

WILLIAM TADASHI AOKI

PROJETO DE LUMINÁRIA LED PARA POSTOS DE COMBUSTÍVEL

William Tadashi Aoki

PROJETO DE LUMINÁRIA LED PARA POSTOS DE COMBUSTÍVEL

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Mecânica.

Orientador: Marcelo Augusto Santos Torres

Guaratinguetá

2017

Aoki, William Tadashi
A638p Projeto de luminária LED para postos de combustível / William
Tadashi Aoki – Guaratinguetá, 2017.
57 f : il.
Bibliografia: f. 54-57

Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade
Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2017.
Orientador: Prof. Dr. Marcelo Augusto Santos Torres

1. Diodos emissores de luz. 2. Iluminação. 3. Energia elétrica -
Consumo. I. Título.

CDU 628.9


Luciana Máximo

Bibliotecária/CRB-8 3595

WILLIAM TADASHI AOKI

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
"GRADUADO EM ENGENHARIA MECÂNICA"

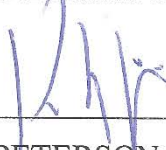
APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. MARCELO AUGUSTO SANTOS TORRES

Orientador/UNESP-FEG



Prof. Dr. PETERSON LUIZ FERRANDINI

UNESP-FEG



Prof. Dr. MARCELO SAMPAIO MARTINS

UNESP-FEG

Dezembro/2017

DADOS CURRICULARES

WILLIAM TADASHI AOKI

NASCIMENTO 23.09.1992 – Taubaté / SP

FILIAÇÃO Hélio Takeshi Aoki
 Giane Midori Honda Aoki

de modo especial, à minha noiva, grande incentivadora e
inspiração para que o curso fosse concluído.

e a meu pai, minha mãe e minha irmã por todo amor e
apoio incondicional em toda minha vida.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, fonte da vida e da graça. Agradeço pela minha vida, minha inteligência, minha família e meus amigos.

ao meu orientador, *Prof. Marcelo Augusto Santos Torres* que deu as melhores diretrizes com muita dedicação e empenho, jamais deixando-me desamparado durante o processo de desenvolvimento deste trabalho.

aos meus amigos que me acompanharam durante o curso, me incentivaram, me auxiliaram a estudar, em especial *Rodrigo Dias, Karen Faria, Marcos Kenji, Mariana Monteiro, Nicholas Sene, Nicolas Camargo, Ruy Caltabiano, e Tauana Barbosa*.

à SX Lighting, pela disponibilizar o material de estudo e dados para concretização do presente trabalho.

ao CTIG – Colégio Técnico Industrial de Guaratinguetá/UNESP, pela excelente formação, agregando conhecimentos que foram extremamente úteis durante o processo de graduação

à FEG – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá – UNESP, por todos os recursos, materiais e formação de qualidade que me proporcionaram diversas experiências e aprendizados.

à todos os professores os quais eu tive a honra de ser aluno e o prazer de ser amigo, que me ensinaram muito mais que a disciplina ministrada.

“O único lugar que o sucesso vem antes do trabalho
é no dicionário.”

Albert Einstein

AOKI, W. T. **Projeto de luminária LED para postos de combustível**. 2017. 55 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2017.

RESUMO

Há aproximadamente 5 anos, iniciou-se no Brasil o comércio de luminárias LED, sendo a grande maioria importadas da China. O mercado de iluminação a LED cresceu exponencialmente, permitindo a tecnologia a atender diversas áreas, incluindo a iluminação de postos de combustíveis. O presente trabalho propõe o desenvolvimento de um projeto para substituir uma luminária para postos de combustível fabricada por uma empresa da região do Vale do Paraíba, com principal objetivo a redução de peso e custo deste produto. O trabalho inicia-se com uma análise dos pontos críticos da luminária existente, identificando os pontos que podem ser aprimorados. Feito isso, inicia-se a definição dos componentes críticos do projeto (LED, *driver* e lente), seguindo da modelagem da estrutura física do projeto. Por fim, este trabalho realiza um estudo comparativo de peso, custo e performance entre o projeto e a luminária atual. O desenvolvimento deste projeto resultou em redução de 66% em peso e 34% em custo.

PALAVRAS-CHAVE: Luminária LED. Projeto. Postos de Combustível.

AOKI, W. T. **Project of LED luminaire for gas station.** 2017. 55 f. Graduate Work (Graduate in Mechanical Engineering) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2017.

ABSTRACT

About 5 years ago, the trade in LED luminaires began in Brazil, most of which were imported from China. The LED lighting market has grown exponentially, allowing the technology to serve a variety of areas, including the lighting of gas stations. The present work proposes the development of a project to replace a luminaire for gas stations manufactured by a company from the Vale do Paraíba region, with the main objective of reducing the weight and cost of this product. The work begins with an analysis of the critical points of the existing luminaire, identifying the points that can be improved. Once this is done, the definition of the critical components of the project begins (LED, driver and lens), followed by the modeling of the physical structure of the project. Finally, this work performs a comparative study of weight, cost and performance between the project and the current luminaire. The development of this project resulted in a reduction of 66% in weight and 34% in cost.

KEYWORDS: LED luminaire. Project. Gas station.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Impureza de antimônio numa base de silício.	17
Figura 2 - Impureza de boro numa base de silício.	17
Figura 3 - Modelo de funcionamento de um LED	18
Figura 4 - Modelos de LED High Power	19
Figura 5 - Luxeon 2835 Line	19
Figura 6 - Lente para aplicação em luminárias públicas.....	20
Figura 7 - Modelo driver Xitanium 180W	21
Figura 8 - Modelo código IP	21
Figura 9 - Gráfico de cores falsas	24
Figura 10 - Imagem frontal da luminária atual	27
Figura 11 - Imagem parte traseira da luminária atual	28
Figura 12 - Fortimo LED Line 1ft 2000 lm 1R HV3	30
Figura 13 - Fortimo LED Line 1 ft 2000 lm 3R HV2	31
Figura 14 - Certaflux LED Strip 1ft 1100lm HV2	31
Figura 15 - Florence-1R-Z90	32
Figura 16 - Florence-1R-Clip-A	32
Figura 17 - Florence-Z90-B	33
Figura 18 - Driver Xitanium 150W 0.2-0.7A 300V iXt 230V.....	38
Figura 19 - Curva Potência x Eficiência driver Xitanium 150W	38
Figura 20 - Projeto do Apoio	40
Figura 21 - Montagem das placas LED e lentes no apoio.....	40
Figura 22 - Projeto do Acabamento	41
Figura 23 - Fixação do Acabamento no Apoio	41
Figura 24 - Fixação do Suporte e driver no Apoio	42
Figura 25 - Desenho técnico Suporte	43
Figura 26 - Abraçadeira de nylon.....	43
Figura 27 - Peça “Base” do projeto	44
Figura 28 - Projeto da Base	44
Figura 29 - Processo encaixe conjunto pré-montado na base	45
Figura 30 - Distribuição das luminárias	49
Figura 31 - Representação de cores falsas (a) Luminária Atual (b) Nova luminária.....	50
Figura 32 - Gráfico de linhas isográficas luminária atual	51

Figura 33 - Gráfico de linhas isográficas da luminária projetada	52
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Código IP primeiro numeral característico	22
Tabela 2 - Código IP segundo numeral característico	22
Tabela 3 - Características luminária atual	26
Tabela 4 - Características das placas Fortimo 1R e Fortimo 3R.....	34
Tabela 5 - Relação corrente x eficácia para placa Fortimo 1R	34
Tabela 6 - Relação corrente x eficácia para placa Fortimo 3R	35
Tabela 7 - Fluxo luminoso das placas Fortimo 1R e Fortimo 3R	35
Tabela 8 - Quantidade mínima de placas Fortimo 1R e Fortimo 3R	36
Tabela 9 - Custo Placas LED e lente.....	36
Tabela 10 - Características das placas LED Fortimo 1R e Fortimo 3R.....	36
Tabela 11 - Consumo do das placas LED ligadas em série e paralelo.....	37
Tabela 12 - Relação de peso, área e custo das estruturas metálicas.....	46
Tabela 13 - Levantamento custo e peso do projeto	47
Tabela 14 - Características finais luminária atual e projeto	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CA	Corrente alternada
CC	Corrente contínua
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
NBR	Norma Brasileira Registrada
CIE	Comissão Eletrotécnica Internacional
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
Vac	Tensão em corrente alternada

LISTA DE SÍMBOLOS

E_m	Iluminância média
E_{min}	Iluminância mínima
E_{max}	Iluminância máxima
E_{min} / E_m	Uniformidade da iluminância
E_{min} / E_{max}	Uniformidade da iluminância no entorno imediato

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	FUNDAMENTOS TEÓRICOS	16
2.1	CONCEITOS DE ILUMINAÇÃO	16
2.2	COMPONENTES IMPORTANTES DE UMA LUMINÁRIA LED	16
2.3	GRAU DE PROTEÇÃO DE EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS	21
2.4	DISPOSITIVOS ADICIONAIS PARA LUMINÁRIAS	23
2.5	ESTUDO LUMINOTÉCNICO	23
3	ANÁLISES DA LUMINÁRIA ATUAL	26
3.1	CARATERÍSTICAS DA LUMINÁRIA ATUAL	26
3.2	ANÁLISE DE PERFORMANCE E ELÉTRICA	27
3.3	ANÁLISE FÍSICA	29
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	30
4.1	DEFINIÇÃO DOS COMPONENTES	30
4.1.1.	Placas LED e Lente	30
4.1.2.	Definição do driver	37
4.2	MODELAGEM 3D	39
4.3	COMPARATIVO DE PESO E CUSTO	46
4.4	COMPARATIVO DE PERFORMANCE LUMINOTÉCNICA	48
5	CONCLUSÕES	54
	REFERÊNCIAS	55

1 INTRODUÇÃO

Há aproximadamente 5 anos, iniciou-se no Brasil o comércio de luminárias LED, sendo a grande maioria importadas da China. Esta tecnologia veio com o intuito de substituir desde as luminárias indoors (lâmpadas fluorescentes com calhas, plafons, luminárias de embutir, etc.) até as luminárias outdoor ou industriais que utilizam de lâmpadas de vapor de alta pressão (vapor de sódio e metálico). As luminárias LED apresentam grandes vantagens para quem as utiliza, como por exemplo drástica redução no consumo de energia elétrica e custos de manutenção, proporcionando a médio prazo expressiva economia neste insumo. Com o passar do tempo, viabilizou-se a criação de empresas montadoras de luminárias outdoor. A partir disso, o mercado de iluminação a LED cresceu exponencialmente para atender diversas áreas, incluindo a iluminação de postos de combustíveis.

