	0,70	0,45	0,42	0,78	0,68	0,63	0,43	0,39	0,24
E3		0,8	0,41	0,16	0,08	0,13	0,06	0,36	0,14	0,085	0,13	0,06	0,05
		0,8	0,49	0,21	0,12	0,16	0,085	0,44	0,21	0,13	0,15	0,095	0,085
		1	0,55	0,27	0,17	0,19	0,12	0,50	0,26	0,17	0,18	0,12	0,08
		1,25	0,61	0,32	0,23	0,22	0,16	0,56	0,31	0,23	0,21	0,15	0,10
		1,5	0,66	0,38	0,28	0,25	0,19	0,60	0,36	0,28	0,24	0,18	0,12
		2	0,73	0,48	0,37	0,31	0,24	0,66	0,43	0,37	0,29	0,23	0,15
		2,5	0,79	0,56	0,45	0,35	0,28	0,70	0,49	0,43	0,33	0,27	0,17
		3	0,83	0,62	0,52	0,38	0,32	0,72	0,55	0,48	0,35	0,30	0,19
		4	0,88	0,70	0,61	0,42	0,37	0,75	0,62	0,55	0,39	0,35	0,21
		5	0,91	0,75	0,68	0,44	0,40	0,78	0,68	0,60	0,42	0,38	0,23

Anexo B – Tabela de Eficiência Aproximada das Luminárias

Luminárias abertas com lâmpadas nuas	0,9
Luminárias com refletor ou embutidas abertas	0,7
Luminárias com refletor e lamelas de alta eficiência	0,7
Luminárias com refletor ou embutidas com lamelas	0,6
Luminárias tipo "plafond" com acrílico anti-ofuscante	0,6
Luminárias de embutir com acrílico anti-ofuscante	0,5

Anexo C – Tabela de tipo de luminária e fator de depreciação

Tipo de Aparelho	F _d
Aparelhos para embutir lâmpadas incandescentes	0,85
Aparelhos para embutir lâmpadas refletoras	
Calha aberta e chanfrada	0,8
Refletor industrial para lâmpadas incandescentes	
Luminária comercial	0,75
Luminária ampla utilizada em linhas contínuas	
Refletor parabólico para duas lâmpadas incandescentes	0,7
Refletor industrial para lâmpada VM	
Aparelho para lâmpada incandescente para iluminação indireta	
Luminária industrial tipo Miller	
Luminária com difusor de acrílico	
Globo de vidro fechado para lâmpada incandescente	
Refletor com difusor plástico	0,6
Luminária comercial para lâmpada high output colméia	
Luminária para lâmpada fluorescente para iluminação indireta	

Anexo D – Tabela de iluminância por classe de tarefas visuais

Classe	Iluminância (lux)	Tipo de atividade
A Iluminação geral para áreas usadas intermitentemente ou com tarefas visuais simples	20 – 30 – 50	Áreas públicas com arredores escuros
	50 – 75 – 100	Orientação simples para permanência curta
	100 – 150 – 200	Recintos não usados para trabalho contínuo; depósitos
	200 – 300 – 500	Tarefas com requisitos visuais limitados, trabalho bruto de maquinaria, auditórios
B Iluminação geral para área de trabalho	500 – 750 – 1000	Tarefas com requisitos visuais normais, trabalho médio de maquinaria, escritórios
	1000 – 1500 – 2000	Tarefas com requisitos especiais, gravação manual, inspeção, indústria de roupas
C Iluminação adicional para tarefas visuais difíceis	2000 – 3000 – 5000	Tarefas visuais exatas e prolongadas, eletrônica de tamanho pequeno
	5000 – 7500 – 10000	Tarefas visuais muito exatas, montagem de microeletrônica
	10000 – 15000 – 20000	Tarefas visuais muito especiais, cirurgia

Referências Bibliográficas

[1] BAJAY, S.V. *et al.* **Caracterização energética dos setores industriais**: relatório técnico do projeto versando sobre “análise e desenvolvimento de metodologia visando a implementação de projetos de eficiência energética na indústria”. CNI, Campinas; Universidade Estadual de Campinas, 2008.

[2] BAJAY, Sérgio Valdir. **Oportunidades de eficiência energética para a indústria**: experiências internacionais em eficiência energética para a indústria / Sérgio Valdir Bajay, Paulo Henrique de Mello Sant Ana, – CNI, Brasília, 2010.

