

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA

MAYARA CRISTINA GOMES BRANCO

Eficiência Energética em Sistemas de Iluminação –
Estudo de caso na Indústria e Comércio Fox de Reciclagem e
Proteção ao Clima

São Paulo
2015

MAYARA CRISTINA GOMES BRANCO

Eficiência Energética em Sistemas de Iluminação – Estudo de caso
na Indústria e Comércio Fox de Reciclagem e Proteção ao Clima

Monografia apresentada ao Programa
de Educação Continuada da Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de
Especialista em Energias
Renováveis, Geração Distribuída e
Eficiência Energética.

Orientador: Prof. Msc. Eduardo
Yamada

São Paulo
2015

Branco, Mayara Cristina Gomes

Eficiência Energética em Sistemas de Iluminação – Estudo de caso na Indústria e Comércio Fox de Reciclagem e Proteção ao Clima / M. C. G. Branco – São Paulo, 2015.

55 p.

Monografia (Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia.

1.QUALIDADE IUMINAÇÃO 2.FLUORESCENTE 3.LED I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia II.t.

à Deus pela vida e pelas bênçãos alcançadas, aos meus pais Regina e Átila pelo amor incondicional, aos meus amigos e ao meu amor.

BRANCO, M.C.G. **Eficiência Energética em Sistemas de Iluminação – Estudo de Caso na Indústria e Comércio Fox de Reciclagem e Proteção ao Clima**. 2015. 55 p. Trabalho de pós-graduação. (Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética) – Programa de Educação Continuada em Engenharia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

RESUMO

O trabalho apresenta um estudo de caso na Indústria e Comércio Fox de Reciclagem e Proteção ao Clima, com foco principal na análise da qualidade da iluminação oferecida aos ambientes dos setores administrativos da empresa, no que diz respeito em especial a iluminância, seguindo os padrões da norma NBR ISO/CIE 8995-1. No estudo são propostas três alternativas para adequação da iluminação a norma, sendo duas delas mantendo-se a tecnologia atual utilizada, lâmpadas tubulares fluorescentes T8, e a outra se utilizando da tecnologia tubular LED T8. A análise dos ambientes se mostrou satisfatória e os custos associados à substituição de todas as lâmpadas fluorescentes antigas por outras igualmente fluorescentes de mesma tecnologia, porém novas, visando manter a qualidade da iluminação, também se apresentou favorável quando se analisa o custo associado à adequação da iluminação. Item esse, considerado imprescindível. Os resultados obtidos com a tecnologia LED, apesar de satisfatórios, no que diz respeito à qualidade de iluminamento e economia de energia, mostraram-se ainda, com um alto investimento. Obteve-se um *payback* simples de aproximadamente 7 anos, e pela análise do VPL, mesmo considerando-se a vida útil das lâmpadas, o resultado também foi insatisfatório, aproximadamente 23 anos para início da recuperação do investimento aplicado, o que corresponde a quase metade da vida útil das lâmpadas LED.

Palavras Chaves: qualidade iluminação, fluorescente, LED.

BRANCO, M.C.G. Energetic Efficiency in Lighting Systems – Case Study in the Indústria e Comércio Fox de Reciclagem e Proteção ao Clima. 2015. 55 p. Trabalho de pós-graduação. (Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética) – Programa de Educação Continuada em Engenharia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

ABSTRACT

This final project presents a case study in Indústria e Comércio Fox de Reciclagem e Proteção ao Clima with a primary focus on the analysis of lighting quality offered in administrative areas of the company. In particular, the illuminance following the standards NBR ISO 8995-1 is reviewed. In this study three alternatives are proposed to adjust the standard lighting: two of maintaining the current technology used tubular fluorescent lamps T8 and the other using the T8 LED tube technology. Quality of luminance proved satisfactory for all options. However, replacement of all the old fluorescent lamps by a more advanced fluorescent technology leads to an improved quality of lightning at reduced costs. The results obtained for the LED technology show satisfactory results regarding energy-savings and quality. However, significant investment is required for this option leading to an amortization time of approximately 7 years for LED's. For NPV's amortization time is almost half life-time equally to about 23 years.

KEYWORDS: lighting quality, fluorescent, LED.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Lâmpada fluorescente

Figura 3.2 – Reator eletrônico

Figura 3.3 – Esquema lâmpada *versus* starter *versus* reator

Figura 3.4 – Espectro da luz visível em função do comprimento de onda

Figura 3.5 – Tela do programa *Lumisoft*

Figura 4.1 – Fachada Indústria Fox

Figura 4.2 – Logística

Figura 4.3 – Financeiro

Figura 4.4 – (a) Logística configuração atual, (b) Logística configuração proposta

Figura 4.5 - (a) Comercial configuração atual, (b) Comercial configuração proposta

Figura 4.6 - (a) TI configuração atual , (b) TI configuração proposta

Figura 4.7 - (a) RH configuração atual , (b) RH configuração proposta

Figura 4.8 - (a) Financeiro configuração atual , (b) Financeiro configuração proposta

Figura 4.9 - (a) Auditório configuração atual , (b) Auditório configuração proposta

Figura 4.10 – Iluminância Logística (tecnologia LED)

Figura 4.11 – Iluminância Comercial (tecnologia LED)

Figura 4.12 – Iluminância TI (tecnologia LED)

Figura 4.13 – Iluminância Diretoria (tecnologia LED)

Figura 4.14 – Iluminância RH (tecnologia LED)

Figura 4.15 – Iluminância Financeiro (tecnologia LED)

Figura 4.16 – Iluminância Auditório (tecnologia LED)

Figura 4.17 – Iluminância Arquivo Morto (tecnologia LED)

Figura 5.1 – VPL ao longo dos anos

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Níveis de Iluminância no Entorno
Tabela 3.1 – Refletância
Tabela 3.2 – Fator de depreciação
Tabela 4.1 – Dimensões dos ambientes
Tabela 4.2 – Potência Instalada dos Ambientes
Tabela 4.3- Catálogo luminária PHILIPS
Tabela 4.4 – Valores sugeridos de Iluminância
Tabela 4.5 – Ângulo de instalação das luminárias
Tabela 4.6 – Valores atuais de Iluminância
Tabela 4.7 – Valores propostos de Iluminância
Tabela 4.8 – Nova potência instalada dos ambientes
Tabela 4.9- Catálogo luminária 21W LEDtube PERF 1200MM ROT
Tabela 4.10 – Valores de Iluminância – Tecnologia LED
Tabela 4.11 – Potência instalada dos ambientes – Tecnologia LED
Tabela 5.1 – Custos Adequação Iluminação
Tabela 5.2 – Custos Cabos - Adequação
Tabela 5.3 – Resumo Custos - Adequação
Tabela 5.4 – Resumo Custos – Substituição tubular fluorescente
Tabela 5.5 – Custos Iluminação –LED
Tabela 5.6 – Custos adicionais com cabos - LED
Tabela 5.7 – Resumo Custos - LED
Tabela 5.8 – Discriminação Consumo – Tubular Fluorescente
Tabela 5.9 – Gastos Energia – Tubular Fluorescente
Tabela 5.10 – Discriminação Consumo – LED
Tabela 5.11 – Gastos Energia – LED
Tabela 5.12 – Fluxo de Caixa e VPL
Tabela 6.1 – Resumo Iluminância
Tabela 6.2 – Resumo Potência Instalada – Fluorescente versus LED

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1 Objetivos e métodos.....	12
1.2 Estrutura da monografia	12
2. QUALIDADE DA ILUMINAÇÃO – NBR ISO/CIE 8995-1	13
2.1 Ambiente Luminoso.....	13
2.2 Iluminância	13
2.2.1 Iluminância no entorno imediato	14
2.2.2 Uniformidade.....	14
2.3 Aspectos da cor	15
3. LUMINOTÉCNICA	16
3.1 Lâmpadas e Luminárias	16
3.2 Iluminação	16
3.2.1 Iluminação Fluorescente	16
3.2.2 Iluminação de Estado Sólido – LED.....	18
3.3 Grandezas e Fundamentos Luminotécnicos.....	19
3.3.1 Luz.....	19
3.3.2 Cor	19
3.3.3 Intensidade Luminosa.....	19
3.3.4 Fluxo Luminoso.....	20
3.3.5 Iluminância	20
3.3.6 Luminância.....	20
3.3.7 Eficiência Luminosa	20
3.4 Cálculo de Iluminação – Método dos Lúmens.....	20
3.4.1 Seleção da Iluminância	21
3.4.2 Escolha da Luminária	21
3.4.3 Determinação do índice do local.....	21
3.4.4 Determinação do Coeficiente de Utilização	21
3.4.5 Determinação do Fator de Depreciação.....	22
3.4.6 Fluxo Total, Luminárias e Espaçamentos.....	22
3.5 Programa <i>Lumisoft</i>	23

4. ESTUDO DE CASO.....	25
4.1 Aspectos Gerais da Planta Atual	25
4.1.1 Premissas adotadas	26
4.2 Potência da Iluminação Instalada e Características - Administrativo.....	26
4.3 Proposta de Adequação Iluminação – Tecnologia Tubular Fluorescente	28
4.4 Proposta Iluminação LED	36
5. ANÁLISE ECONÔMICA DAS PROPOSTAS	42
5.1 Proposta de Adequação Iluminação – Tecnologia Tubular Fluorescente	42
5.1.1 Proposta de Substituição toda Iluminação – Tecnologia Tubular Fluorescente.....	44
5.3 Proposta Iluminação LED.....	44
6. ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	51
7. CONCLUSÃO	53
REFERÊNCIAS	54

1. INTRODUÇÃO

O crescimento da população mundial e o desenvolvimento tecnológico contínuo exigem uma demanda de energia cada vez maior. Desde o século passado, os principais atores no cenário energético mundial são os combustíveis fósseis, fontes não renováveis, e que em um futuro não muito distante, serão incapazes de suprir essa necessidade energética.

O ano de 2015 está sendo marcado pelas constantes alterações nos valores tarifários da energia elétrica no Brasil. Essas novas bandeiras tarifárias são caracterizadas por transferir de imediato para as contas de energia os custos com a geração térmica. O chamado “realismo tarifário” consiste não só na cobrança de despesas praticamente “em tempo real”, mas também em uma compensação para as empresas do setor pelas perdas dos últimos anos (AMBIENTE ENERGIA, 2015).

A participação das edificações no consumo total de energia elétrica no Brasil vem crescendo ao longo do tempo devido ao acesso cada vez maior da população aos benefícios das novas tecnologias. Nos edifícios de escritórios, os principais fatores que estão associados ao consumo de energia elétrica são: iluminação, condicionamento de ar e equipamentos tais quais: microcomputadores, impressoras e refrigeradores (DIDONÉ, 2009).

No setor comercial alimentado por alta tensão, por exemplo, o ar condicionado representa 47% do total de consumo da energia média nacional, enquanto que a iluminação representa 22%. Importante destacar que em uma indústria, a grande parcela de energia consumida provém das máquinas e motores (ELETROBRAS PROCEL, 2013).

Dentro do contexto atual energético brasileiro a adoção de estratégias para a diminuição do consumo de energia é algo relevante e de grande importância nas empresas, tanto no aspecto financeiro quanto no que diz respeito a iniciativas que oferecem no mínimo notoriedade as políticas ambientais adotadas pela organização.

Em se tratando de sistemas de iluminação muito se tem falado na tecnologia LED (*light emitting diode*, diodo emissor de luz). Essa tecnologia é bem diferente das demais, sendo o material utilizado na fabricação deste, um semicondutor, mesma tecnologia utilizada em chips de computadores. Uma pequena corrente elétrica que circula neste circuito, faz com que o mesmo imita luz.

Com exceção do LED, todas as lâmpadas do mercado emitem raios ultravioletas e infravermelhos. Por este motivo, o LED pode ser utilizado em iluminação de destaque, pois

não danifica roupas, obras de arte, planas e demais objetos. Além disso, reduz impactos causados a camada de ozônio e não prejudica a saúde dos que estão expostos a ele (SANTOS, 2012).