Atualmente as luminárias de postos de combustível não possuem nenhuma normativa regulamentadora. Com isso, existem muitos produtos de baixa qualidade, porém com preços competitivos. A empresa, que se baseará este trabalho, fabrica, entre outros produtos, luminárias LED's para postos de combustíveis. Esta luminária possui melhor qualidade, quando comparada aos concorrentes, mas é atualmente pouco competitiva nos quesitos preço e peso.

O objetivo deste trabalho será, portanto, desenvolver um projeto de luminária LED para posto de combustível que mantenha a qualidade do produto existente na empresa citada, porém com menor custo e peso, quesitos necessários para reestabelecer a sua competitividade.

2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 CONCEITOS DE ILUMINAÇÃO

Para o desenvolvimento de um projeto de luminária LED é fundamental o conhecimento das propriedades da luz. Dentre estas propriedades pode-se destacar:

Fluxo Luminoso – representa a quantidade de luz emitida em todas as direções por uma fonte luminosa. Esta potência é emitida sob a forma de luz e sua unidade de medida é o lúmen [lm]. (PIERRE RODRIGUES, 2002)

Uma lâmpada fluorescente de 40 [W], por exemplo, possui em média 2.400 [lm]. Já uma lâmpada tubular LED de 18 [W] possui em torno de 2.000 [lm].

Eficiência Luminosa – é o quociente entre o fluxo luminoso emitido pela potência consumida. Sua unidade de medida é lúmen por watt [lm/W]. (PIERRE RODRIGUES, 2002)

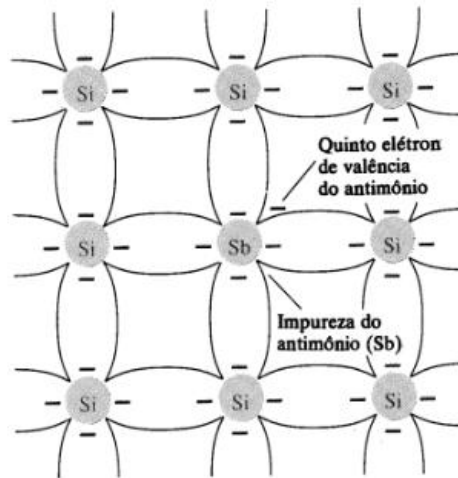
2.2 COMPONENTES IMPORTANTES DE UMA LUMINÁRIA LED

LED é uma abreviatura do termo em inglês *Light Emitter Diode*, ou seja, um diodo emissor de luz. O LED é composto por um semicondutor e, assim como nos diodos convencionais, é dividido em uma região tipo *p*, uma região tipo *n* e uma junção *p-n* (SUTHARSSAN, 2012).

Tanto a região *n* quanto a região *p* são formadas pela adição de um número predeterminado de átomos de impurezas em uma base. Esta base pode ser feita de Silício (Si), no caso dos diodos convencionais, de arsenieto de gálio (GaAsP) ou fosfeto de gálio (GaP) no caso do LED. As impurezas inseridas na região *n* possuem 5 elétrons de valência e a presença destas impurezas no material tipo *n* faz com que um elétron fique fracamente ligado ao seu átomo de origem. (BOYLESTAD; NASHELSKY; SIMON, 2004)

A Figura 1 apresenta a inserção de uma impureza de antimônio numa base de silício.

Figura 1 - Impureza de antimônio numa base de silício.

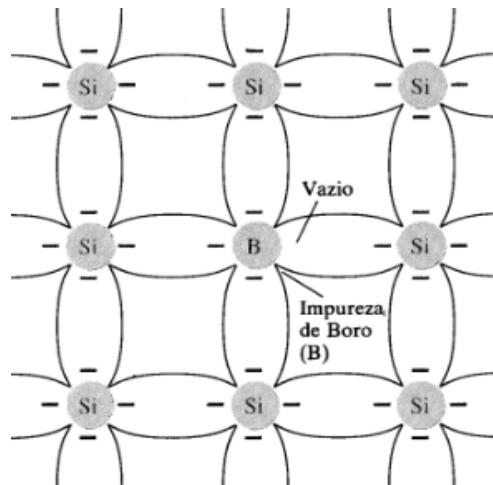


Fonte: Boylestad (2004)

Em contrapartida na região *p*, as impurezas possuem 3 elétrons de valência, desta forma a ausência de um elétron no átomo de origem gera lacunas ou buracos. (BOYLESTAD; NASHELSKY; SIMON, 2004)

Uma impureza de boro (B) numa base de silício gera uma lacuna, conforme Figura 2.

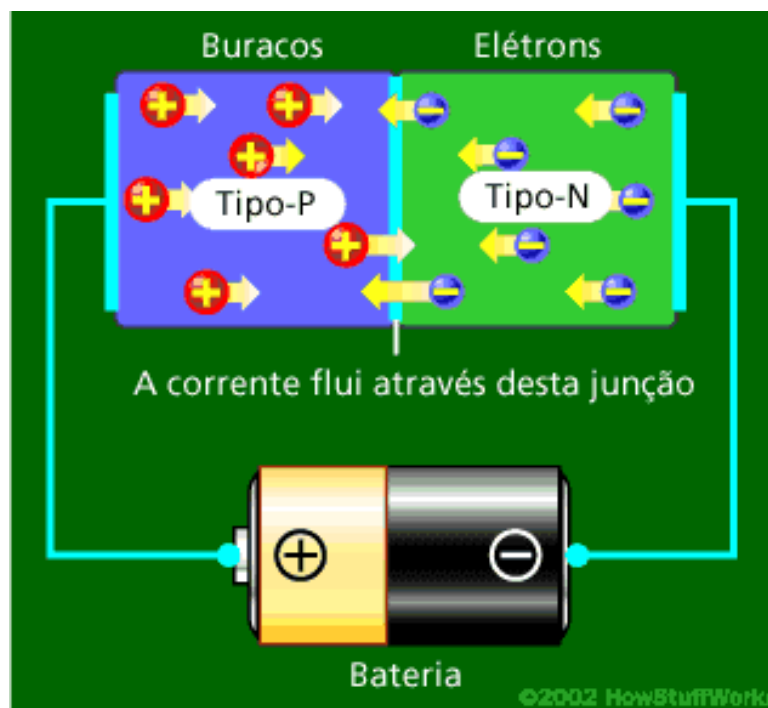
Figura 2 - Impureza de boro numa base de silício.



Fonte: Boylestad (2004)

O LED quando alimentado com corrente contínua (CC) de forma direta, faz com que os elétrons que possuem ligação mais fraca na região *n* se recombinem com as lacunas da região *p* através da junção *p-n*, conforme mostra Figura 3.

Figura 3 - Modelo de funcionamento de um LED



Fonte: Tvled (2012)

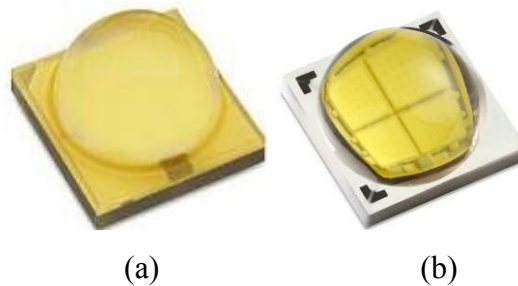
A energia gerada por esta recombinação é parcialmente emitida em forma de calor e em forma de fótons, gerando-se luz. O processo de geração de luz através de energia elétrica é conhecido como Eletroluminescência. (BOYLESTAD; NASHELSKY; SIMON, 2004)

O calor gerado pelo LED é um ponto de extrema importância para o desenvolvimento de novos produtos, pois a temperatura na junção *p-n* do LED, conhecida como temperatura de junção, influencia diretamente em suas propriedades, como quantidade de luz emitida e cor da luz. (JAYAWARDENA; LIU; NARENDRAN, 2013)

Existem diferentes tipos de LED's voltados para a iluminação, onde podemos destacar duas tecnologias amplamente aplicadas em luminárias: LED's de alta potência (*High Power*) e LED's de média potência (*Mid Power*). Um LED pode ser definido *High Power* quando o mesmo possui potência maior ou igual a 1 [W]. Este tipo de LED terá cerca de 80% da sua potência consumida convertida em calor, sendo necessário um sistema de dissipação térmica para que o LED opere com valores de temperatura de junção dentro da especificação de seu fabricante. Apesar de apenas 20% da energia consumida destina-se a geração de luz, existem LED's *High Power* que podem gerar até 3.000 [lm/LED]. (SUTHARSSAN, 2012). A Figura 4 apresenta dois modelos de LED's *High Power*, ambos da marca Lumileds. O primeiro modelo, Luxeon V, possui fluxo luminoso médio de 580 [lm], enquanto o segundo modelo, Luxeon MX, um fluxo luminoso de médio de 1.200 [lm].

Figura 4 - Modelos de LED *High Power*

(a) Luxeon V (b) Luxeon MX



Fonte: Lumileds holding b.v.. luxeon v product datasheet (2017); Lumileds holding b.v.. luxeon mx product datasheet (2017)

Já os LED's *Mid Power* possuem como características principais: potência entre 0,2 a 0,5 [W] e baixo custo. Os LED's *Mid Power* alcançam preços mais competitivos devido ao seu baixo consumo de potência permite que sua estrutura seja fabricada em plástico. Além disso, muitas das vezes este tipo de LED não possui em sua composição elementos ópticos, e em alguns casos, elementos de dissipação térmica baixando ainda mais seu custo. É importante destacar que a ausência destes elementos de dissipação térmica aumenta a sensibilidade do LED a temperatura ambiente, podendo gerar problemas de confiabilidade do produto. (BUFFOLO, 2015)

A Figura 5 mostra o modelo Luxeon 2835 Line da marca Lumileds. Um LED *Mid Power* que possui fluxo luminoso médio de 58 [lm].

Figura 5 - Luxeon 2835 Line



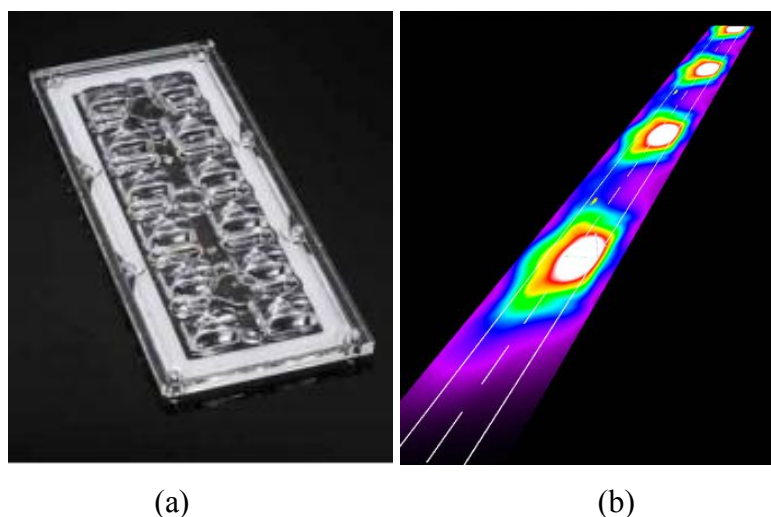
Fonte: Lumileds holding b.v.. luxeon 2835 line product datasheet (2017)

Uma das principais vantagens dos LED's *High Power* e *Mid Power* é a possibilidade do uso de lentes. As lentes são dispositivos ópticos feitos de material transparente e com boas propriedades ópticas. O principal objetivo das lentes é direcionar os raios de luz produzidos por uma fonte luminosa, refratando, convergindo ou divergindo tais raios com o mínimo de

perdas. (CHIU; LIN, 2013). A aplicação de lentes em luminárias LED torna o produto final mais versátil, considerando que as lentes podem direcionar os raios de luz de modo a atender uma aplicação específica. A Figura 6 apresenta a lente STRADA-IP-2X6-T2 da marca LEDil, que foi desenvolvida para iluminação de ruas e também uma simulação de como é a distribuição de iluminação da mesma.