[3] BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanco Energético nacional**, Resultados preliminares. Ano base 2011. Disponível em: <https://den.epe.gov.br>. Acesso em: 28 ago. 2013.

[4] BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Eficiência energética. Premissas e Diretrizes Básicas na Elaboração do Plano**. Disponível em: [http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/noticias/2010/PNEf -
Premissas e Dir. Basicas.pdf](http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/noticias/2010/PNEf-_Premissas_e_Dir._Basicas.pdf). Acesso em: 28 ago. 2013.

[5] COSTA, José Corrêa da Costa., 1998, **Iluminação Econômica - Cálculo e Avaliação**. EDIPUCRS.

[6] CREDER, Hélio. **Instalações Elétricas**. 15ª ed. Rio de Janeiro. LTC, 2013.

[7] ENERGY EFFICIENCY OPPORTUNITIES.

Disponível em: <http://energyefficiencyopportunities.gov.au/>. Acesso em: 28 ago. 2013.

[8] ENERGY PROFILE TOOL.

Disponível em: <http://www.energyprofiletool.com/xcelenergy/>, Acesso em: 28 ago. 2013.

[9] GERMANY.FEDERAL MINISTRY FOR THE ENVIRONMENT, NATURE CONSERVATION AND NUCLEAR SAFETY.**National Allocation Plan for the Federal Republic of Germany**2005 – 2007. Disponível em:

http://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Bilder_Unterseiten/Themen/Klima_Energie/Klimaschutz/Emissionshandel/nap_kabi_en.pdf. Acesso em: 28 ago. 2013.

[10] MANAGENERGY. Disponível em: <<http://www.managenergy.net/index.html>> acesso em: março de 2013.

[11] MARTINS, A. R. S. *et al.* **Eficiência energética: integrando usos e reduzindo desperdícios**. Brasília: ANEEL/ANP, 1999.

[12] MCKANE, Aimee.**Industrial energy management: issues paper**.Prepared for Expert Group Meeting: using Energy Management Standards to stimulate persistent application of Energy Efficiency in IndustryVienna, Áustria, 21-22, 2007.Disponível em:http://www.unido.org/fileadmin/import/63563_EM_Issues_Paper031207.pdf.

Acesso em: 28 ago. 2013.

[13] MOTOR-CHALLENGE. Disponível em: <<http://www.motor-challenge.eu>>. Acesso em: dez. 2012.

[14] NBR 5413:1992.**Iluminação de interiores**. Associação Brasileira de Normas Técnicas.

[15] ODYSSEE. Disponível em: <<http://www.odyssee-indicators.org>>. Acesso em: ago. 2013.

[16] OSRAM.**Manual Luminotécnico Prático**.

Disponível em <http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Livros/ManualOsram.pdf>. acesso em março de 2013.

[17] PROCEL (1).**Novas tecnologias para Processos Industriais: Eficiência energética na indústria**.

Disponível em:<http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/noticias/2010/PNEf_-_Premissas_e_Dir_Basicas.pdf>, acesso em março de 2013.

[18] PROCEL (2). **Experiências Internacionais em Eficiência Energética para a Indústria.**

Disponível em:

http://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&ved=0CDoQFjAC&url=http%3A%2F%2Fwww.cni.org.br%2Fportal%2Fflumis%2Fportal%2Ffile%2FfileDownload.jsp%3FfileId%3DDFF8080812C8533A0012C988A67675A74&ei=6o8gUqa-Ao-p4A0Oy4D4Dg&usq=AFQjCNEYnJ8vO_ovhTjCnZw8WtNTpHOITg&sig2=O602FAzRRESGdi8mEds2wg&bvm=bv.51495398,d.dmg. Acesso em: 28 ago. 2013.

[19] PROMOT. Disponível em: <http://promot.cres.gr/promot_plone>. Acesso em: dez. 2012.

[20] US DEPARTMENT OF ENERGY (DOE). **Industrial Technologies Program**, Improving the Energy *Performance of U.S. Industry*. U.S. Department of Energy.

http://www1.eere.energy.gov/manufacturing/tsh_assistance/pdfs/39156.pdf. Acesso em: 28/08/2013.