Há alguns poucos anos os LED's eram apenas uma promessa como tantas outras que surgiram no mercado de iluminação. No entanto, desde então, sua tecnologia é desenvolvida continuamente e vários fabricantes já oferecem aos clientes opções de iluminação com LED para todas as aplicações usuais, seja na área residencial, comercial, entretenimento, iluminação pública e monumentos. A cada ano, novas conquistas são anunciadas em termos de produtos e sistemas a base de LED's, confirmando o prognóstico de que os LED's são as fontes de luz que dominarão o mercado de iluminação num futuro cada vez mais próximo.

Paralelo às boas práticas energéticas, no que diz respeito ainda à iluminação de ambientes, destaca-se também a qualidade de iluminação do ambiente de trabalho, permitindo que as pessoas vejam, se movam com segurança, sem causar fadiga visual e desconforto. Uma boa iluminação requer igual atenção tanto para a quantidade quanto qualidade da iluminação (ABNT, 2013).

A Indústria Fox de Reciclagem e Proteção ao Clima LTDA, é uma empresa com sede em Cabreúva/SP, fundada em 2009 e que oferece serviços voltados à área de eficiência energética. Atua fortemente junto as concessionárias em projetos de eficiência energética promovida pela ANEEL, com destaque ao de substituição de refrigeradores menos eficientes em comunidades baixa renda, por outros mais eficientes. Sendo responsável pela logística reversa e manufatura reversa do material coletado, inclusive destinação correta dos gases do efeito estufa resultante desse processo. A empresa, tão fortemente engajada a área de eficiência energética, considera como relevante e pertinente um estudo, restrito inicialmente ao setor administrativo, associado à análise da qualidade da iluminação oferecida a sua equipe, paralelamente a implantação ou não da tecnologia LED. Visto as mudanças na configuração inicial de algumas salas e suas dimensões.

1.1 Objetivos e métodos

O presente trabalho tem como objetivo estudar os aspectos referentes à qualidade da iluminação oferecida as salas do setor administrativo da empresa, dentro do proposto pela norma atual, bem como sugerir alternativas de melhoria. Será sugerida além da adequação da iluminação utilizando-se as lâmpadas fluorescentes T8 então em uso, a utilização de lâmpadas com tecnologia LED, em destaque atualmente, e também modelo T8.

Os cálculos para constatação da adequação do *layout* atual e também demais propostas da iluminação serão realizados através do programa *Lumisoft* (LUMICENTER LIGHTNING, 2010).

1.2 Estrutura da monografia

A monografia é dividida em sete capítulos, apresentados da seguinte maneira:

O Capítulo 2 apresenta considerações referentes à NBR ISO/CIE 8995-1.

O Capítulo 3 apresenta considerações referentes aos tipos de lâmpadas e luminárias, tipos de iluminação, grandezas e fundamentos da luminotécnica e método de cálculo de iluminação (Método dos Lúmens).

O Capítulo 4 descreve o estudo de caso realizado na Indústria Fox, em que são apresentadas as características gerais dos ambientes dentro do setor administrativo da empresa bem como os cálculos a análise da adequação luminotécnica desses ambientes. São propostas três alternativas para adequação luminotécnica, duas delas utilizando-se da tecnologia fluorescente e uma delas utilizando-se tecnologia LED.

O Capítulo 5 apresenta os custos associados às propostas sugeridas de adequação da iluminação e à análise da viabilidade econômica da implantação da tecnologia LED comparativamente a tubular fluorescente.

O Capítulo 6 apresenta a análise dos resultados obtidos nos capítulos quatro e cinco.

O Capítulo 7 apresenta as conclusões obtidas ao longo do desenvolvimento do trabalho.

2. QUALIDADE DA ILUMINAÇÃO – NBR ISO/CIE 8995-1

A NBR ISO/CIE 8995-1: Iluminação de ambientes de trabalho especifica os requisitos de iluminação para os locais de trabalho internos e os requisitos para que as pessoas desempenhem tarefas visuais de maneira eficiente e com conforto durante o período de trabalho.

Essa norma apresenta não apenas considerações referentes à iluminância, mas também ao limite referente ao desconforto por ofuscamento e o índice de reprodução de cor mínimo da fonte para a especificação de ambientes as atividades diversas. São abordados ainda, critérios a elaboração de projetos luminotécnicos.

Nas seções subsequentes serão apresentados alguns tópicos abordados pela norma.

2.1 Ambiente Luminoso

Segundo a NBR ISO/CIE 8995-1 (2013) a prática de uma boa iluminação aos locais de trabalho vai além do fornecimento de uma boa visualização da tarefa, sendo essencial que as tarefas sejam realizadas facilmente e com conforto. Deve satisfazer tanto os aspectos qualitativos quanto quantitativos demandados pelo ambiente. A iluminação deve assegurar: conforto visual, desempenho visual e segurança visual.

Os principais parâmetros a serem analisados são:

- Distribuição da luminância;
- Iluminância;
- Ofuscamento;
- Direcionalidade da luz;
- Aspectos da cor da luz;
- Cintilação;
- Luz natural;
- Manutenção.

2.2 Iluminância

A iluminância e sua respectiva distribuição na área de trabalho e entorno imediato impactam em como a pessoa percebe e realiza a tarefa de forma rápida e confortável. Os

valores médios, considerados na norma, para cada área de trabalho independe da idade e condições da instalação. Convém que o nível de iluminamento seja aumentado quanto:

- Contrastes excepcionalmente baixos estejam presentes na tarefa;
- Trabalho visual considerado crítico;
- Correção dos erros é onerosa;
- Importância da exatidão;
- Capacidade visual dos trabalhadores esteja abaixo do normal.

A iluminância pode ser reduzida quando:

- Os detalhes são de um tamanho excepcionalmente grande ou de alto contraste,
- A tarefa é realizada por período curto.

Ainda segundo a norma, em áreas onde um trabalho contínuo é realizado, a iluminância mantida não pode ser inferior a 200 [lux].

2.2.1 Iluminância no entorno imediato

A iluminância no entorno imediato está relacionada à iluminância da área de tarefa, devendo prover uma distribuição balanceada da iluminância no campo de visão. Alterações drásticas dos níveis entre a iluminância da área da tarefa e do entorno pode resultar em desconforto visual crítico.

A Tabela 2.1 apresenta as iluminâncias do entorno imediato sugeridos pela norma:

Tabela 2.1 – Níveis de Iluminância no Entorno (NBR, 2013).

Iluminância da Tarefa [lux]	Iluminância do Entorno Imediato [lux]
≥ 750	500
500	300
300	200
≤ 200	Mesma iluminância da área da tarefa

2.2.2 Uniformidade

A uniformidade da iluminância é a razão entre o valor mínimo e o valor médio. Na área alvo do estudo esse nível deve variar gradativamente. A área da tarefa deve ser iluminada o

mais uniforme possível. Segundo a norma, a uniformidade da iluminância na tarefa não pode ser menor que 0,7 e no entorno não pode ser inferior a 0,5.

2.3 Aspectos da cor

As qualidades da cor de uma lâmpada próxima à cor branca são caracterizadas por dois aspectos:

- Aparência da cor da própria lâmpada,
- Capacidade de reprodução de cor, o que afeta a aparência da cor de objetos e das pessoas iluminadas pela lâmpada.

A escolha da aparência da cor é uma questão estética e também associada ao nível de iluminância. Em climas quentes é preferencial a aparência da cor de uma luz mais fria e o oposto vale para climas quentes.

3. LUMINOTÉCNICA

Nesse capítulo serão brevemente descritos alguns conceitos luminotécnicos importantes ao entendimento do assunto e também algumas tecnologias comumente aplicadas em projetos de iluminação.

3.1 Lâmpadas e Luminárias

Segundo CREDER (2007) as lâmpadas fornecem a energia luminosa com o auxílio de luminárias, que nada mais são do que sustentáculos, através das quais se podem obter uma melhor distribuição luminosa e proteção contra intempéries. As lâmpadas podem ser classificadas, basicamente em:

- Incandescentes;
- Descarga;
- Estado sólido – LED (*Light Emitting Diode*).

3.2 Iluminação

A classificação do tipo de iluminação varia de acordo com a tecnologia da fonte de luz aplicada. Podendo ser classificada como: incandescente, fluorescente, a vapor de mercúrio, multivapor, etc. Nessa seção serão tratados os dois tipos de tecnologia alvos do estudo desse trabalho, conforme apresentadas nas seguintes subseções.

3.2.1 Iluminação Fluorescente

A tecnologia utilizada nesse tipo de iluminação é a lâmpada fluorescente, a qual utiliza a descarga elétrica através de um gás para produzir energia luminosa. Em seu aspecto construtivo tem-se um bulbo cilíndrico de vidro que possui nas extremidades eletrodos metálico de tungstênio por onde circula a corrente elétrica. O vapor em seu interior pode ser de mercúrio ou argônio a baixa pressão, e as paredes internas dos tubos são pintadas com materiais fluorescentes (CREDER, 2007). A Figura 3.1 apresenta o esquema citado.

Para o funcionamento desse tipo de lâmpada é imprescindível dois equipamentos auxiliares: o *starter* e o reator. O primeiro consiste num dispositivo usado na partida, integrado a ele tem-se também um condensador ligado em paralelo ao interruptor, cuja função é evitar interferências em aparelhos de rádio. O segundo consiste numa bobina de ferro ligada em série e tem as funções de produzir a sobre tensão e limitar a corrente (CREDER, 2007).

A Figura 3.2 representa o esquema do reator eletrônico, mais utilizado, junto à lâmpada. E a Figura 3.3 o esquema de ligação das lâmpadas junto ao reator e ao *starter*.

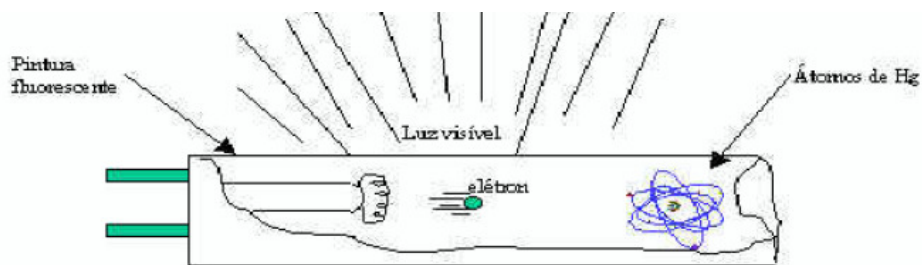


Figura 3.1 – Lâmpada fluorescente (CREDER, 2007).

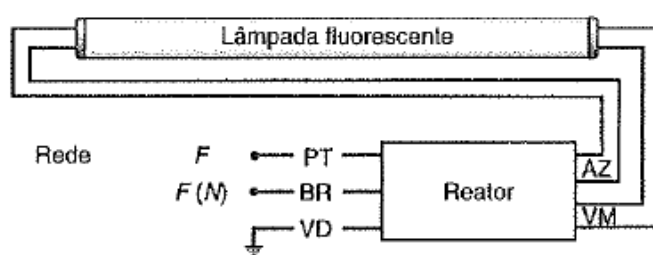


Figura 3.2 – Reator eletrônico (CREDER, 2007).

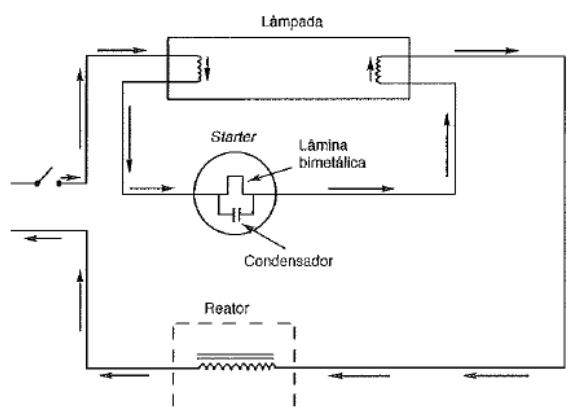


Figura 3.3 – Esquema lâmpada *versus* starter *versus* reator (CREDER, 2007).