Figura 6 - Lente para aplicação em luminárias públicas

(a) Lente STRADA-IP-2X6-T2 (b) Forma de distribuição de iluminação da lente numa rua.



Fonte: Ledil oy. application notes – strada-ip-2x6-t2 (2017)

Por fim, o último componente indispensável para uma luminária LED é o *driver*. Considerando que os LED's não podem ser alimentados diretamente pela rede elétrica, ou seja, 127 ou 220 [Vac], o *driver* atua como um dispositivo isolado com intuito de converter corrente alternada (CA) para corrente contínua e também regular, com precisão, a corrente de alimentação dos LED's. (Nie; Wu; Yu, 2013)

A Figura 7 apresenta um modelo de *driver* com consumo máximo 180 [W] de potência e corrente ajustável entre 0,1 a 1,05 [A]. Este ajuste de corrente é realizado via software.

Figura 7 - Modelo driver Xitanium 180W



Fonte: Philips lighting holding b.v.. xitanium 180w 0.1-0.9a 0-10v dimming with simpleset xi180c090v285bsf1 (2016)

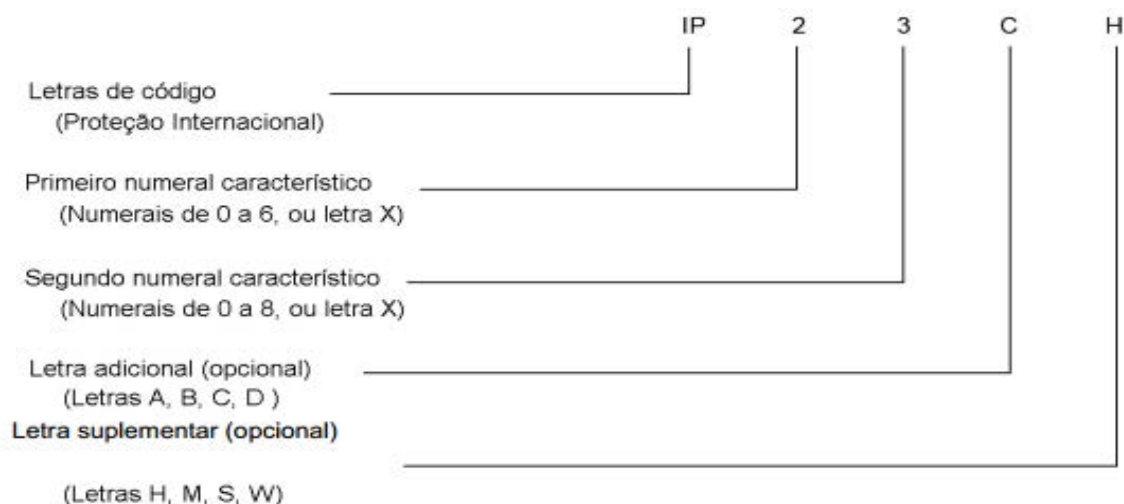
2.3 GRAU DE PROTEÇÃO DE EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS

O grau de proteção é referente a parte mecânica de invólucro de um equipamento elétrico. Segundo a ABNT NBR IEC 60529 (2005), o grau de proteção é definido como: “o nível de proteção provido por um invólucro contra o acesso às partes perigosas, contra a penetração de objetos sólidos estranhos e/ou contra a penetração de água, verificado através de métodos de ensaios normalizados.”

Esta proteção é padronizada por um sistema conhecido como Código IP, que tem por função indicar os graus de proteção e informação adicionais sobre os equipamentos elétricos.

O código IP é composto de dois numerais obrigatórios e duas letras opcionais, conforme modelo apresentado na Figura 8.

Figura 8 - Modelo código IP



Fonte: ABNT NBR IEC 60529 (2005)

O primeiro numeral característico varia de 0 a 6 e representa proteção contra o acesso às partes perigosas e contra a penetração de objetos sólidos estranhos. Já o segundo numeral característico, que varia de 0 a 8, representa a proteção contra penetração de água. As Tabelas 1 e 2 apresentam, respectivamente, a descrição do nível de proteção referente ao primeiro e segundo numerais característicos.

Tabela 1 - Código IP primeiro numeral característico

Primeiro numeral característico	Contra a penetração de objetos sólidos estranhos	Contra o acesso às partes perigosas com
0	Não protegido	Não protegido
1	≥ 50 mm de diâmetro	Dorso da mão
2	$\geq 12,5$ mm de diâmetro	Dedo
3	$\geq 2,5$ mm de diâmetro	Ferramenta
4	≥ 1 mm de diâmetro	Fio
5	$\geq$ protegido contra poeira	Fio
6	$\geq$ totalmente protegido contra poeira	Fio

Fonte: ABNT NBR IEC 60529 (2005)

Tabela 2 - Código IP segundo numeral característico

Segundo numeral característico	Contra a penetração de água com efeitos prejudiciais
0	Não protegido
1	Gotejamento vertical
2	Gotejamento (inclinação 15°)
3	Aspersão
4	Projeções d'água
5	Jatos d'água
6	Jatos potentes
7	Imersão temporária
8	Imersão contínua

Fonte: ABNT NBR IEC 60529 (2005)

Um grau de proteção elevado aumenta a qualidade e preço do produto final. Portanto é de fundamental importância realizar uma análise da aplicação da luminária para se determinar qual é o grau de proteção necessário.

2.4 DISPOSITIVOS ADICIONAIS PARA LUMINÁRIAS

Uma luminária LED pode acompanhar outros dois dispositivos: o dimer e o protetor antissurto.

O dimer é um controlador de fornecimento de potência às lâmpadas ou luminárias. (PIERRE RODRIGUES, 2002). O principal objetivo deste dispositivo é promover eficiência energética a sistemas de iluminação através de redução do consumo de potência elétrica.

Já o protetor antissurto, ou supressor de surto é um dispositivo que tem como objetivo evitar que um pico preestabelecido de tensão, corrente ou potência, cause danos aos equipamentos elétricos. (VIJAYARAGHAVAN; BROWN; BARNES, 2004)

Alguns *drivers* possuem estas tecnologias embutidas, tornando-os mais caros.

2.5 ESTUDO LUMINOTÉCNICO

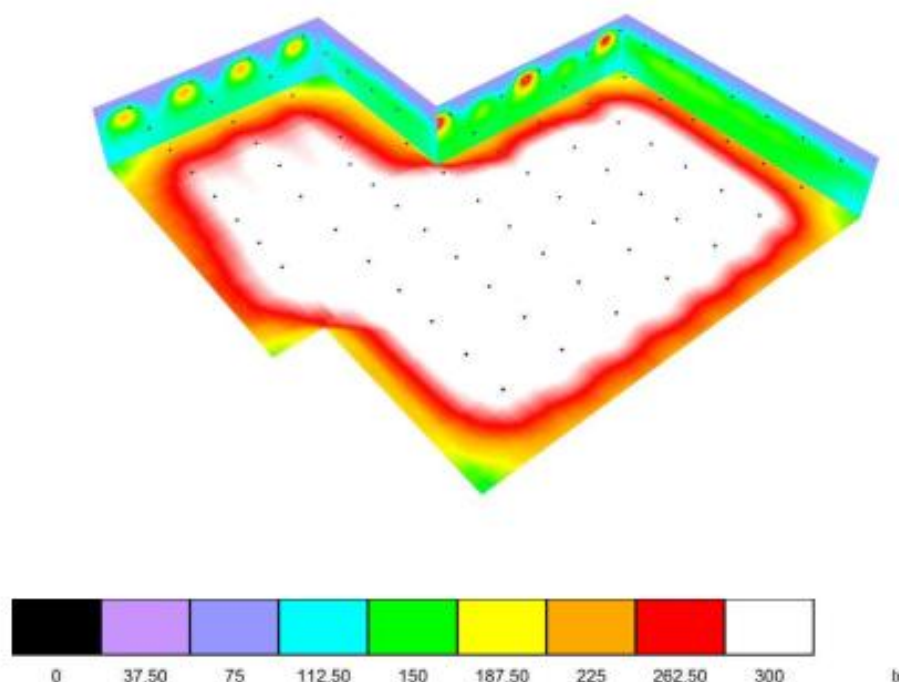
Uma das formas de análise de desempenho de uma luminária é através do estudo luminotécnico. Este estudo tem o intuito estimar o desempenho de um sistema de iluminação, com resultados bastante próximos do real. Tais cálculos podem ser desenvolvidos através de softwares, como por exemplo o DIALux.

No desenvolvimento via software é possível modelar o ambiente a ser estudado e inserir o fluxo luminoso e curva fotométrica de uma ou mais luminárias para realizar a simulação. As curvas fotométricas, também conhecidas como dados fotométricos, são arquivos que possibilitam gerar a curva de distribuição de iluminação de uma fonte luminosa. Normalmente estes dados são disponibilizados pelos próprios fabricantes em arquivos em formato .ies. (SILVA, 2013)

Os resultados do estudo luminotécnico serão dados em quantidades de iluminância. Iluminância representa o fluxo luminoso que incide em uma superfície, tendo como unidade de medida o lux [lx]. Um lux representa a incidência de um lúmen perpendicularmente a uma área de um metro quadrado. (PIERRE RODRIGUES, 2002)

A Figura 9 mostra um exemplo de um resultado gerado por um estudo luminotécnico, chamado de gráficos de cores falsas. Cada cor representa uma quantidade de lux mínima presente em cada ponto do ambiente.

Figura 9 - Gráfico de cores falsas



Fonte: Produção do próprio autor (2017)

Além do gráfico de cores falsas, o estudo luminotécnico fornecem outros cinco resultados de suma importância: iluminância média, iluminância mínima, iluminância máxima, uniformidade da iluminância e uniformidade de iluminância no entorno imediato. Estes conceitos são definidos como:

- Iluminância média E_m – “Valor abaixo do qual não convém que a iluminância média da superfície especificada seja reduzida.” (ABNT NBR ISO/CIE 8995-1, 2013, p.2)

- Iluminância mínima E_{min} – representa o menor valor de iluminância numa área de trabalho.

- Iluminância máxima E_{max} – representa o maior valor de iluminância numa área de trabalho.

- Uniformidade da Iluminância E_{min}/E_m – é o quociente entre os valores de iluminância mínima e iluminância média. Seu valor representa a variação de quantidade de iluminação na área de trabalho. Seu valor não deve ser inferior a 0,7, garantindo que a área de trabalho seja iluminada da forma mais uniforme possível.

- Uniformidade da Iluminância no Entorno Imediato $E_{\min}/E_{\max}$ – Da mesma forma que a uniformidade da iluminância, define uniformidade da iluminância como o quociente entre os valores de iluminância mínima e iluminância máximo. Para esta razão, o valor não deve ser inferior a 0,5 e garante uma boa distribuição de iluminação no campo de visão.

A norma NBR 8995-1 apresenta uma quantidade mínima de E_m para realização de uma determinada tarefa em um ambiente. Por exemplo, uma enfermaria necessita de $E_m = 500$ [lx], já uma sala de descanso $E_m = 100$ [lx]. Embora a norma NBR 8995-1 não apresente uma quantidade de E_m para postos de combustíveis, observa-se que é utilizado para esta aplicação E_m de aproximadamente 300 [lx].

3 ANÁLISES DA LUMINÁRIA ATUAL

3.1 CARATERÍSTICAS DA LUMINÁRIA ATUAL

Para início do projeto da luminária LED para posto de combustível foi importante analisar as características da luminária atual, considerando que o novo projeto deverá ter características similares à mesma. As informações técnicas da luminária atual podem ser encontradas no catálogo de produtos da empresa fabricante da mesma e em seu *datasheet*. A Tabela 3 mostra as principais características da luminária atual.

Tabela 3 - Características luminária atual

Propriedades	Luminária Atual
Fluxo Luminoso dos LED's [lm]	17.568
Potência [W]	150
Eficiência Luminosa [lm/W]	117
Ângulo de Abertura [°]	90
Grau de Proteção	IP 66
Proteção Antissurto	6 kV
Dimerização	Sim
Marca Driver	Philips
Marca Lente	LEDil
Peso [kg]	6,651
Custo	R\$ 1.155,16

Fonte: Adaptado da SX Lighting (2017)

Considerando que a média de peso e preço das luminárias existentes para postos de combustível é 2,0 [kg] e R\$ 600,00, respectivamente. Nota-se que a luminária atual possui valores superiores a esta média, alcançando 330% a mais em peso e 192,5% a mais em preço.

É importante destacar que a luminária atual utiliza tecnologia de ponta em todos os seus componentes importantes como: LED's, *driver* e lentes. Estas tecnologias utilizadas tornam a luminária um produto de qualidade, porém com alto custo.

Portanto, o estudo estará centrado no desenvolvimento de uma luminária para postos de combustível com tecnologia LED com o intuito de substituir o modelo existente da empresa em questão, propondo melhorias nos quesitos peso e preço, mantendo ao máximo a qualidade do produto atual.

3.2 ANÁLISE DE PERFORMANCE E ELÉTRICA

A luminária atual utiliza LED's *High Power*, totalizando 36 LED's divididos em 3 placas de circuito impresso acoplados em 3 dissipadores de calor. A lente é fabricada pela LEDil e fornece distribuição luminosa com ângulo 90°. A montagem das lentes dissipadores de calor garantem grau de proteção IP67 nas placas LED.

A Figura 10 mostra uma imagem frontal da luminária atual possibilitando visualizar as placas LED e lentes utilizadas.

Figura 10 - Imagem frontal da luminária atual



Fonte: SX LIGHTING. Datasheet - SX PC 150 Luminária Posto de Combustível LED - 150W (2017)

Com relação ao *driver*, pode-se destacar que o mesmo é fabricado pela Philips, e possui grau de proteção IP66, dimer embutido e proteção antissurto de 6kV. A Figura 11 mostra uma imagem retirada do *datasheet* da luminária atual, que apresenta uma vista traseira da luminária com indicativos sobre marca do *driver* e a presença de dissipadores de calor na estrutura da luminária atual.

Figura 11 - Imagem parte traseira da luminária atual



Fonte: SX LIGHTING. Datasheet - SX PC 150 Luminária Posto de Combustível LED - 150W (2017)

Uma das formas de reduzir custo do projeto é substituir a tecnologia LED's *High Power* para a tecnologia LED *Mid Power*. A alteração de tecnologia do LED impacta diretamente na redução de custo e também no peso do projeto, considerando que o baixo consumo de potência dos LED's *Mid Power* possibilita o desenvolvimento do projeto sem dissipadores de calor.

Considerando que placa LED utilizada na luminária atual é um modelo personalizado, a forma mais rápida, prática e barata de substituí-la é buscar uma placa LED padrão de mercado que contemple a tecnologia de LED's *Mid Power*.

Outros três pontos importantes a se destacar das características da luminária atual são: o grau de proteção, protetor antissurto e dimer. Num posto de combustível as luminárias não serão suscetíveis a entrada de água e objetos sólidos estranhos em seus componentes, considerando que em sua parte inferior não haverá emissões dos mesmos e sua parte superior é geralmente protegida por forro. Desta forma outra possível alteração no projeto seria reduzir o grau de proteção da luminária.

Além disso, o *driver* poderá ter um protetor antissurto de menor resistência e não possuir sistema de dimerização embutido. Os picos de tensão na rede elétrica são provenientes de descargas elétricas naturais (raios) e dissipação de altas valores de tensão no desligamento de equipamentos elétricos. Normalmente postos de combustível possuem poucos

equipamentos ligados a rede elétrica, e estes apresentam baixa a média potência, desta forma não é esperado incidência de picos de tensão na rede elétrica, tornando possível reduzir o nível de proteção antissurto presente no *driver*.

Considerando que um posto de combustível não realizará controle de iluminação durante o seu funcionamento, o dimer se torna um item desnecessário ao projeto.

Portanto, o nosso projeto terá como meta inicial encontrar um *driver*:

- Da marca Philips,
- Com grau de proteção inferior a IP 66
- Proteção antissurto inferior a 6 [kV]
- Sem dimerização

É importante destacar que a produtos das fabricantes Philips e LEDil é comercialmente importante para a empresa em questão. Portanto é fundamental a manutenção destas fabricantes para manter a qualidade do produto e tratativas comerciais da empresa fabricante da luminária atual.

3.3 ANÁLISE FÍSICA

A análise física tem como item de maior relevância o peso da luminária. A luminária atual pesa em torno de 6,6 [kg] divididos em estrutura metálica, dissipadores de calor, *driver* e demais componentes. Dentre os mencionados, os itens de maior influência sobre o peso são a estrutura metálica, contendo 5 peças em chapa de aço carbono com 2 [mm] de espessura, e dissipadores de calor.

Uma das formas de se reduzir o peso do projeto é realizar alterações na estrutura metálica do mesmo, porém estas alterações serão possíveis somente após a definição dos componentes críticos da luminária. Além destas alterações, conforme mencionado no item 3.2, o projeto terá como premissa a remoção dos dissipadores de calor, auxiliando na redução de peso do projeto.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 DEFINIÇÃO DOS COMPONENTES

4.1.1. Placas LED e Lente

Considerando a substituição da tecnologia LED aplicada na luminária atual, a busca inicial será baseada em placas LED que atendam às necessidades definidas no item 3.2.

Inicialmente, foram selecionadas três placas LED fabricadas pela Philips e com tecnologia LED's *Mid Power*. Desta forma, mantém-se a identidade da empresa fabricante da luminária, considerando que a mesma já trabalha com produtos Philips.

Foram encontradas três modelos de placas que atendem tais necessidades:

- Fortimo LED Line 1ft 2000 lm 1R HV3
- Fortimo LED Line 1ft 2000 lm 3R HV3
- Certaflux LED Strip 1ft 1100lm HV2

As Figuras 12, 13 e 14 apresentam uma foto das três placas selecionadas.

Figura 12 - Fortimo LED Line 1ft 2000 lm 1R HV3



Fonte: Philips lighting holding b.v.. certaflux led strip 1ft 1100lm hv2 (2016)

Figura 13 - Fortimo LED Line 1 ft 2000 lm 3R HV2



Fonte: Philips lighting holding b.v.. fortimo led line 1ft 2000lm 8xx 1r hv3 (2016)

Figura 14 - Certaflux LED Strip 1ft 1100lm HV2



Fonte: Philips lighting holding b.v.. certaflux led strip 1ft 1100lm hv2 (2016)

Para determinar qual placa LED é a mais adequada para o projeto foi necessário analisar um conjunto de fatores simultaneamente e verificar qual apresenta melhores resultados. Para tal, será analisado:

- Compatibilidade com lentes padrões de mercado;
- Fluxo luminoso;
- Potência consumida;
- Custo da placa LED;
- Custo da lente;

O primeiro critério de avaliação será compatibilidade com lentes padrão de mercado. Desta forma, foi necessário buscar lentes que, além de compatíveis com as placas em questão, sejam da marca LEDil, possuam distribuição de iluminação similar a luminária atual e grau de proteção inferior a IP67. Para atender tais requisitos, pode-se utilizar para a placa Fortimo 1R, o conjunto de 1 lente FLORENCE-1R-Z90 e 2 clips de fixação FLORENCE-1R-CLIP-A, que são ilustradas pelas Figuras 15 e 16, respectivamente.

Figura 15 - Florence-1R-Z90



Fonte: Ledil oy. product datasheet florence series (2017)

Figura 16 - Florence-1R-Clip-A



Fonte: Ledil oy. product datasheet florence series (2014)

É importante ressaltar que o conjunto analisado para a placa LED Fortimo 1R possui distribuição de iluminação em angulações de $90 + 100^\circ$, divergindo da distribuição de iluminação da luminária atual. Em contrapartida, o impacto desta divergência deverá ser analisado através de um estudo luminotécnico.

Para a placa LED Fortimo 3R, pode-se utilizar a lente FLORENCE-Z90-B, ilustrada pela Figura 17.

Figura 17 - Florence-Z90-B



Fonte: Ledil oy. product datasheet florence series (2017)

Diferentemente do conjunto para placa Fortimo 1R, a lente FLORENCE-Z90-B não necessita de clip de fixação e podendo ser fixada com parafusos através dos furos presentes em sua extensão. Outro ponto a ser destacado é a distribuição de iluminação proporcionada pela lente Florence-Z90-B, considerando que a mesma apresenta ângulo de abertura de 90° que é similar a luminária atual. Esta similaridade não dispensa análise via estudo luminotécnico para aprovação do projeto.