As lâmpadas fluorescentes mais usuais em instalações residenciais e comerciais são as do tipo compactas. Essas lâmpadas possuem um *starter* incorporado a sua base, o que permite a substituição por lâmpadas incandescentes sem qualquer tipo de acessório (CREDER, 2007).

A durabilidade média de uma lâmpada fluorescente é de aproximadamente 7.500 horas, com temperaturas de cor que variam de 2.700 K (mais amareladas) até 8.000 K (mais azuladas). A sua eficiência energética, tão reconhecida mundialmente, corresponde a 90 [lm/W], sendo até 80% mais econômica quando comparadas as lâmpadas incandescentes (SANTOS, 2012).

A maior desvantagem em relação a essa tecnologia é o índice de reprodução de cor (IRC) que pode variar de 70 a 90, de acordo com o modelo. Não sendo ideais também a ambientes onde o número observado de acendimentos diários é alto, uma vez que, as fluorescentes tem sua vida útil calculada para oito acionamentos por dia (SANTOS, 2012).

3.1.3 Iluminação de Estado Sólido – LED

A tecnologia utilizada nesse tipo de iluminação é a LED, diodos emissores de luz, o material utilizado na sua fabricação são semicondutores, aos quais basta a passagem de uma pequena corrente elétrica para que haja a emissão de luz.

Nos últimos anos esse sistema de iluminação vem ganhando destaque. Essa tecnologia, além de possuir alto rendimento, tem também uma vida útil de até 100.000 horas (CREDER, 2007).

O sistema de iluminação a LED pode ser considerada a terceira geração das lâmpadas, sendo a primeira as incandescentes e a segunda as fluorescentes, e traz consigo economias significantes aos gastos de energia (SANTOS, 2012).

Com exceção do LED, todas as lâmpadas do mercado emitem raios ultravioletas e infravermelhos, os quais implicam em danos a roupas, obras de artes e plantas, e também a camada de ozônio. Sendo assim, o LED apresenta uma melhor qualidade da luz gerada, e diminuição dos riscos a saúde, quando comparado às tecnologias que afetam a camada de ozônio (SANTOS, 2012).

A cada ano novas conquistas são anunciadas em termos de produtos e sistemas a base de LED's, superando as expectativas dos especialistas. No entanto, de forma análoga as outras transições de tecnologias observadas ao longo da história, o grande desafio encontrado não é de natureza técnica, mas sim de natureza econômica. Os custos associados à implantação dos

mesmos, ainda são elevados quando comparados, por exemplo, a tecnologias igualmente econômicas, tal qual a fluorescente.

3.3 Grandezas e Fundamentos Luminotécnicos

Essa seção apresenta algumas definições e conceitos necessários ao estudo luminotécnico.

3.3.1 Luz

A luz corresponde ao aspecto de energia radiante que um observador humano constata pela sensação visual, o que é determinado pelo estímulo da retina ocular. As faixas de radiações percebidas pelo olho humano situa-se entre os comprimentos de onda de 3.800 a 7.600 [angströms] (CREDER, 2007).

3.3.2 Cor

A cor da luz é determinada pelo comprimento de onda. Sendo a luz violeta, de menor comprimento visível ao espectro, situada em 3.800 a 4.500 [angströms] e a luz vermelha a de maior comprimento de onda visível, entre 6.400 e 7.600 [angströms]. A Figura 3.4 apresenta o espectro de luz visível e respectivas faixas de onda.

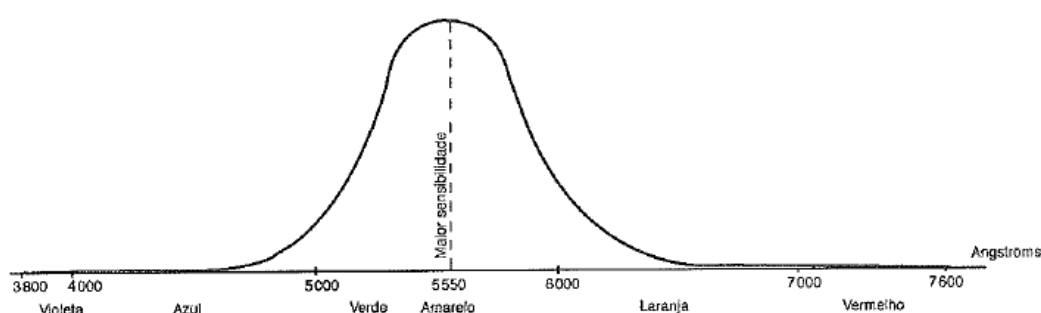


Figura 3.4 – Espectro da luz visível em função do comprimento de onda (CREDER, 2007).

3.3.3 Intensidade Luminosa

A intensidade luminosa é definida pela intensidade da luz na direção perpendicular de uma superfície plana de área igual a $1/600.000 \text{ [m}^2\text{]}$, de um corpo negro a temperatura de fusão platina e sob pressão de $101.325 \text{ [N/m}^2\text{]}$ a 1 atmosfera. A unidade dessa grandeza é dada em candela [cd].

3.3.4 Fluxo Luminoso

A unidade do fluxo luminoso é dada em lúmen [lm]. Essa grandeza é definida pelo fluxo luminoso emitido no interior de um ângulo sólido de um esferorradiano por uma fonte puntiforme de intensidade invariável e igual a um candela [cd] em todas as direções.

3.3.5 Iluminância

A iluminância, também chamada de iluminamento, de uma superfície plana, de área igual a 1 [m²] que recebe, na direção perpendicular, um fluxo luminoso de 1 [lm], uniformemente distribuído, é a intensidade de fluxo luminoso recebido. Portanto tem-se a equação 3.1, que define a iluminância:

$$lux = \frac{lúmen}{m^2} \quad (3.1)$$

3.3.6 Luminância

A luminância, em determinada direção, de uma fonte de área igual a 1 [m²] e intensidade luminosa de um candela possui sua unidade definida por [cd/m²] ou nit.

3.3.7 Eficiência Luminosa

A eficiência luminosa corresponde à relação dos lúmens emitidos pela lâmpada para cada watt consumido, sua unidade é, portanto, [lm/W].

3.4 Cálculo de Iluminação – Método dos Lúmens

Existem diferentes métodos para a determinação do número de luminárias para produção de dado iluminamento em um projeto. Para áreas de escritório o mais comumente utilizado é o denominado Método dos Lúmens.

Esse método, apesar de bem difundido, possui algumas limitações, tais quais:

- Se torna complexo em ambientes com diferentes tipos de luminárias, volumetrias e formatos;

- Não considera as influências de parâmetros (refletância, iluminância) em caso de compartimentação de zonas (diversos índices de ambientes) dentro de uma mesma área;
- Não contempla cálculo de iluminação de áreas externas;
- Não considera os ganhos de iluminação natural.

O Método dos Lúmens é apresentado nesse trabalho como um direcionador ao estudo de projetos luminotécnicos. Nas seções subsequentes as etapas desse método são apresentadas.

3.4.1 Seleção da Iluminância

A seleção do nível de iluminância pode ser consultado através da norma NBR ISO/CIE 8995-1, a qual relaciona níveis recomendados para iluminação de interiores.

3.4.2 Escolha da Luminária

A escolha da luminária depende de fatores tais quais: objetivo da instalação, fatores econômicos, razões de decoração, etc. Sendo indispensável à consulta aos catálogos dos fabricantes.

3.4.3 Determinação do índice do local

Esse índice relaciona as dimensões do recinto, comprimento, largura e altura de montagem, ou seja, altura da luminária em relação ao plano de trabalho, de acordo com o tipo de iluminação que será utilizada (direta, indireta, semidireta, semi-indireta). É dado pela equação 3.2:

$$k = \frac{c.l}{h.(c+l)} \quad (3.2)$$

Onde:

c: comprimento do local;

l: largura do local

h: altura de montagem da luminária (distância da fonte de luz ao plano de trabalho)

3.4.4 Determinação do Coeficiente de Utilização

A partir do índice do local (k) pode-se determinar o coeficiente de utilização, o qual depende das características da luminária e é tabelado pelo fabricante. Este coeficiente

relaciona o fluxo luminoso emitido pela luminária e o recebido no plano de trabalho. Para encontrar o coeficiente de utilização, deve-se entrar na tabela com a refletância característica dos tetos, parede e pisos, conforme indicados na Tabela 3.1 a seguir:

Tabela 3.1 – Refletância (CREDER, 2007).

Índice	Reflexão	Significado
1	10%	Superfície escura
3	30%	Superfície média
5	50%	Superfície clara
7	70%	Superfície branca

3.4.5 Determinação do Fator de Depreciação

Esse fator é também denominado fator de manutenção e relaciona o fluxo emitido no fim de período de manutenção da luminária e o fluxo luminoso inicial da mesma. É determinado pela Tabela 3.2:

Tabela 3.2 – Fator de depreciação (CREDER, 2007).

Tipo de Ambiente	Período de Manutenção [h]		
	2.500	5.000	7.500
Limpo	0,95	0,91	0,88
Normal	0,91	0,85	0,80
Sujo	0,80	0,66	0,57

É evidente que quanto melhor for a manutenção das luminárias, limpeza e substituições frequentes, mais alto o fator e também mais dispendioso.

3.4.6 Fluxo Total, Luminárias e Espaçamentos

Visto as etapas anteriores, pode-se determinar o número de luminárias por meio das equações 3.3 e 3.4:

$$\phi = \frac{S.E}{u.d} \quad (3.3)$$

$$n = \frac{\Phi}{\phi} \quad (3.4)$$

Onde:

Φ : fluxo luminoso total [lm]

S: área do recinto [m²]

E: nível de iluminamento [luxes]

u: fator de utilização;

d: fator de depreciação;

n: número de luminárias;

ϕ : fluxo por luminárias [lm]

O espaçamento máximo entre as luminárias depende da abertura do feixe luminoso, as mesmas devem ser distribuídas uniformemente no recinto.

3.5 Programa *Lumisoft*

Desenvolvido pela *Lumicenter Lighting*, o *Lumisoft* é um *software* para estudos luminotécnicos, que oferece recursos que automatizam o processo de dimensionamento de sistemas de iluminação. O programa possibilita a aplicação de vários modelos de luminárias em um mesmo ambiente e oferece algumas vantagens, tais quais:

- Relatório completo do projeto;
- Biblioteca de luminárias *Lumicenter* mais comuns;
- Guia do usuário ilustrado;
- Menu flutuante.

A Figura 3.5 representa a tela de início de projeto existente no programa:

Informe dados do ambiente

Nome do ambiente:

Largura: metros

Comprimento: metros

Altura: metros

Plano de trabalho: metros

Refletância Teto: %

Refletância Parede: %

Refletância chão: %

Fator de perda:

Distribuição da(s) luminária(s)

Iluminância:

Nº de Luminárias:

Linhas x Colunas:

Ângulo de instalação:

Altura de instalação:

☒ Inserir luminárias

Modulação de forro

☒ sem modulação

☐ 0,625m x 0,625m

☐ 1,25m x 0,625m

☐ 0,625m x 1,25m

Escala de cores

Visualizar

CAA01-E232

 clique aqui para escolher a luminária

Fluxo: lux



Transversal - Longitudinal

Parâmetros

Nome ambiente:

Largura:

Comprimento:

Altura (pé direito):

Plano de trabalho:

Refletância teto: %

Refletância parede: %

Refletância chão: %

Fator de perda:

Ângulo de instalação da luminária: °

Altura de instalação da luminária: m

Adicionar Luminária ao projeto

 Calcular

Figura 3.5 – Tela do programa *Lumisoft* (LUMICENTER LIGHTNING, 2010).

4. ESTUDO DE CASO

O capítulo contempla as características dos ambientes alvos do estudo, bem como as premissas adotadas e propostas para a melhor adequação dos ambientes a norma vigente de iluminação. São comparadas a utilização de duas tecnologias distintas, a tubular fluorescente e a tubular LED, ambas modelo T8.