Dentre as placas LED escolhidas, a única que não possui lente dentro dos padrões estabelecidos é placa Certaflux. Em contato realizado junto a LEDil, o custo para desenvolver uma lente personalizada para a placa Certaflux é aproximadamente US\$ 30.000,00, tornando inviável o desenvolvimento da mesma.

Portanto, a análise das placas LED será em torno das placas Fortimo 1R e 3R, e caso ambas não apresentem resultados satisfatórios, será realizada uma nova pesquisa de mercado com alterações nos requisitos exigidos.

A Tabela 4 apresenta algumas características das placas Fortimo 1R e Fortimo 3R que são relevantes para o desenvolvimento do projeto.

Tabela 4 - Características das placas Fortimo 1R e Fortimo 3R

Propriedades	Fortimo 1R	Fortimo 3R
Corrente de Alimentação [mA]	500	630
Tensão de Alimentação [V]	32	50,32
Fluxo Luminoso Placas [lm]	2.613	3.359
Potência [W]	16	31,7
Peso [kg]	0,018	0,108

Fonte: Adaptado de Philips (2017)

É importante destacar a empresa fabricante da luminária atual divulga valores de fluxo luminoso referentes aos componentes LED's de forma individual, e o fluxo luminoso apresentado na Tabela 4 é referente à placa LED. A quantidade de iluminação gerada por um LED individual é superior que o mesmo montado numa placa de circuito impresso, considerando que há perdas térmicas nos LED e elétricas na placa. Desta forma há uma eficácia entre os valores de fluxo luminoso da placa LED e os LED's individuais. Os *datasheets* das placas Fortimo 1R e Fortimo 3R apresentam estes valores de eficácia baseada na corrente aplicada nas placas.

As Tabelas 5 e 6 apresentam estes valores de eficácia para as placas Fortimo 1R e 3R respectivamente.

Tabela 5 - Relação corrente x eficácia para placa Fortimo 1R

Corrente [mA]	Eficácia [%]
500	96
473	97
433	98
394	100
355	102
315	104
276	106
236	108

Fonte: Adaptado de Philips (2017)

Tabela 6 - Relação corrente x eficácia para placa Fortimo 3R

Corrente [mA]	Eficácia [%]
630	92
570	94
456	97
380	100
342	101
304	103
266	105
228	106

Fonte: Adaptado de Philips (2017)

Considerando que as placas Fortimo 1R e Fortimo 3R serão alimentadas com 500 [mA] e 630 [mA], respectivamente é possível estimar os fluxos luminosos dos LED's individuais utilizando os valores de eficácia das Tabelas 5 e 6. A Tabela 7 apresenta os fluxos luminosos dos LED's para placas Fortimo 1R e Fortimo 3R como também algumas de suas características elétricas.

Tabela 7 - Fluxo luminoso das placas Fortimo 1R e Fortimo 3R

Propriedades	Fortimo 1R	Fortimo 3R
Corrente de Alimentação [mA]	500	630
Fluxo Luminoso Placas [lm]	2.613	3.359
Eficácia [%]	96	92
Fluxo Luminoso LED's [lm]	2.722	3.651
Corrente de Alimentação [mA]	500	630
Tensão de Alimentação [V]	32	50,32
Potência [W]	16	31,7

Fonte: Adaptado de Philips (2017)

Analisando os valores de fluxo luminoso apresentados na Tabela 7, observa-se que com apenas uma placa, independente do modelo, o fluxo luminoso ficará abaixo dos valores da luminária atual. Portanto, é necessário determinar um número mínimo de placas de cada modelo necessários para se atingir um fluxo luminoso próximo a 17.568 [lm], que correspondente ao fluxo da luminária atual.

A Tabela 8 apresenta as quantidades de mínimas de placas LED a serem utilizadas no projeto, bem como os valores de fluxo luminoso e potência referentes a estas mesmas quantidades.

Tabela 8 - Quantidade mínima de placas Fortimo 1R e Fortimo 3R

Propriedades	Fortimo 1R	Fortimo 3R
Quantidade de placas	6	5
Fluxo Luminoso LED's [lm]	16.332	18.225
Potência nas Placas [W]	96	158,5

Fonte: Produção do próprio autor (2017)

Dentre os critérios estabelecidos para a definição da placa LED, ainda faltam analisar o custo das placas LED e o custo das lentes. A Tabela 9 apresenta estes valores.

Tabela 9 - Custo Placas LED e lente.

Propriedades	FORTIMO 1R - FLORENCE-1R-Z90	FORTIMO 3R - FLORENCE-Z90-B
Custo Placa LED [R\$]	R\$ 27,68	R\$ 70,35
Custo lente [R\$]	R\$ 18,83	R\$ 36,75
Custo clip [R\$]	R\$ 2,57	-

Fonte: Produção do próprio autor (2017)

Com todas as informações referentes a placa LED e lente, torna-se possível definir qual será o melhor conjunto para desenvolvimento do projeto. A Tabela 10 mostra as características e custos finais, considerando a quantidade mínima de placas determinadas anteriormente.

Tabela 10 - Características das placas LED Fortimo 1R e Fortimo 3R

Propriedades	Fortimo 1R	Fortimo 3R
Quantidade de placas	6	5
Corrente de Alimentação [mA]	500	630
Tensão de Alimentação [V]	32	50,32
Fluxo Luminoso LED's [lm]	16.332	18.225
Potência nas Placas [W]	96	158,5
Custo Placas [R\$]	R\$ 166,08	R\$ 351,75
Custo Lentes [R\$]	R\$ 112,98	R\$ 183,75
Custo Clips [R\$]	R\$ 30,84	-
Peso Final [kg]	0,108	0,540
Custo Final [R\$]	R\$ 309,90	R\$ 535,50

Fonte: Produção do próprio autor (2017)

Portanto, conforme dados apresentados pela Tabela 10, torna-se viável iniciar o projeto utilizando o conjunto Fortimo 1R, considerando que o custo do final do mesmo é cerca de 42% menor que o conjunto Fortimo 3R.

4.1.2. Definição do *driver*

A definição das placas LED permite iniciar a busca de um *driver* que atenda às necessidades de fornecimento de energia para as mesmas. Para tal, é necessário definir um esquema de ligação elétrica das placas para verificar quais serão as características elétricas do *driver*.

Inicialmente, por questões de facilidade, as placas serão arranjadas todas em série ou todas em paralelo. A Tabela 11 apresenta os valores de tensão, corrente e potência necessárias para realizar a alimentação das placas ligadas em série e em paralelo

Tabela 11 - Consumo do das placas LED ligadas em série e paralelo

Esquema Elétrico	Corrente Total [mA]	Tensão Total [V]	Potência Total [W]
Série	500	192	96
Paralelo	3000	32	96

Fonte: Produção do próprio autor (2017)

Baseado na Tabela 11, o *driver* deverá fornecer as placas 500 [mA] e 192 [V] para as placas LED caso as mesmas sejam ligadas em série. Caso sejam ligadas em paralelo, o *driver* deverá fornecer 3.000 [mA] e 32 [V].

Conforme citado no item 3.2, o *driver* deverá ser da marca Philips para manter as características da empresa fabricante da luminária atual, além de não ter dimer e grau de proteção elevado.

Dentro de tais limitantes, o único *driver* dentro do catálogo da Philips que atende os critérios definidos é o modelo Xitanium 150W 0.2-0.7A 300V iXt 230V, ilustrado pela Figura 18.

Figura 18 - *Driver* Xitanium 150W 0.2-0.7A 300V iXt 230V

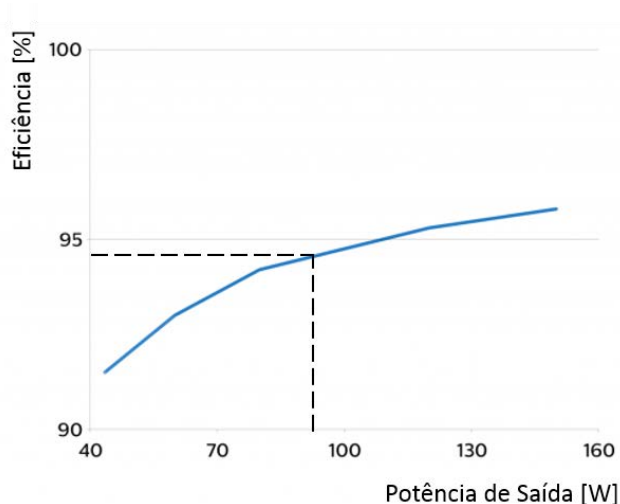


Fonte: Philips lighting holding b.v.. xitanium 150W 0.2-0.7A 300V iXt 230V (2016)

Este *driver* possui fornecimento de corrente entre 0,2 a 0,7 [A], podendo esta ser programada via software, 100 a 300 [V] e um máximo de 150 [W]. Portanto o mesmo atende aos requisitos elétricos exigidos pelas placas. Além disso o *driver* não possui dimer, tem peso de 0,278 [kg], grau de proteção IP20 e custo de R\$ 27,68.

É necessário determinar a potência consumida pela luminária projetada para que seja possível realizar um comparativo de consumo de energia entre a mesma e a luminária atual. O *datasheet* do *driver* apresenta a curva de eficiência x potência de saída do dispositivo. Esta curva é mostrada pela Figura 19 e, através dela torna-se possível estimar a potência de entrada do *driver*, ou seja, a potência consumida pela luminária projetada. Considerando que as placas consomem 96 [W], o gráfico fornece uma eficiência do *driver* de aproximadamente 94%, portanto, a potência consumida pelo projeto será em torno de 102 [W].

Figura 19 - Curva Potência x Eficiência *driver* Xitanium 150W



Fonte: Philips lighting holding b.v.. xitanium 150w 0.2-0.7a 300v ixt 230v (2016)

4.2 MODELAGEM 3D

Com todos os componentes críticos da luminária definidos, torna-se possível o processo de modelagem da estrutura física da luminária. O software utilizado foi o Catia V5 com utilização do módulo *Generative Sheetmetal Design*, que trabalha em sistema de chapas de metal. (sistema igual ao da luminária atual)

Com o intuito de reduzir o peso da luminária, o projeto foi desenvolvido em alumínio, considerando que o somatório do peso dos componentes definidos nos itens 4.1.1 e 4.1.2 não ultrapassa 1 [kg]. Esta premissa de projeto não descarta ensaios e estudos mais aprofundados de resistência mecânica do projeto, caso o mesmo seja aprovado e fabricado pela empresa.

Baseado nos pontos destacados acima, desenvolveu-se quatro peças metálicas para o projeto da luminária:

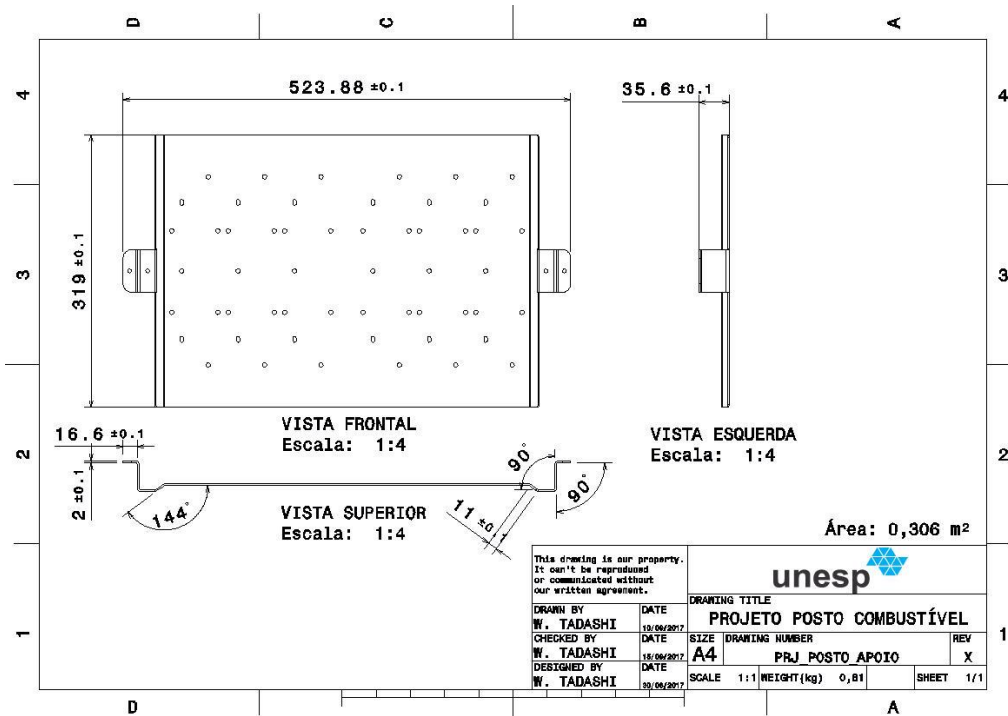
- Base
- Apoio
- Suporte
- Acabamento

O Apoio é responsável por fixar as placas LED e lentes em sua face frontal e permitir passagem de cabos para alimentação das placas. Para tal foram criados furos guia para posicionamento das placas e também furos para fixação dos Clips do conjunto das lentes FLORENCE-1R-Z90.

Além disso o Apoio é a peça chave do projeto, considerando que o mesmo será o responsável por montar o Acabamento e o Suporte à sua estrutura.

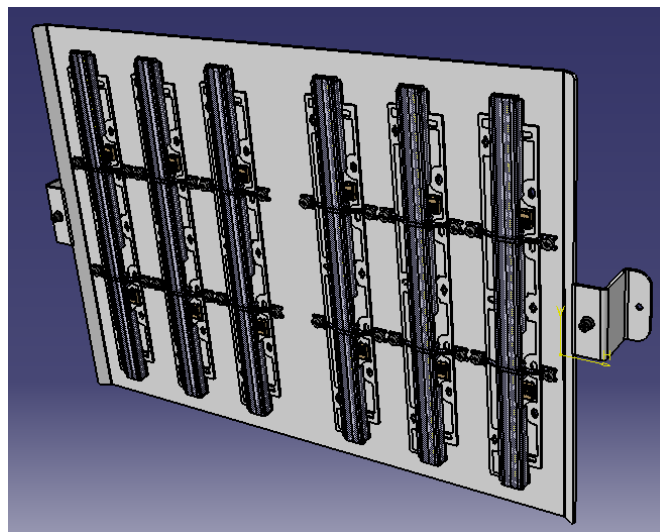
A Figura 20 mostra o projeto do Apoio e a Figura 21 mostra a montagem das placas LED e conjunto de lente no apoio.

Figura 20 - Projeto do Apoio



Fonte: Produção do próprio autor (2017)

Figura 21 - Montagem das placas LED e lentes no apoio

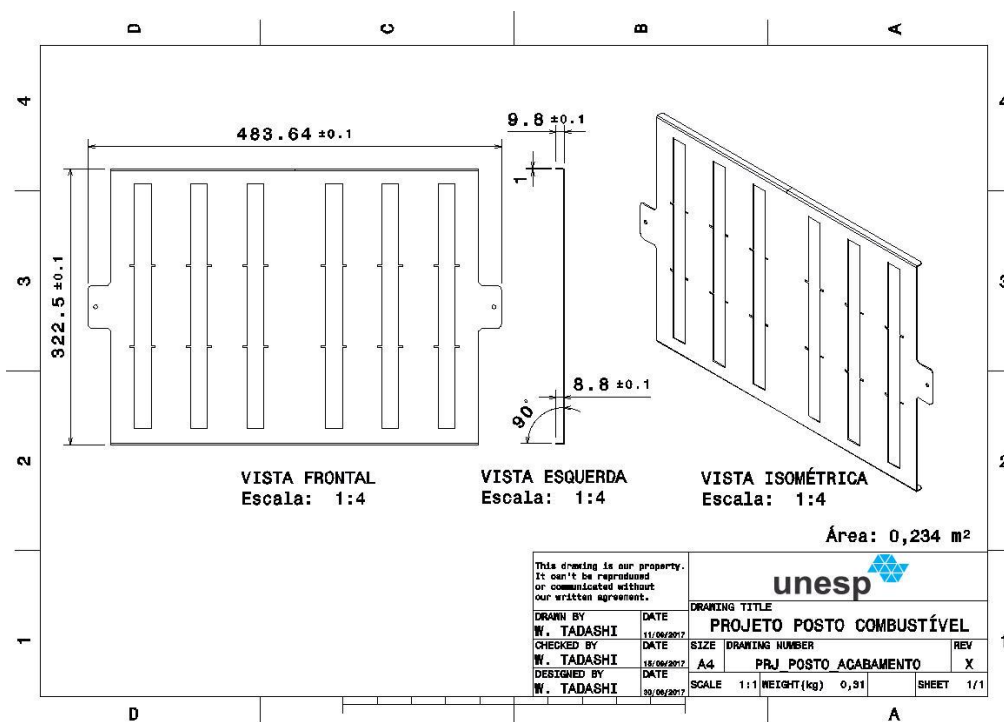


Fonte: Produção do próprio autor (2017)

Uma das peças acopladas ao Apoio é o Acabamento. Esta peça é responsável pela parte estética do projeto, com função de cobrir ligações elétricas e fixação das placas realizadas no Apoio.

Conforme o desenho técnico do Acabamento apresentado pela Figura 22, nota-se a presença de duas abas laterais ao Acabamento com comprimento de 9.8 [mm]. Estas abas têm como função aumentar a resistência mecânica da peça, impedindo que ela flexione.

Figura 22 - Projeto do Acabamento

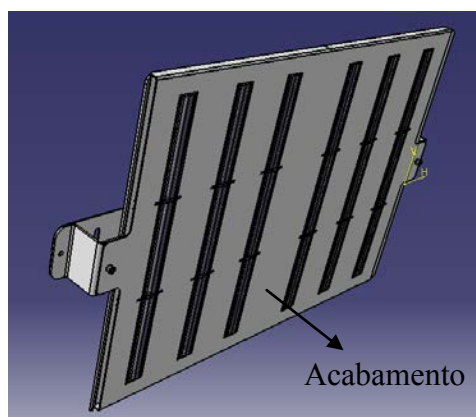


Fonte: Produção do próprio autor (2017)

Além disso, o Acabamento foi projetado para que interferisse o menos possível na iluminação. Para tal, foram projetados rasgos que permitissem a passagem das lentes.

A Figura 23 mostra a montagem do Acabamento no Apoio.

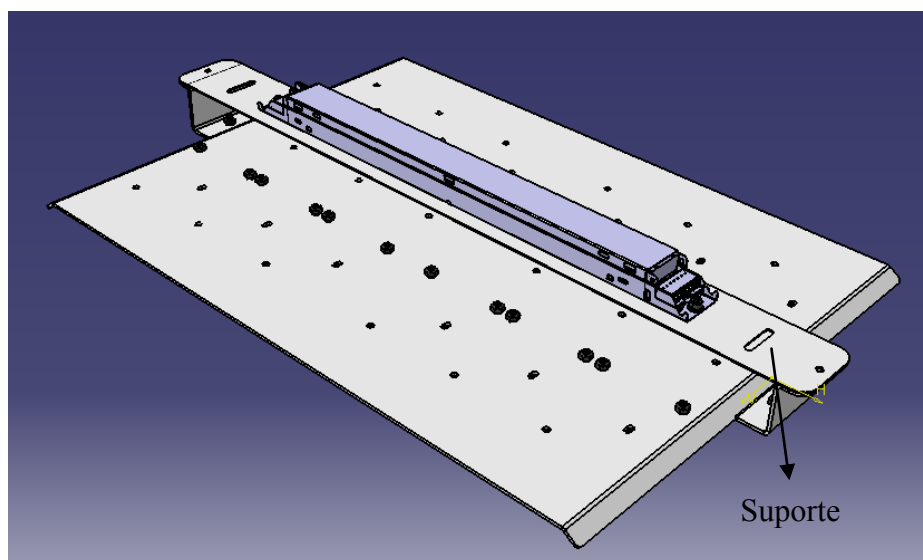
Figura 23 - Fixação do Acabamento no Apoio



Fonte: Produção do próprio autor (2017)

A segunda peça que deve ser montada no Apoio é o Suporte. O Suporte é o responsável pela fixação do *driver*, e este conjunto deverá ser fixado na parte superior do Apoio, conforme Figura 24.