4.1 Aspectos Gerais da Planta Atual

A Figura 4.1 apresenta a fachada da empresa, a qual possui todas as janelas do setor administrativo com *insulfim*. A iluminação natural não é tão bem aproveitada de forma que, a qualidade da iluminação deve ser analisada com cuidado e considerando os aspectos normativos.



Figura 4.1 – Fachada Indústria Fox (VIVERCOM, 2015).

A Tabela 4.1 descreve as dimensões dos ambientes alvos do estudo e a Tabela 4.2 apresenta a potência instalada e os aspectos relevantes à iluminação atual de cada um desses setores.

O projeto inicial da empresa contava com o setor Financeiro, TI e Auditório como um único ambiente, daí após a quebra desse ambiente único em demais setores, devido ao

crescimento da empresa, resultou também na necessidade de uma nova análise referente no aspecto luminotécnico.

4.1.1 Premissas adotadas

Os pontos de iluminação atual serão tanto quanto possível aproveitados e a mão de obra para a instalação dos equipamentos não será considerada, uma vez que, a empresa possui funcionários da equipe de manutenção, qualificada para execução desse tipo de serviço.

As luminárias, exceto nos ambientes onde existe a necessidade de expandir os pontos de iluminação, serão igualmente aproveitadas. Em conversa com o fornecedor, os fabricantes e tecnologia LED, visando facilitar a instalação das lâmpadas tubulares LED em substituição as tubulares fluorescentes, as construíram de forma a não necessitarem de adaptações quando na sua instalação nas luminárias existentes, respeitando obviamente as dimensões que devem ser mantidas e são padrões.

O trabalho direcionará o estudo a análise da qualidade da iluminância (E) do ambiente de trabalho bem como suas características no entorno. O valor de iluminância obtido, através do programa *Lumisoft*, e considerado para o estudo é o valor médio calculado. A disposição das mesas e planos de trabalho serão adotados como próximos as fontes luminosas, garantindo-se, de certa forma, uma melhor uniformidade da iluminação oferecida, conforme sugerido pela norma.

Para uma verificação dos custos será apresentado uma proposta considerando apenas os custos para adequação dos ambientes a norma e outra também para a substituição de todas as luminárias. No caso da proposta para utilização de lâmpadas com tecnologia LED será realizado um estudo comparativo para verificação da viabilidade econômica a implantação do projeto quando comparado a atual tecnologia utilizada (fluorescente tubular).

Ainda, para efeitos de cálculos e numa tentativa de evitar superdimensionamento será considerado como adequado, até 20% do valor inferior ao estipulado para iluminância (E) pela norma. Isso é justificado pela existência das amplas janelas em cada departamento, que embora sejam abertas raramente são também uma fonte de luz e podem dar um apoio a iluminação, a qual é acionada em 90% do horário do expediente.

4.2 Potência da Iluminação Instalada e Características - Administrativo

A Tabela 4.1 apresenta às dimensões dos setores estudados e a Tabela 4.2 a potência instalada de iluminação atual de cada um deles:

Tabela 4.1 – Dimensões dos ambientes.

Ambiente	Comprimento [m]	Largura [m]	S [m²]	Pé direito [m]
Logística	11,9	6,1	72,59	3,24
Comercial	5,85	6,1	35,68	3,24
TI	11,85	6,1	72,28	3,24
Diretoria	11,9	6,1	72,59	3,24
RH	2,71	5,53	14,98	3,24
Financeiro	5,85	6,1	35,68	3,24
Auditório	11,85	6,1	72,28	3,24
Arquivo Morto	3,45	2,35	8,10	3,24

Tabela 4.2 – Potência Instalada dos Ambientes.

Ambiente	ϕ[lm/luminária]	n_0	P [W/luminária]	Reator [W]	Pot. Ilum. Inst. [W]	Pot. Ilum. Inst. [W/m²]
Logística	4.700	8	64	5	552	7,6
Comercial	4.700	4	64	5	276	7,73
TI	4.700	4	64	5	276	3,82
Diretoria	4.700	10	64	5	690	9,51
RH	2.200	2	20	5	50	3,34
Financeiro	4.700	2	64	5	138	3,87
Auditório	4.700	4	64	5	276	3,82
Arquivo Morto	4.700	1	64	5	69	8,51

Onde:

n_o : o número inicial de pontos de iluminação de cada setor;

S: área [m²].

O modelo da lâmpada existente é o PHILIPS 2XTLDRS32W/64 (T8) e para o RH, especificamente, o PHILIPS 2XTLTRS20W/40 (T8). A Tabela 4.3 apresenta alguns dados do manual do fabricante que serão considerados para estudo:

Tabela 4.3- Catálogo luminária PHILIPS (GMR ELECTRIC SERVICE, 2015).

Código comercial	Potência [W]	Fluxo luminoso [lm]
TLDRS32W-CO-25	32	2.350
TLTRS20W-ELD-25	20	1.100

4.3 Proposta de Adequação Iluminação – Tecnologia Tubular Fluorescente

Para os ambientes da empresa alvos do estudo, serão considerados, conforme indicados na NBR ISO/CIE 8995-1 (escritório, atividade de escrever e arquivos e ainda salas multiuso) os valores de referência de iluminância (E), para a análise da adequação da qualidade de iluminação dos mesmos, bem como os valores de iluminância associada à região do entorno imediato conforme Tabela 4.4.

A partir dos valores das Tabelas 4.1 e 4.2, pode-se calcular os valores atuais da iluminância disponibilizadas aos setores. Os cálculos serão realizados no programa *Lumisoft*, de forma que, as luminárias selecionadas para estudo possuem características semelhantes às utilizadas na empresa. Para os ambientes da Logística, Comercial, RH e Arquivo morto a luminária considerada para o cálculo será o modelo de sobrepor, para os demais, o modelo considerado é o de embutir.

Tabela 4.4 – Valores sugeridos de Iluminância (NBR,2013).

Ambiente	E [lux]	E Entorno Imediato [lux]
Logística	500	300
Comercial	500	300
TI	500	300
Diretoria*	300	200
RH	500	300
Financeiro	500	300
Auditório	300	200
Arquivo Morto	300	200

*Área pouco utilizada, as janelas permanecem constantemente abertas, daí a consideração de 300 [lux] apenas.

Inserindo na tela do programa os parâmetros, por exemplo, para a Logística e para o Financeiro, temos as seguintes configurações e valores de iluminância, conforme Figuras 4.2 e 4.3. A altura de instalação das luminárias é de 2,84 [m]. Os ângulos de instalação das luminárias estão relacionados na Tabela 4.5:


Tabela 4.5 – Ângulo de instalação das luminárias.

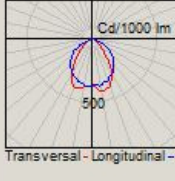
Ambiente	Ângulo Instalação [°]
Logística	0
Comercial	90
TI	90
Diretoria	0
RH	90
Financeiro	90
Auditório	90
Arquivo Morto	0

Quando manipulados no programa, o valor desse ângulo pode variar o *layout*. A Tabela 4.5 indica os utilizados inicialmente, mas para efeito de mantermos o padrão, em alguns casos esses ângulos variariam quando no dimensionamento para iluminação LED, por exemplo.

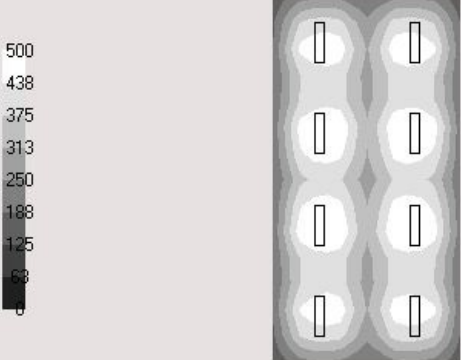
Informe dados do ambiente

Nome do ambiente		Logística		Distribuição da(s) luminária(s)		Modulação de forro	
Largura	6,1 metros	Iluminância	331,5360	<input checked="" type="radio"/> sem modulação <input type="radio"/> 0,625m x 0,625m <input type="radio"/> 1,25m x 0,625m <input type="radio"/> 0,625m x 1,25m		<input checked="" type="radio"/> Escala de cores <input type="radio"/> Visualizar	
Comprimento	11,9 metros	Nº de Luminárias	8,00			<input checked="" type="checkbox"/> Inserir luminárias	
Altura	3,24 metros	Linhas x Colunas	4 x 2				
Plano de trabalho	0,8 metros	Ângulo de instalação	0				
Refletância Teto	70 %	Altura de instalação	2,84				
Refletância Parede	70 %						
Refletância chão	30 %						
Fator de perda	0,85						

CAA01-S232

 Fluxo 4700 lux



iluminância média : 364,83 lux




8 luminária(s) modelo CAA01-S232

Figura 4.2 – Logística (LUMICENTER LIGHTNING, 2010).

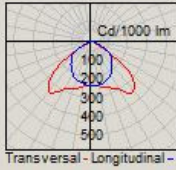
Informe dados do ambiente

Nome do ambiente	Financeiro	Distribuição da(s) luminária(s)	Modulação de forro
Largura	6,1 metros	Iluminância	152,62
Comprimento	5,85 metros	Nº de Luminárias	2
Altura	3,24 metros	Linhas x Colunas	1 x 2
Plano de trabalho	0,8 metros	Ângulo de instalação	90
Refletância Teto	70 %	Altura de instalação	2,84
Refletância Parede	70 %	<input type="checkbox"/> Inserir luminárias	
Refletância Chão	30 %		
Fator de perda	0,85		

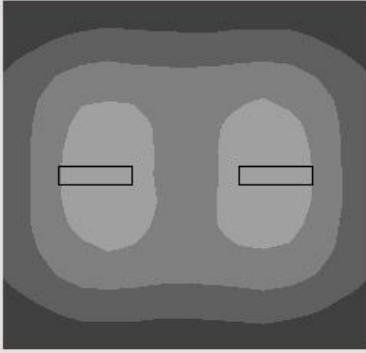
CAA10-E232



Fluxo 4700 lux



iluminância média : 188,09 lux



2 luminária(s) modelo CAA10-E232

☒ sem modulação
☐ 0,625m x 0,625m
☐ 1,25m x 0,625m
☐ 0,625m x 1,25m





 Escala de cores
 Visualizar
 

Figura 4.3 – Financeiro (LUMICENTER LIGHTNING, 2010).

De forma análoga, para os demais setores, obtêm-se os valores de iluminância, os quais estão listados na Tabela 4.6, bem como o *status* de adequação ou não a norma. Os valores considerados na tabela são os referentes à iluminância média oferecida ao ambiente.

Tabela 4.6 – Valores atuais de Iluminância.

Ambiente	E [lux]	E ₀ [lux]	Status
Logística	500	364,83	Não adequado
Comercial	500	353,57	Não adequado
TI	500	191,99	Não adequado
Diretoria	300	431,83	Adequado
RH	500	177,23	Não adequado
Financeiro	500	188,09	Não adequado
Auditório	300	186,97	Não adequado
Arquivo Morto	300	315,72	Adequado

Considerando a adequação a norma dos setores que não possuem níveis ideais de iluminância, nessa seção é proposto o aumento do número dos pontos de iluminação, utilizando-se para tal, da mesma tecnologia de lâmpadas (tubular fluorescente T8, 32W), inclusive para o RH. A Tabela 4.7 apresenta os resultados obtidos com esse aumento.

Tabela 4.7 – Valores propostos de Iluminância.

Ambiente	E [lux]	n_0	E_0 [lux]	n	E [lux]	Novo Status
Logística	500	8	364,83	10	452,95	Adequado
Comercial	500	4	353,57	6	513,70	Adequado
TI	500	4	191,99	10	441,53	Adequado
RH	500	2	177,23	3	554,28	Adequado
Financeiro	500	2	188,09	4	495,79	Adequado
Auditório	300	4	186,97	8	354,86	Adequado

Válido ressaltar que em alguns casos, apesar de não atingirmos exatamente o valor da norma, está sendo considerado o melhor *layout* para a configuração desejada das luminárias. Esse aspecto deve ser considerado, pensando-se no quesito harmônico da disposição das mesmas e ainda no não superdimensionamento, evitando gastos desnecessários.