Figura 24 - Fixação do Suporte e *driver* no Apoio

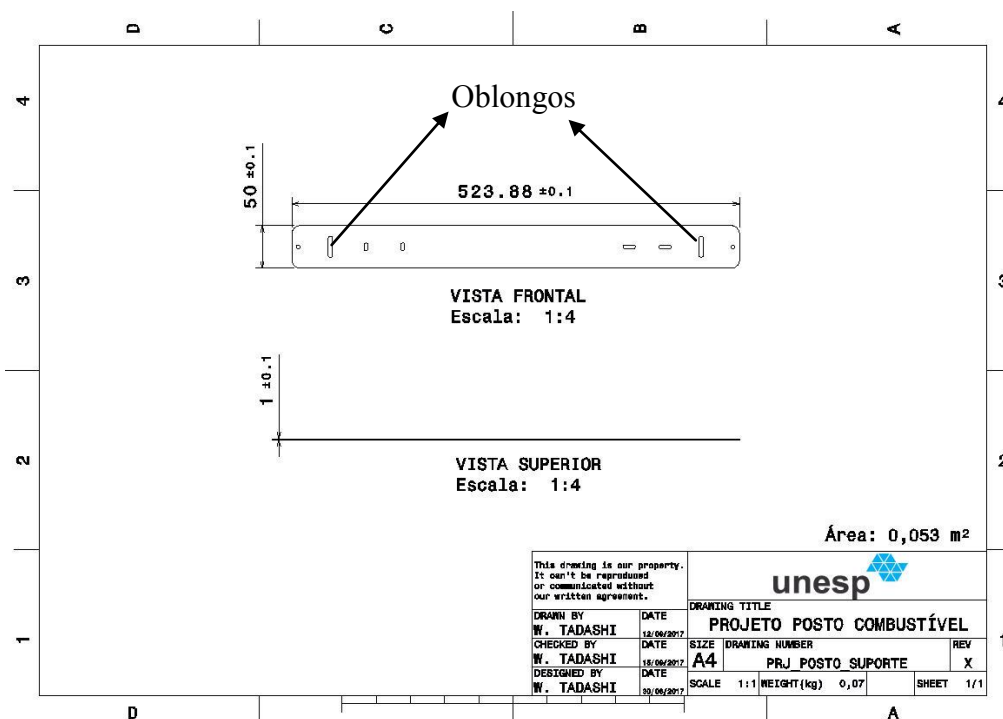


Fonte: Produção do próprio autor (2017)

É importante destacar que tanto as placas LED quanto *driver* gerarão calor quando estiverem em funcionamento. Desta forma é desaconselhável fixar ambos os componentes numa mesma superfície, considerando que esta montagem prejudicaria a dissipação de calor dos componentes. Portanto, o Suporte fixado nas abas superiores do Apoio faz com que o *driver* e as placas LED sejam montadas em superfícies distintas e permitindo uma melhor dissipação de calor.

A Figura 25 apresenta o desenho técnico do Suporte, e através deste podemos destacar os dois oblongos mais próximos das extremidades.

Figura 25 - Desenho técnico Suporte



Fonte: Produção do próprio autor (2017)

Estes oblongos foram desenvolvidos para permitir a fixação dos cabos de energia de entrada e saída do *driver*, de forma que o manuseio ou transporte do produto não causem esforço nas conexões dos cabos no *driver* evitando soltura dos mesmos. Esta fixação seria realizada através de abraçadeiras de nylon.

A Figura 26 apresenta um modelo de abraçadeira de nylon e forma de utilização.

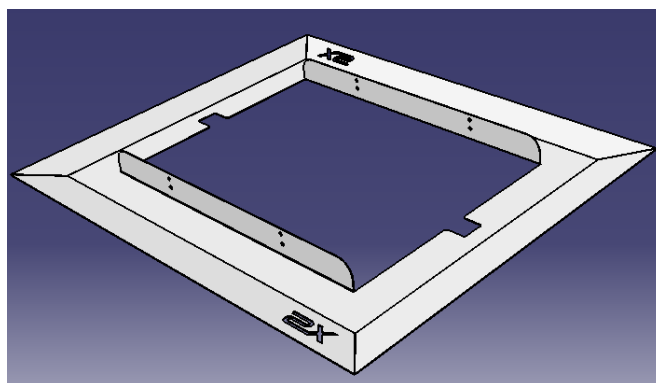
Figura 26 - Abraçadeira de nylon



Fonte: Hellermann tyton ltda (2017)

A peça final do projeto é a única com montagem independente das anteriores. Esta peça é chamada de Base e tem por função a fixação da luminária no forro dos postos de combustíveis. Ilustrada pela Figura 27, a Base mantém o sistema de montagem da luminária atual, com duas abas perpendiculares ao plano principal.

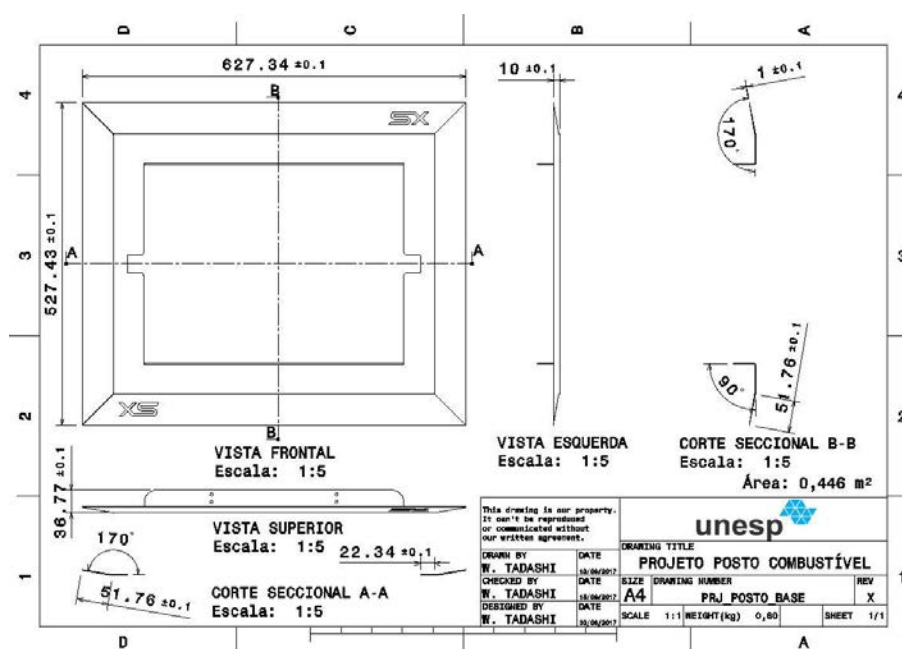
Figura 27 - Peça “Base” do projeto



Fonte: Produção do próprio autor (2017)

Através do desenho técnico da Base, apresentado pela Figura 28, pode-se destacar, além das abas de montagem da luminária, as abas anguladas em 170° nas arestas da peça. Estas abas têm como função aumentar a resistência a flexão da Base e também melhorar a estética da luminária.

Figura 28 - Projeto da Base

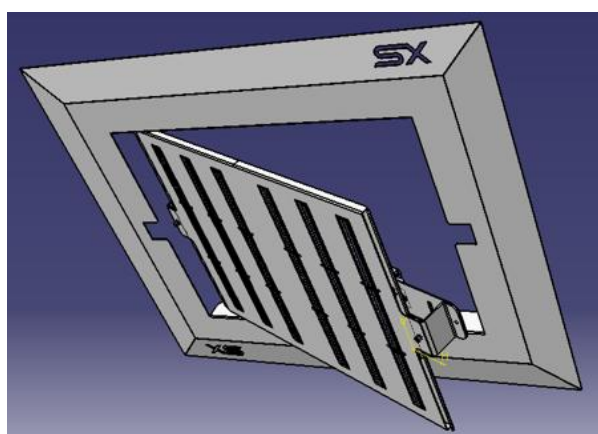


Fonte: Produção do próprio autor (2017)

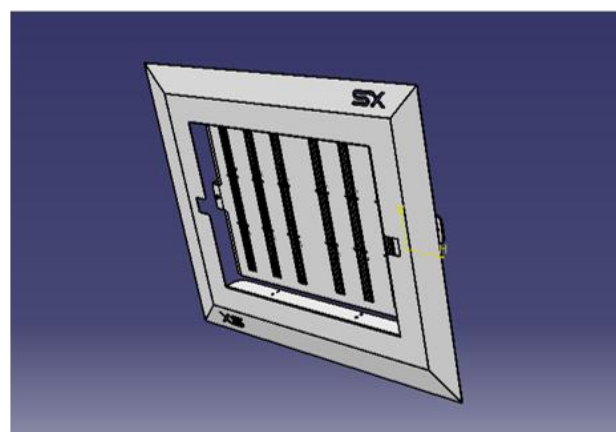
A montagem final do projeto iniciará com a fixação da Base no forro do posto de combustível. A mesma poderá ser realizada com cabos de aço ou arames com diâmetro máximo de 5 [mm]. Estes cabos de aço deverão ser passados pelos furos das abas perpendiculares da Base e amarradas na estrutura metálica dos postos de combustíveis, de forma que a Base fique totalmente apoiada na superfície do forro. As demais peças e seus respectivos componentes deverão ser montados separadamente, formando um conjunto responsável pela parte elétrica e geração de iluminação do projeto. Este conjunto deverá ser inserido pelo rasgo central da Base, centralizado ao rasgo e apoiado na mesma, conforme Figura 29.

Figura 29 - Processo encaixe conjunto pré-montado na base

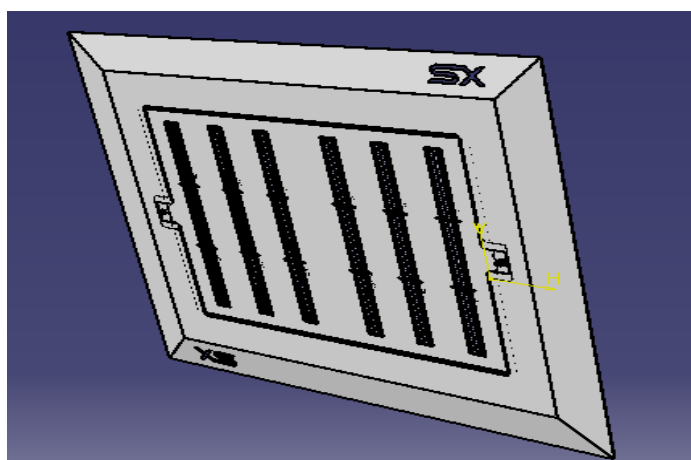
(a) Inserção conjunto a base (b) ajuste posicionamento do conjunto sobre a base (c) apoiar o conjunto sobre a base



(a)



(b)



(c)

Fonte: Produção do próprio autor (2017)

Apesar do procedimento apresentado pela Figura 29 não exigir elementos de fixação para montagem, é importante destacar que o conjunto responsável pela iluminação estará protegido pelo forro do posto de combustível, impedindo que o mesmo se movimente em uso. Além disso, o fato do conjunto estar apoiado na Base facilita a manutenção, considerando que a inserção ou remoção do conjunto é simples e rápida.

4.3 COMPARATIVO DE PESO E CUSTO

Finalizado o dimensionamento de sua estrutura metálica, foi possível comparar a luminária atual com projeto desenvolvido para verificar se os objetivos da redução de peso, redução do custo e manter a qualidade do produto, foram atingidos.

Foi necessário, portanto, realizar um levantamento do peso e custo dos itens que compõe o projeto. Os pesos das peças foram estimados via software Catia V5 e dos componentes via *datasheet*. Os custos foram obtidos através de cotações com fornecedores.

Para as estruturas metálicas, a média de custo para fabricação das mesmas foram de:

- R\$18,00/kg as chapas de Alumínio
- R\$15,00/m² para pintura eletroestática epóxi cor branca.