As Figuras 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8 e 4.9 apresentam o comparativo dos níveis de luminância antes e após a implantação da proposta de adequação. Reparar que o nível de iluminância da região central, onde se deve localizar as mesas, possuem em todos os casos um nível adequado de iluminância, ainda que a média da sala não esteja ideal a norma. E a iluminância na região imediata de entorno está também dentro do proposto, o que pode ser notado pela escala de iluminância comparativamente ao aspecto de cada ambiente estudado.

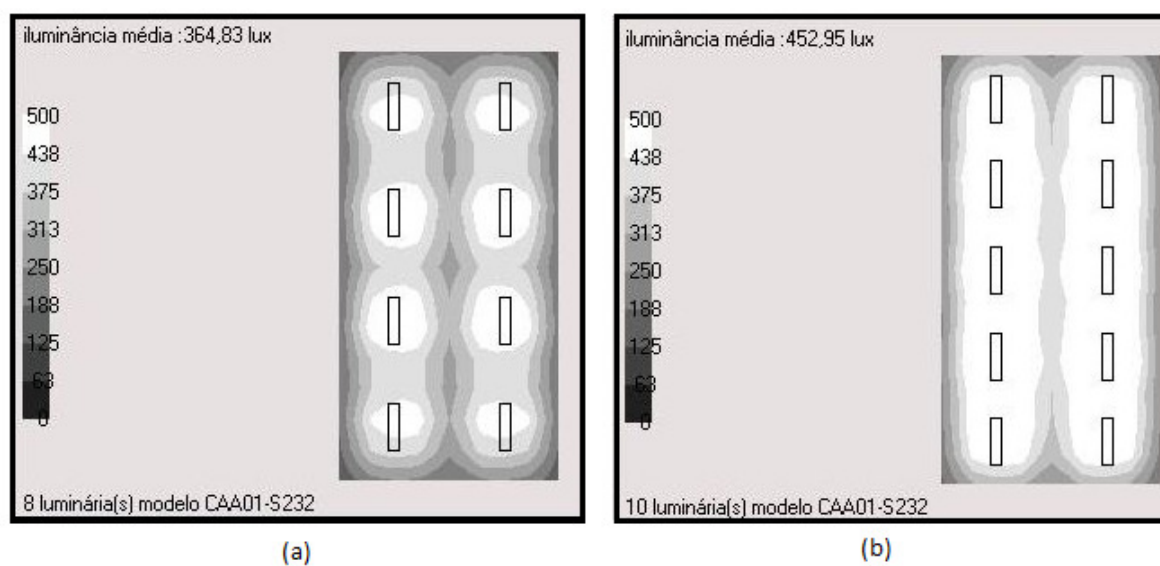


Figura 4.4 – (a) Logística configuração atual, (b) Logística configuração proposta (LUMICENTER LIGHTNING, 2010).

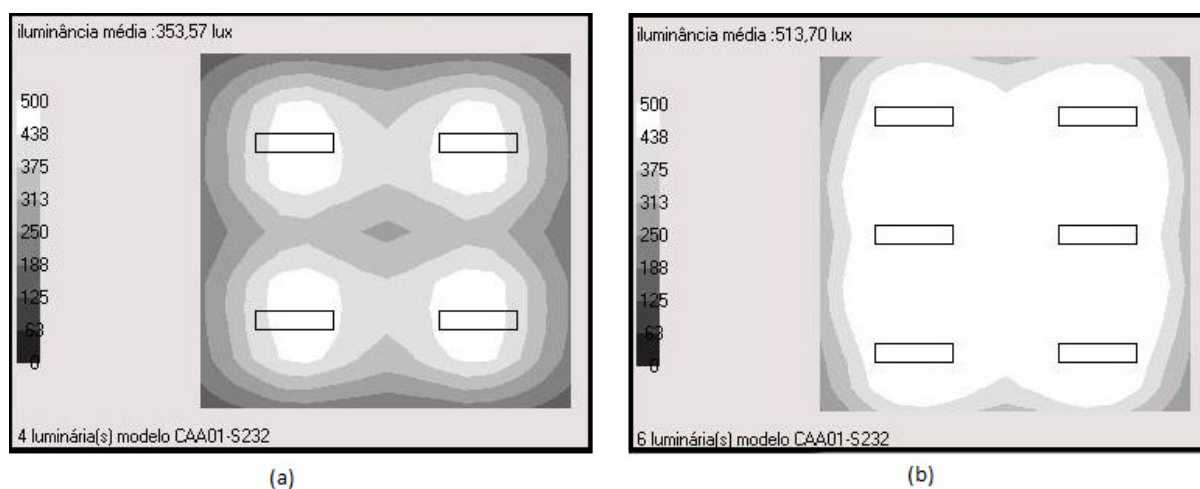


Figura 4.5 - (a) Comercial configuração atual, (b) Comercial configuração proposta (LUMICENTER LIGHTNING, 2010).

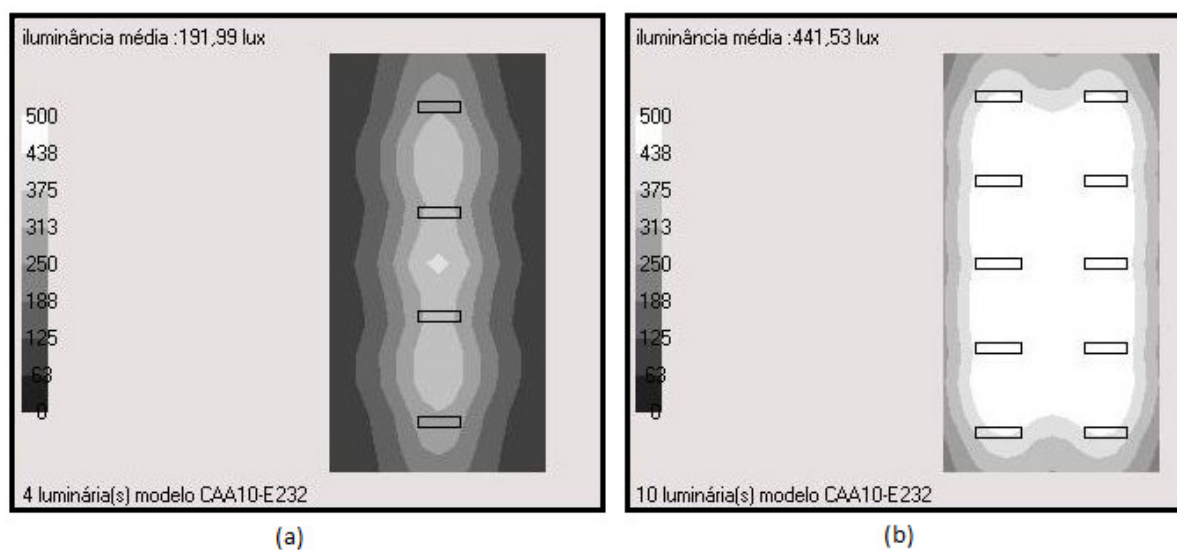


Figura 4.6 - (a) TI configuração atual , (b) TI configuração proposta (LUMICENTER LIGHTNING, 2010).

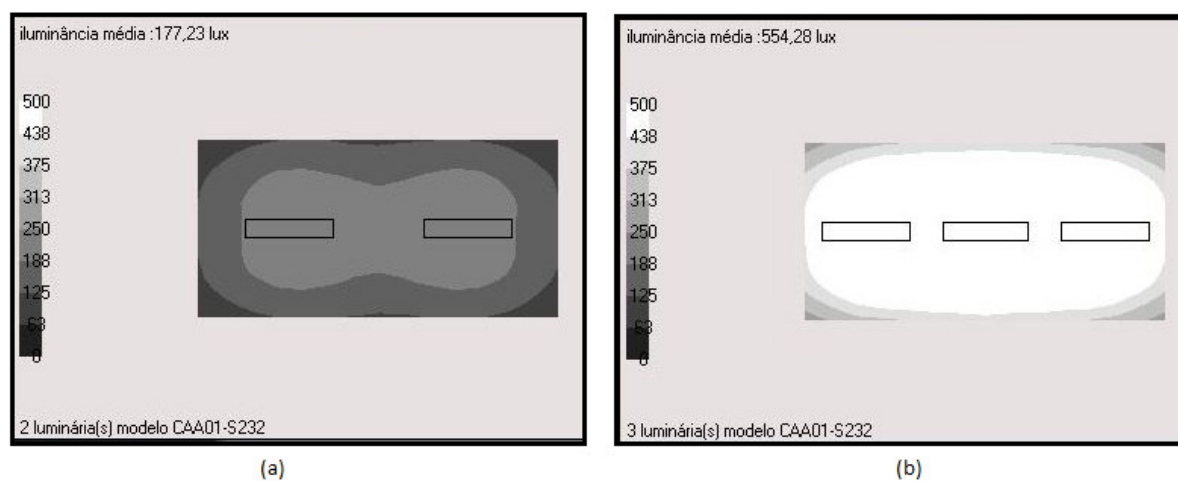


Figura 4.7 - (a) RH configuração atual , (b) RH configuração proposta (LUMICENTER LIGHTNING, 2010).

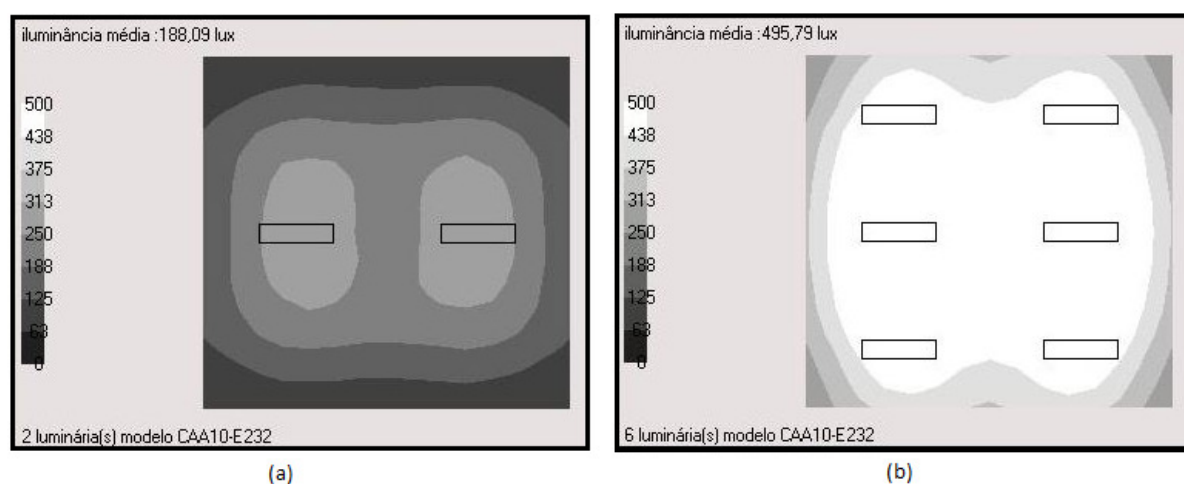


Figura 4.8 - (a) Financeiro configuração atual , (b) Financeiro configuração proposta (LUMICENTER LIGHTNING, 2010).

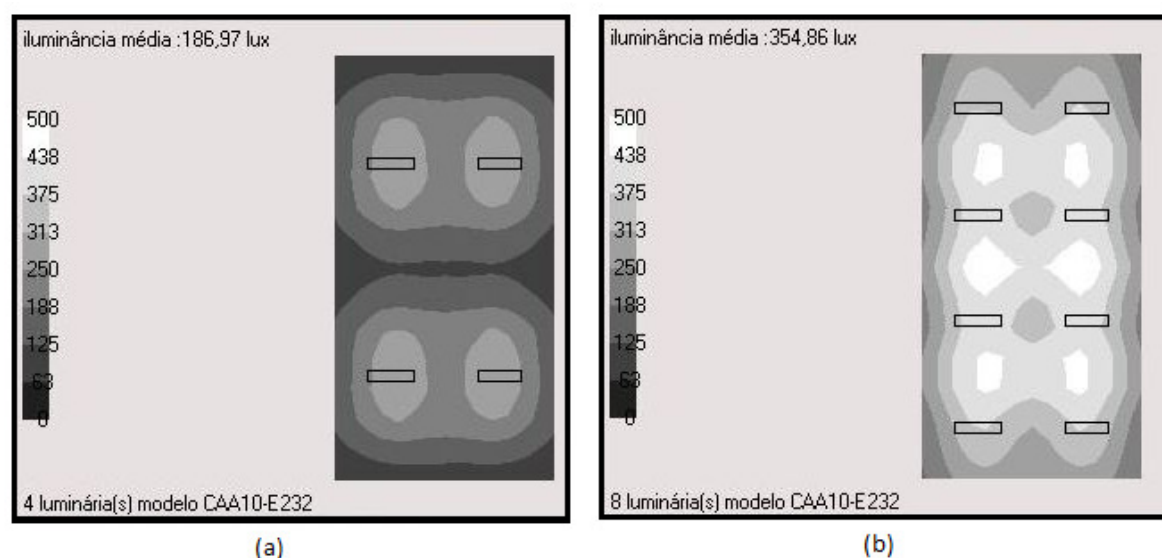


Figura 4.9 - (a) Auditório configuração atual , (b) Auditório configuração proposta (LUMICENTER LIGHTNING, 2010).

A Tabela 4.8 apresenta o aumento da potência instalada de iluminação para cada setor, quando na implantação da proposta de adequação.

Tabela 4.8 – Nova potência instalada dos ambientes.

Ambiente	ϕ [lm/luminária]	n	P [W/luminária]	Reator [W]	Pot. Ilum. Inst. [W]	Pot. Ilum. Inst. [W/m ²]
Logística	4.700	10	64	5	690	9,50
Comercial	4.700	6	64	5	414	11,6
TI	4.700	10	64	5	690	9,54
RH	4.700	3	64	5	207	13,81
Financeiro	4.700	6	64	5	414	11,6
Auditório	4.700	8	64	5	552	7,63

4.4 Proposta Iluminação LED

Para o estudo proposto será considerado a lâmpada 2 x 21W MASTER LED PERF 1.200 [mm] ROT (T8) da PHILIPS, em substituição a todas as lâmpadas atuais dos departamentos. A substituição de todas, e não de apenas algumas, visa manter a uniformidade da tecnologia utilizada e qualidade da iluminação oferecida. A Tabela 4.9 apresenta a especificação técnica da lâmpada.

Tabela 4.9- Catálogo luminária 21W LEDtube PERF 1200MM ROT (PHILIPS, 2014).

Código comercial	Potência [W]	Fluxo luminoso [lm]
LEDtube PERF 1200MM ROT	21	2.100

Os parâmetros para os cálculos serão mantidos, exceto pelo fluxo luminoso de cada luminária, agora alterado para 4.200 [lm], ou seja (2x2100) [lm].

De forma análoga aos cálculos anteriores e mantendo-se a configuração dos pontos de iluminação (n) adotados a adequação de cada setor, por meio da tecnologia fluorescente, tem-se os seguintes valores de iluminância média (E_{LED}), obtidos igualmente por meio do programa *Lumisoft*. O único setor no qual optamos por aumentar o número de luminária foi o TI, para 10 luminárias a iluminância obtida foi de 394,55 [lux], daí alterarmos para 12 o número de pontos de iluminação. A Tabela 4.10 apresenta os novos valores de iluminância obtidos.

Tabela 4.10 – Valores de Iluminância – Tecnologia LED.

Ambiente	E [lux]	n_{LED}	E_{LED} [lux]
Logística	500	10	404,77
Comercial	500	6	462,74
TI	500	12	472,66
Diretoria	300	10	385,99
RH	500	3	495,31
Financeiro	500	6	442,82
Auditório	300	8	317,11
Arquivo Morto	300	1	282,13

A Tabela 4.11 informa os novos valores de potência de iluminação instalada em cada setor, lembrando que a tecnologia LED prescinde a presença dos reatores.

Tabela 4.11 – Potência instalada dos ambientes – Tecnologia LED.

Ambiente	ϕ [lm/luminária]	n_{LED}	P [W/luminária]	Pot. Ilum. Inst. [W]	Pot. Ilum. Inst. [W/m ²]
Logística	4.200	10	42	420	5,78
Comercial	4.200	6	42	252	7,06
TI	4.200	12	42	504	6,97
Diretoria	4.200	10	42	420	5,78
RH	4.200	3	42	126	8,41
Financeiro	4.200	6	42	252	7,06
Auditório	4.200	8	42	336	4,64
Arquivo Morto	4.200	1	42	42	5,18

As Figuras de 4.10 a 4.17 representam o novo *layout* das salas e respectivos níveis de iluminância obtidos por meio da tecnologia LED. Observa-se pela escala de iluminância descrita em cada caso que, os níveis estipulados como adequados para o projeto são respeitados.

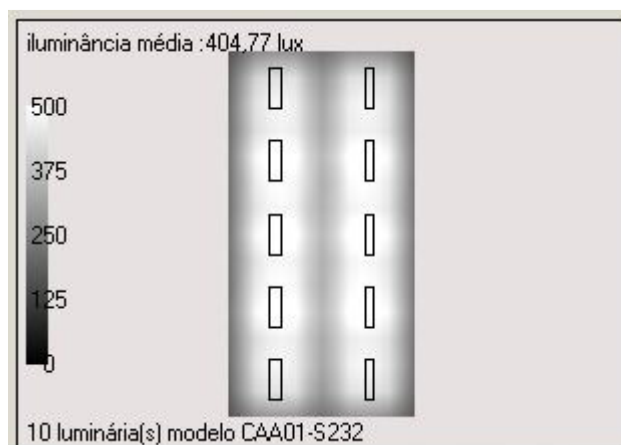


Figura 4.10 – Iluminância Logística (tecnologia LED) (LUMICENTER LIGHTNING, 2010).

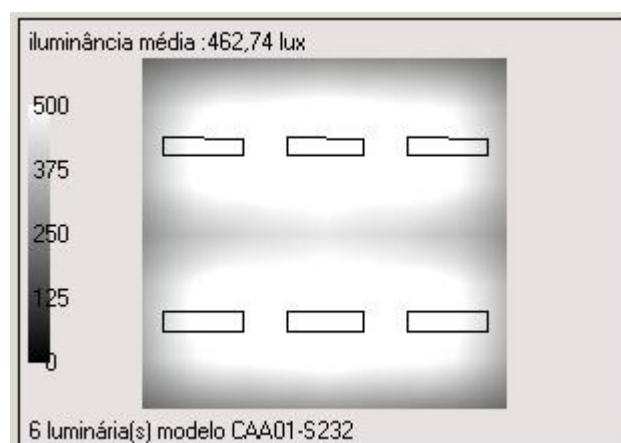


Figura 4.11 – Iluminância Comercial (tecnologia LED) (LUMICENTER LIGHTNING, 2010).

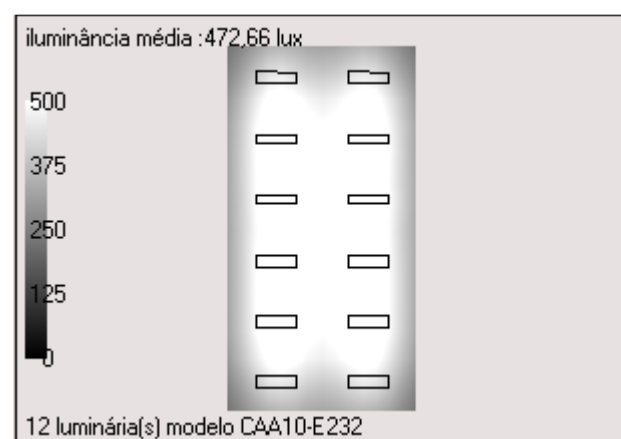


Figura 4.12 – Iluminância TI (tecnologia LED) (LUMICENTER LIGHTNING, 2010).

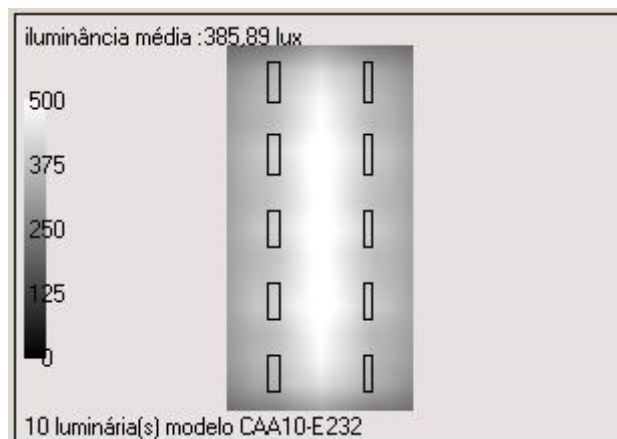


Figura 4.13 – Iluminância Diretoria (tecnologia LED) (LUMICENTER LIGHTNING, 2010).

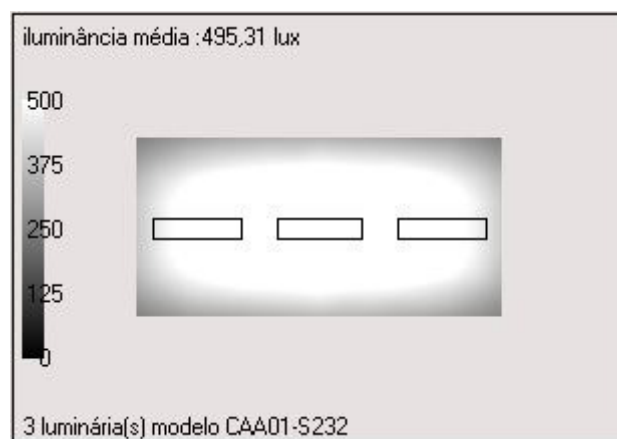


Figura 4.14 – Iluminância RH (tecnologia LED) (LUMICENTER LIGHTNING, 2010).

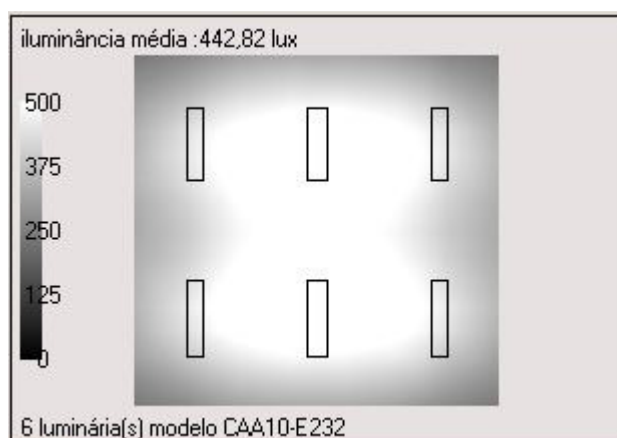


Figura 4.15 – Iluminância Financeiro (tecnologia LED) (LUMICENTER LIGHTNING, 2010).

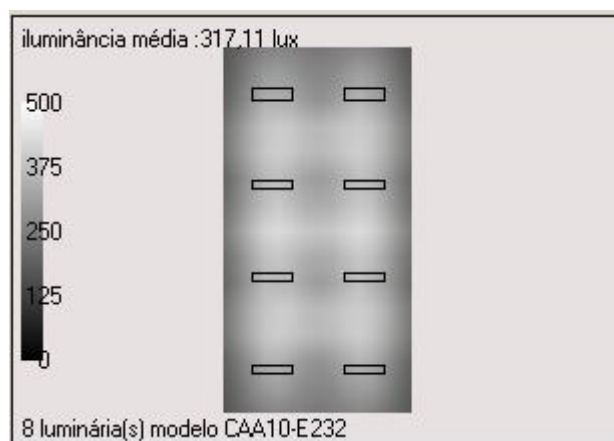


Figura 4.16 – Iluminância Auditório (tecnologia LED) (LUMICENTER LIGHTNING, 2010).

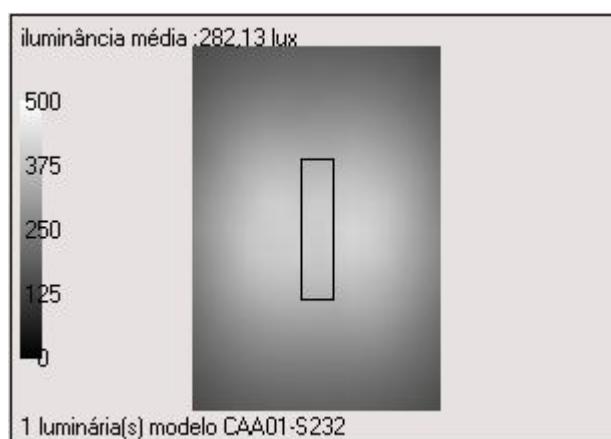


Figura 4.17 – Iluminância Arquivo Morto (tecnologia LED) (LUMICENTER LIGHTNING, 2010).

5. ANÁLISE ECONÔMICA DAS PROPOSTAS

Esse capítulo apresenta as considerações referentes aos custos adotados a implantação de cada proposta. A análise da viabilidade econômica será apresentada apenas para a implantação da tecnologia LED comparativamente a atual utilizada. O período de análise será baseado na vida útil dessas lâmpadas e a taxa mínima de atratividade (TMA) adotada como 15% a.a, taxa compatível com o cenário econômico atual do país.

A Indústria Fox não possui a separação entre a planta do industrial e do setor administrativo, de forma que, a economia dentro do próprio setor administrativo não será computada. A Fox está dentro da área de concessão da Elektro, sendo a demanda mensal contratada de 530 [kW] e as tarifas ponta e fora ponta equivalentes respectivamente a 1,266102 [R\$/kWh] e 0,342684 [R\$/kWh]. Esses dados foram retirados da conta de energia de setembro de 2015.

5.1 Proposta de Adequação Iluminação – Tecnologia Tubular Fluorescente

Essa seção apresenta apenas os custos referentes à adequação da qualidade da iluminação dos setores “problemáticos”. Obviamente, aumentando-se a potência instalada de iluminação, teremos igualmente um aumento do consumo. Sendo os benefícios dessa proposta não computados economicamente, apenas considerados no quesito qualidade do ambiente de trabalho da equipe.

As Tabelas 5.1 e 5.2 apontam os custos associados à implantação do projeto, quantitativo dos itens separadamente a cada setor. A Tabela 5.3 apresenta o resumo discriminado do investimento total aproximado à execução do serviço como um todo.

Os custos das luminárias foram retirados do site da empresa Jabu – Materiais Elétricos e Hidráulicos (2015) modelos de sobrepor e embutir, respectivamente Abalux Luminária Sobrepor 2x32 T8 A02 e Abalux Luminária Embutir 2x32 T8 A04. Para os custos unitários das lâmpadas e dos reatores foram adotados valores médios existentes na base de dados da Fox para a compra desses materiais. Lembrando que, o reator utilizado é para duas lâmpadas, ou seja, um reator por luminária.

Conforme considerações anteriores não serão computados os gastos referentes à instalação e manutenção dos equipamentos.

Tabela 5.1 – Custos Adequação Iluminação.

Item	Log.	Com.	RH	Finan.	TI	Aud.	R\$/item	Total R\$/item
Luminária Embutir				2	6	4	115,81	1389,72
Luminária Sobrepor	2	2	1				139,23	696,15
Lâmpadas	4	4	2	4	12	8	8	272
Reator	2	2	1	2	6	4	20	340
Total								2697,87

A metragem de cabos foi adotada de forma conservadora baseado na distância dos quadros de alimentação, as quais variam de um setor ao outro. Em média, segundo dados coletados junto à equipe, consideraremos 15 metros de cabos por setor. O valor por metro dos cabos (seção nominal de 1,5 mm²) foi determinado a partir de consulta feita ao site da Jabu – Materiais Elétricos e Hidráulicos (2015).

Tabela 5.2 – Custos Cabos - Adequação

[m]/setor	Cabos Condutores	Setor Alterado	Total Cabos [m]	[R\$/m]	Total
15	2	6	180	0,5145	92,61

Tabela 5.3 – Resumo Custos - Adequação

Item	Custo [R\$]
Iluminação	2.697,87
Cabos	92,61
Total [R\$]	2.790,48

5.1.1 Proposta de Substituição toda Iluminação – Tecnologia Tubular Fluorescente

Para a substituição de todas as lâmpadas fluorescentes dos setores alvos do estudo, ter-se-ia um gasto adicional apenas com a diferença das lâmpadas que já serão compradas para a proposta de adequação. A discriminação desses novos valores é apresentada abaixo, na Tabela 5.4.

Tabela 5.4 – Resumo Custos – Substituição tubular fluorescente.

Item	Custo [R\$]
Iluminação	2.697,87
Cabos	92,61
Custo Adicional Lâmpadas	560,0
Total [R\$]	3.350,48

A vida útil das lâmpadas que já fazem parte da planta atual é menor quando comparadas as que serão instaladas para adequação, assim como a intensidade do seu fluxo luminoso, que se sabe diminui com o tempo de uso. Numa tentativa de mantermos a uniformidade da iluminação oferecida, o custo para essa substituição pode ser considerado válido frente ao benefício da qualidade resultante a iluminação do ambiente. Além disso, o custo para tal corresponde a apenas 20% do valor do investimento da adequação. Portanto, é relevante e viável ser executado.

5.3 Proposta Iluminação LED

A análise dessa proposta será realizada considerando-se o custo adicional quando comparado aos custos de adequação dos setores. Sendo assim serão lavados em conta os gastos com os pontos adicionais de iluminação, que serão necessários, conforme descrito no capítulo anterior, gastos adicionais com cabos para esses pontos e ainda desconsiderados os gastos com reatores, pois essa tecnologia prescinde desse item. O valor da luminária LED foi baseado na proposta para lâmpadas PHILIPS LED TUBE 18 W 220V, oferecida pelo fornecedor credenciado da empresa (R\$52,99 por unidade), de forma que, proporcionalmente aos 21 [W] necessários ao projeto proposto, obtém-se o valor de R\$61,82 por lâmpada.

A Tabela 5.5 e 5.6 apontam os custos associados à implantação do projeto, separadamente a cada setor e ainda, a Tabela 5.7 o resumo discriminado ao investimento total aproximado à execução do serviço como um todo.

Tabela 5.5 – Custos Iluminação –LED

Item	Log.	Com.	RH	Finan.	TI	Aud.	Dir.	Arq. Morto	R\$/item	Total R\$/item
Luminária Embutir				2	2				115,81	463,24
Lâmpadas	20	12	6	12	24	16	20	2	61,82	6.923,84
Total										7.387,08

Tabela 5.6 – Custos adicionais com cabos - LED

[m]/setor	Cabos Condutores	Setor Alterado	Total Cabos [m]	[R\$/m]	Total [R\$]
15	2	2	90	0,5145	30,87

Tabela 5.7 – Resumo Custos - LED

Item	Custo [R\$]
Iluminação	7.387,08
Cabos	30,87
Total [R\$]	7.417,95

Para análise da viabilidade econômica do projeto, utilizando-se da tecnologia LED, a contabilização do fluxo de caixa é obtida pela diferença de gastos entre o consumo previsto com LED e consumo previsto com tubular fluorescente.

Serão considerados ainda um ano como equivalente 240 [dias] e tempo de utilização das lâmpadas por ano como equivalente a 1.960 [h/ano], ou seja, uma média de 8 horas por dia. Premissa essa, justificada pelo fato de a empresa, apesar de possuir horário de expediente de

9,75 [horas/dia], as lâmpadas ficarem acesas durante aproximadamente 80% do tempo, aproximadamente 8 [horas/dia].

A Tabela 5.8 apresenta a discriminação por ambiente das potências instaladas, respectivos tempos de utilização diários e consumos anuais nos intervalos de fora ponta (FP) e ponta, das lâmpadas com tecnologia tubular fluorescente. E a Tabela 5.9 um resumo dos custos anuais de energia com essa tecnologia.

Tabela 5.8 – Discriminação Consumo – Tubular Fluorescente.

Setor	Tempo Utilização- Fora Ponta [h/d]	Tempo Utilização- Ponta [h/d]	Pot. Instalada [kW]	Consumo Fora Ponta [kWh/ano]	Consumo Ponta [kWh/ano]
Logística	9	3	0,690	1.490,4	496,8
Comercial	8		0,414	794,88	
TI	8		0,690	1.324,8	
Diretoria	8		0,690	1.324,8	
RH	8		0,207	397,44	
Financeiro	8		0,414	794,88	
Auditório	8		0,552	1.059,84	
Arquivo Morto	2		0,069	33,12	
Total			3,726	7.720,16	496,8

Tabela 5.9 – Gastos Energia – Tubular Fluorescente.

	Tarifa [R\$/kWh]	Gasto Anual [R\$]
Consumo [kWh/ano] Fora Ponta	0,343684	2.474,23
Consumo [kWh/ano] Ponta	1,266102	629,00
Total		3.103,23

A Tabela 5.10 apresenta a discriminação por ambiente das potências instaladas e respectivos consumos anuais nos intervalos de fora ponta (FP) e ponta, das lâmpadas com tecnologia LED. E a Tabela 5.11 um resumo dos custos anuais de energia com essa tecnologia.

O fluxo de caixa será, portanto, obtido pela equação 5.1:

$$FC = \text{Gastos}_{\text{F}} - \text{Gastos}_{\text{LED}} \quad (5.1)$$

Onde:

Gastos_F: gasto de energia anual com iluminação tubular fluorescente [R\$/ano];

Gastos_{LED}: gasto de energia anual com iluminação LED [R\$/ano];

$$FC = \text{R\$}3.103,23 - 1.944,19 = 1.159,04 \text{ [R$/ano]}$$

Pela análise do *Payback* simples, temos um período de aproximadamente 7 anos para que a substituição das luminárias atuais por tecnologia LED comece a de fato dar algum retorno em cima do investimento inicial (I_0), equivalente a R\$7.417,95 para implantação do projeto. A vida útil dessas luminárias LED corresponde a 50.000 [horas], e ainda quando considerando o tempo de utilização anual previsto (1.960 horas por ano), as mesmas deverão ser trocadas apenas após 26 anos da sua instalação. Ou seja, o período de *Payback* quando visto por essa ótica corresponde a apenas 26,9% dos 26 anos possíveis de utilização das lâmpadas. Sendo os demais 73% restante do tempo, o período em que existirá um retorno financeiro em termos redução de gastos com energia.

Tabela 5.10 – Descriminação Consumo – LED.

Setor	Tempo Utilização- Fora Ponta [h/d]	Tempo Utilização- Ponta [h/d]	Pot. Instalada [kW]	Consumo Fora Ponta [kWh/ano]	Consumo Ponta [kWh/ano]
Logística	9	3	0,420	907,2	302,4
Comercial	8		0,252	483,84	
TI	8		0,504	967,68	
Diretoria	8		0,420	806,4	
RH	8		0,126	241,92	
Financeiro	8		0,252	483,84	
Auditório	8		0,336	645,12	
Arquivo Morto	2		0,042	20,16	
Total			2,352	4.556,16	302,40

Tabela 5.11 – Gastos Energia – LED

	Tarifa [R\$/kWh]	Gasto Anual [R\$]
Consumo [kWh/ano] Fora Ponta	0,343684	1.561,32
Consumo [kWh/ano] Ponta	1,266102	382,87
Total		1.944,19

Realizando-se a análise pelo método do Valor Presente Líquido (VPL), tão usual para esses tipos de projeto, e considerando-se uma TMA de 15% a.a., o retorno da economia será sentido apenas após 23 anos da implantação do projeto, ou seja, não pode ser considerado viável.

O VPL após 26 anos de utilização das lâmpadas, quando as mesmas deverão ser substituídas, é igual a R\$104,9. A Tabela 5.12 apresenta os dados do Fluxo de Caixa Ajustado (FCi) e VPL considerados para o cálculo. E ainda, o gráfico da Figura 5.1 os valores de VPL ao longo dos anos.

Tabela 5.12 – Fluxo de Caixa e VPL.

i	IO		VPL
	FC	FCi	
0			-7417,95
1	1159,04	1007,9	-6410,1
2	1159,04	876,4	-5533,7
3	1159,04	762,1	-4771,6
4	1159,04	662,7	-4108,9
5	1159,04	576,2	-3532,7
6	1159,04	501,1	-3031,6
7	1159,04	435,7	-2595,9
8	1159,04	378,9	-2217,0
9	1159,04	329,5	-1887,5
10	1159,04	286,5	-1601,0
11	1159,04	249,1	-1351,9
12	1159,04	216,6	-1135,2
13	1159,04	188,4	-946,9
14	1159,04	163,8	-783,1
15	1159,04	142,4	-640,6
16	1159,04	123,9	-516,8
17	1159,04	107,7	-409,0
18	1159,04	93,7	-315,4
19	1159,04	81,4	-233,9
20	1159,04	70,8	-163,1
21	1159,04	61,6	-101,6
22	1159,04	53,5	-48,0
23	1159,04	46,6	-1,4
24	1159,04	40,5	39,1
25	1159,04	35,2	74,3
26	1159,04	30,6	104,9

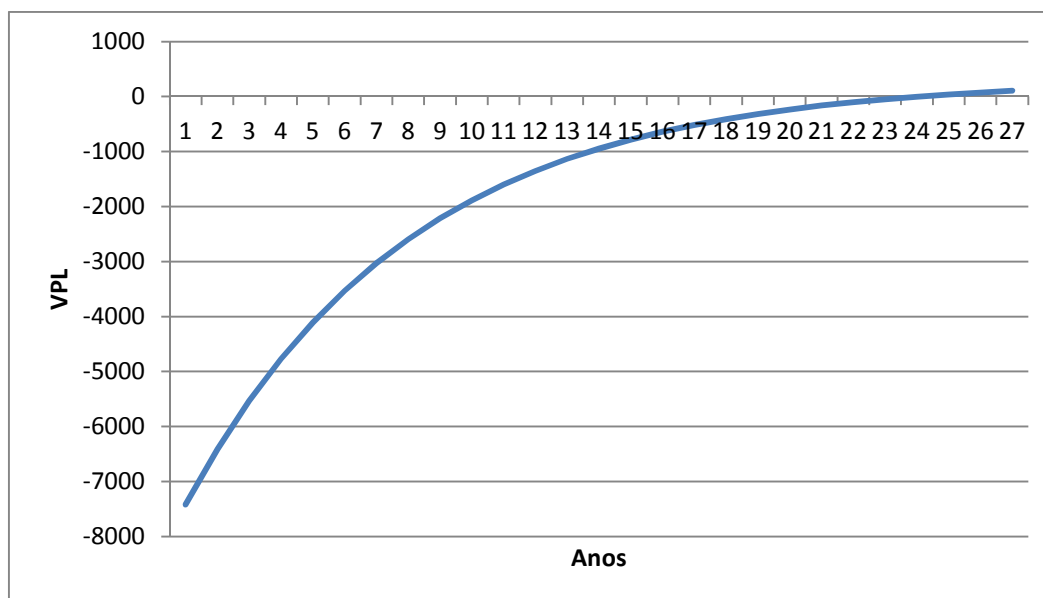


Figura 5.1 – VPL ao longo dos anos.

6. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os capítulos quatro e cinco desse trabalho tiveram focos distintos, enquanto no primeiro foi analisada a adequação dos sistemas de iluminação dos setores administrativos, bem como os ajustes necessários a adequação a norma. O segundo informou os custos referentes às sugestões de melhoria, incluindo também uma análise da viabilidade econômica a implantação da tecnologia LED, aproveitando para isso, ao máximo os recursos já existentes na planta atual, ou que será utilizada no projeto de adequação.

Através das figuras dos níveis de iluminância obtidas pelo programa *Lumisoft*, apresentadas no capítulo cinco, comprova-se que de fato existe a necessidade da reavaliação da qualidade de iluminação oferecida aos setores. Em especial aos casos onde houve a quebra de um ambiente único em três distintos. A nova proposta atende as especificações, oferecendo uma melhoria na qualidade da iluminação para todos os setores e respectivas regiões de entorno. A Tabela 6.1 apresenta um resumo das iluminâncias médias (E) obtidas para cada setor, tanto para a proposta com a tecnologia tubular fluorescente, quanto para a tubular LED.

Tabela 6.1 – Resumo Iluminância.

Setor	Norma	Atual		Tec. Fluorescente		Tec. LED	
	E	n ₀	E ₀	n	E	n _{LED}	E _{LED}
Logística	500	8	364,83	10	452,95	10	404,77
Comercial	500	4	353,57	6	513,70	6	462,74
TI	500	4	191,99	10	441,53	12	472,66
Diretoria	300	10	431,83	10	431,83	10	385,99
RH	500	2	177,23	3	554,28	3	495,31
Fiananceiro	500	2	188,09	4	495,79	6	442,82
Auditório	300	4	186,97	8	354,86	8	317,11
Arquivo Morto	300	1	315,72	1	315,72	1	282,13

A Tabela 6.2 informa resumidamente as alterações de potência instalada, tanto para a proposta de adequação utilizando-se da tecnologia tubular fluorescente, quanto da tecnologia LED. Nota-se uma redução média de aproximadamente 36,9% da potência instalada.

Tabela 6.2 – Resumo Potência Instalada – Fluorescente versus LED.

Setor	Tec. Fluorescente		Tec. LED	
	Pot. Instalada [W]	Pot. Instalada [W/m ²]	Pot. Instalada [W]	Pot. Instalada [W/m ²]
Logística	690	9,5	420	5,78
Comercial	414	11,6	252	7,06
TI	690	9,54	504	6,97
Diretoria	690	9,51	420	5,78
RH	207	13,81	126	8,41
Financeiro	414	11,6	252	7,06
Auditório	552	7,63	336	4,64
Arquivo	69	8,51	42	5,18
Morto				
Total	3.726	81,7	2.352	50,88

Percebe-se que para a manutenção dos níveis de iluminância estipulados como ideais a cada ambiente, a tecnologia LED oferece uma menor potência instalada e consequentemente um menor consumo de energia. O que corresponde a uma redução de 39,1% dos gastos no período de ponta, de 36,9% no período fora ponta e ainda de uma forma geral, uma redução anual dos gastos aproximada de 37,3%.

No entanto o investimento necessário a sua implantação em toda planta do setor administrativo ainda é muito alto. O *payback* calculado é de aproximadamente 7 anos e quando é realizada a análise do VPL, considerando-se uma TMA de 15% (compatível com a realidade econômica atual) o período de retorno é de aproximadamente 23 anos. O que pode ser considerado um indicativo do alto custo associado à implantação dessa tecnologia, ainda um dificultador a implantação desse tipo de projeto.

7. CONCLUSÃO

O trabalho apresenta a relevância do tema da eficiência energética voltado para os aspectos referentes à iluminação, as suas características próprias de projeto, e ainda no que diz respeito à importância da manutenção da sua qualidade nos ambientes de trabalho. Conforme descrito na NBR ISO/CIE 8995-1.

Pelo estudo de caso realizado na Indústria Fox, determinou-se não apenas a necessidade de adequação da iluminância oferecida aos setores administrativos da empresa, com atenção especial ao ambiente quebrado em três outros distintos, sendo também apresentadas três alternativas para adequação da iluminação.

A primeira sugerindo apenas a inclusão de mais pontos de luz, sem considerar a uniformidade da qualidade da iluminação (mantendo-se lâmpadas em uso há mais tempo junto às novas), o que não é o ideal, pois a homogeneidade do fluxo luminoso não será mantida.

Na segunda proposta, sugere-se a adequação dos pontos de iluminação e ainda a substituição de todas as lâmpadas fluorescentes T8 existentes por outras iguais, o que seria interessante e o custo não significativo, correspondendo a apenas 20% do investimento a adequação, que é algo estritamente necessário à manutenção da qualidade da iluminação.

Já a terceira proposta, propõe a substituição de todas as lâmpadas por outras de tecnologia LED, mantendo-se a qualidade da iluminação. Os custos envolvidos foram abordados de forma a evitar gastos desnecessários, aproveitando ao máximo os itens já inclusos na planta atual e também a mão de obra existente.

Pela análise comparativa das segunda e terceiras propostas fica evidenciado que, muito embora a tecnologia LED possua vários benefícios agregados, tais quais a qualidade da iluminação, a confiabilidade e a vida útil, o investimento associado a sua implantação ainda é muito alto. O que corresponde a um fator determinante a sua não implantação quando comparado a tecnologias igualmente eficientes e mais baratas.

REFERÊNCIAS

AMBIENTE ENERGIA. **Crise energética e as diferentes visões sobre o problema.** 2015. Disponível em: < <https://www.ambienteenergia.com.br/index.php/2015/02/crise-energetica-e-diferentes-visoes-sobre-o-problema/25550>>. Acesso em: 16 de agos. de 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO/CIE 8995-1: Iluminação de Ambientes de Trabalho Parte1: Interior.** Rio de Janeiro, 2013.

CREDER, H. **Instalações Elétricas.** 2007. 15. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.v.1.427 p.

DIDONÉ, E.L. **A influência da luz natural na avaliação da eficiência energética de edifícios contemporâneos de escritórios em Florianópolis/SC.** 2009. 179f. Dissertação de mestrado (Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009. Disponível em: < www.repositorio.ufsc.br>. Acesso em: 16 de agos. de 2015.

ELETOBRAS. **Eficiência Energética na Arquitetura.** 2013. Disponível em:< <http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/Livro%20-%20Efici%C3%Aancia%20Energ%C3%A9tica%20na%20Arquitetura.pdf>>. Acesso em: 16 de agos. de 2015.

GMR ELECTRIC SERVICE. **Catálogo PHILIPS.** Disponível em: <www.gmr.com.br>. Acesso em: 08 de nov. de 2015.

JABU MATERIAIS ELÉTRICOS E HIDRÁULICOS. **Iluminação.** 2015. Disponível em: <www.jabu.com.br>. Acesso em: 09 de nov. de 2015.

JABU MATERIAIS ELÉTRICOS E HIDRÁULICOS. **Cabos e Fios.** 2015. Disponível em: <www.jabu.com.br>. Acesso em: 09 de nov. de 2015.

LEROY MERLIN. **Lâmpadas e Reatores.** 2015. Disponível em: www.leroymerlin.br/escritorio. Acesso em: 09 de nov. de 2015.

LUMICENTER LIGHTING. **Lumisoft.** 2010. Disponível em:<www.limicenteriluminacao.com.br/pt/tecnologia/lumisoft>. Acesso em: 16 de agos. de 2015.

PHILIPS. Catálogo **TL-D LIFE MAX SUPER 80.** 2015. Disponível em: www.philips.com/lighting. Acesso em: 09 de nov. de 2015.

SANTOS, G.A. **Eficiência energética em sistemas de iluminação – Estudo de caso da sociedade beneficente israelita brasileira Hospital Albert Einstein.** 2012.78f. Monografia de especialização (Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética do Programa de Educação Continuada da Escola Politécnica da USP).Universidade de São Paulo, São Paulo.

VIVERCOM. **Indústria Fox.**2015. Disponível em:<<http://vivercon.com.br/verclientes.asp?id=4>>. Acesso em: 16 de agos. de 2015.