A Tabela 12 mostra uma estimativa de custo da estrutura metálica através das informações obtidas nos desenhos técnicos da mesma:

Tabela 12 - Relação de peso, área e custo das estruturas metálicas

Peça	Peso [kg]	Custo Matéria Prima [R\$]	Custo Corte e Dobra [R\$]	Área [m ²]	Custo Pintura [R\$]	Custo Total [R\$]
Apoio	0,814	14,65	19,70	0,306	4,59	R\$ 38,94
Acabamento	0,310	5,58	14,06	0,234	3,51	R\$ 23,15
Base	0,597	10,75	16,06	0,446	6,69	R\$ 33,50
Suporte	0,069	1,25	8,02	0,053	0,80	R\$ 10,07

Fonte: Produção do próprio autor (2017)

Os demais valores de custos foram obtidos através de contato telefônico com empresas fornecedoras dos insumos. A Tabela 13 apresenta peso e custo referente a todos os insumos utilizados no projeto. A precisão dos pesos é devida as informações contidas em seus *datasheets* dos componentes e cálculo de peso estimado pelo software Catia V5 para as estruturas metálicas.

Tabela 13 - Levantamento custo e peso do projeto

Propriedades	Quantidade	Peso [kg]	Peso Total [kg]	Custo Unitário [R\$]	Custo Total [R\$]
Placas Fortimo 1R	6	0,018	0,108	R\$ 27,68	R\$ 166,10
Lente Florence-1R-Z90	6	0,000	0,060	R\$ 18,83	R\$ 113,00
Florence-1R-Clip-A	12	0,000	0,010	R\$ 2,57	R\$ 30,80
Driver Xitanium 150W 0.2-0.7A	1	0,278	0,278	R\$ 79,62	R\$ 79,62
Estrutura - Apoio	1	0,814	0,814	R\$ 38,94	R\$ 38,94
Estrutura - Acabamento	1	0,310	0,310	R\$ 23,15	R\$ 23,15
Estrutura – Base	1	0,597	0,597	R\$ 39,58	R\$ 33,50
Estrutura - Suporte	1	0,069	0,069	R\$ 10,07	R\$ 10,07
Parafuso M4x8 Philips Panela	24	0,000	0,015	R\$ 0,20	R\$ 4,80
Parafuso M4x10 Allen Cilíndrico	4	0,000	0,002	R\$ 0,20	R\$ 0,80
Arruela M4	4	0,000	0,001	R\$ 0,15	R\$ 0,60
Porca M4 Travante	28	0,000	0,002	R\$ 0,15	R\$ 4,20
Cabos Flexíveis	1,70 m	0,000	0,020	R\$ 0,50	R\$ 0,85
		TOTAL	2,286	TOTAL	R\$ 506,43

Fonte: Produção do próprio autor (2017)

Se assumirmos um BDI de 150% no produto (ordem de grandeza obtida por pesquisa de mercado), a luminária projetada terá um valor de venda aproximadamente de R\$ 759,65. A Tabela 14 apresenta as características da luminária atual e do projetada.

Tabela 14 - Características finais luminária atual e projeto

(continua)

Propriedades	Luminária Atual	Nova Luminária
Fluxo Luminoso dos LED's [lm]	17.568	16.332
Potência [W]	150	102
Eficiência Luminosa [lm/W]	117	160

Tabela 14 - Características finais luminária atual e projeto

(conclusão)		
Propriedades	Luminária Atual	Nova Luminária
Ângulo de Abertura [°]	90	90° + 100
Grau de Proteção	IP 66	IP 20
Proteção Antissurto	6 kV	2 kV
Dimerização	Sim	Não
Marca Driver	Philips	Philips
Marca Lente	Ledil	Ledil
Peso [kg]	6,651	2,266
Custo	R\$ 1.155,16	R\$ 759,65

Fonte: Produção do próprio autor (2017)

Conforme os dados da Tabela 14, pode-se inferir que o projeto atingiu, em princípio, seus principais objetivos. A redução de peso e custo foram de aproximadamente 66% e 34%, respectivamente.

É importante destacar que os orçamentos dos itens foram realizados para um volume baixo de compra. Considerando que para compras em grandes quantidades, o custo dos insumos do projeto tende a cair tornando o preço de venda da luminária ainda menor.

O mais importante foi que as modificações propostas não impactaram significativamente na qualidade do produto, considerando que os componentes críticos do projeto dos mesmos fornecedores da empresa fabricante da luminária atual.

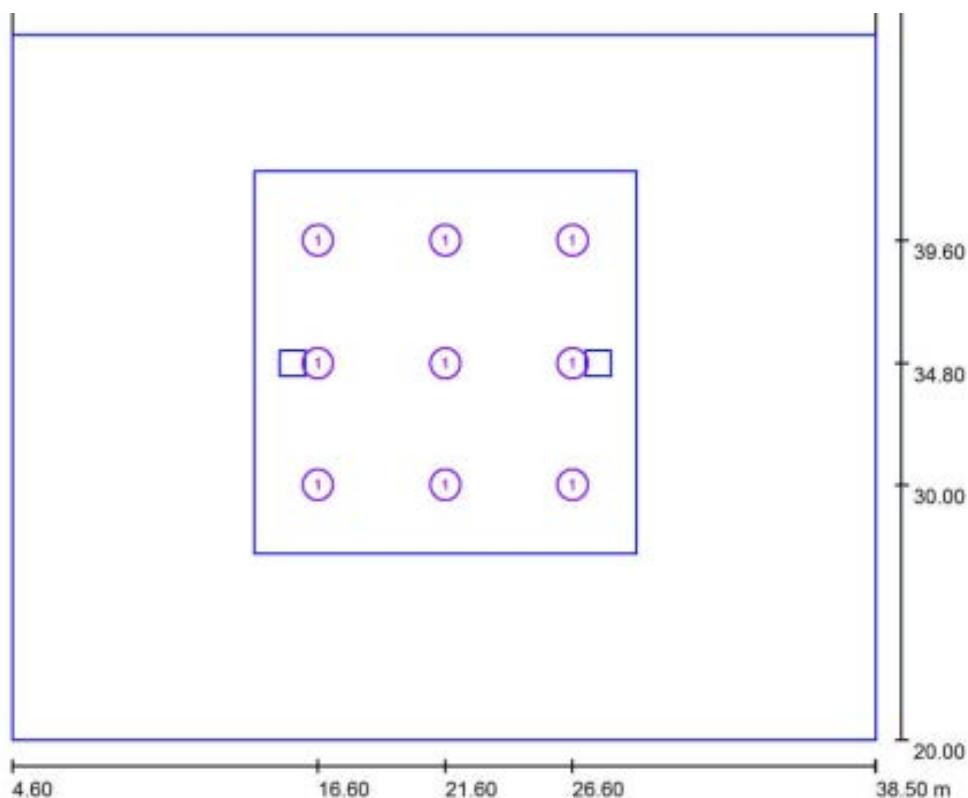
Apesar da nova luminária apresentar cerca de 7% a menos de fluxo luminoso em relação a luminária atual, o mesmo também apresenta redução de 32% no consumo de energia elétrica, tornando o projeto 27% mais eficiente.

4.4 COMPARATIVO DE PERFORMANCE LUMINOTÉCNICA

Atingido os objetivos de redução de peso e custo propostos, ainda é necessário verificar se o projeto possui desempenho luminotécnico similar à luminária atual. Para tal, será realizado um estudo luminotécnico, utilizando o software DIALux 4.12.

O desenvolvimento deste estudo foi baseado na modelagem de um posto de combustível com dimensões de forro 15 x 15 [m] e duas pilastras centrais. Nesta área foram distribuídas 9 luminárias instaladas a uma altura de 7 metros, conforme Figura 30.

Figura 30 - Distribuição das luminárias



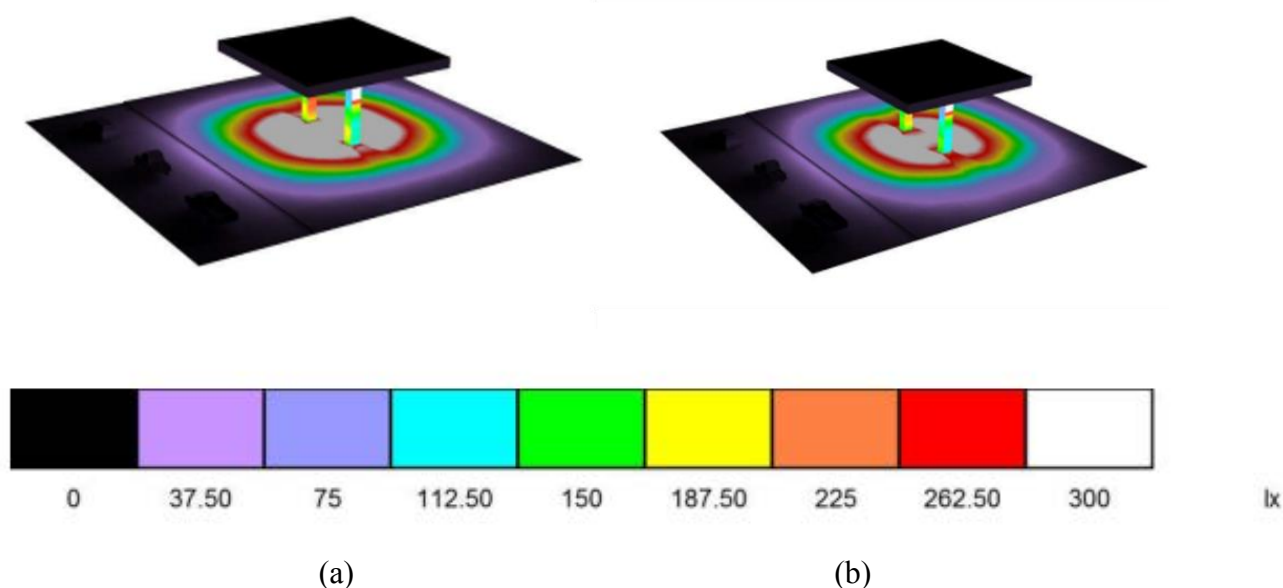
Fonte: Produção do próprio autor (2017)

Foram realizadas duas simulações:

- 1) Simulação utilizando fluxo luminoso e curva fotométrica da luminária atual. Ambos os dados fornecidos pela empresa fabricante da luminária atual.
- 2) Simulação utilizando fluxo luminoso da nova luminária e curva fotométrica da lente Florence-1R-Z90, com fluxo luminoso apresentado na Tabela 14 e curva fotométrica fornecida pela LEDil.

Os resultados foram gerados resultados em forma de gráficos de cores falsas, representados pela Figura 31, e gráficos linhas isográficas que apresentam os resultados de iluminância conceituados no item 2.5.

Figura 31 - Representação de cores falsas (a) Luminária Atual (b) Nova luminária

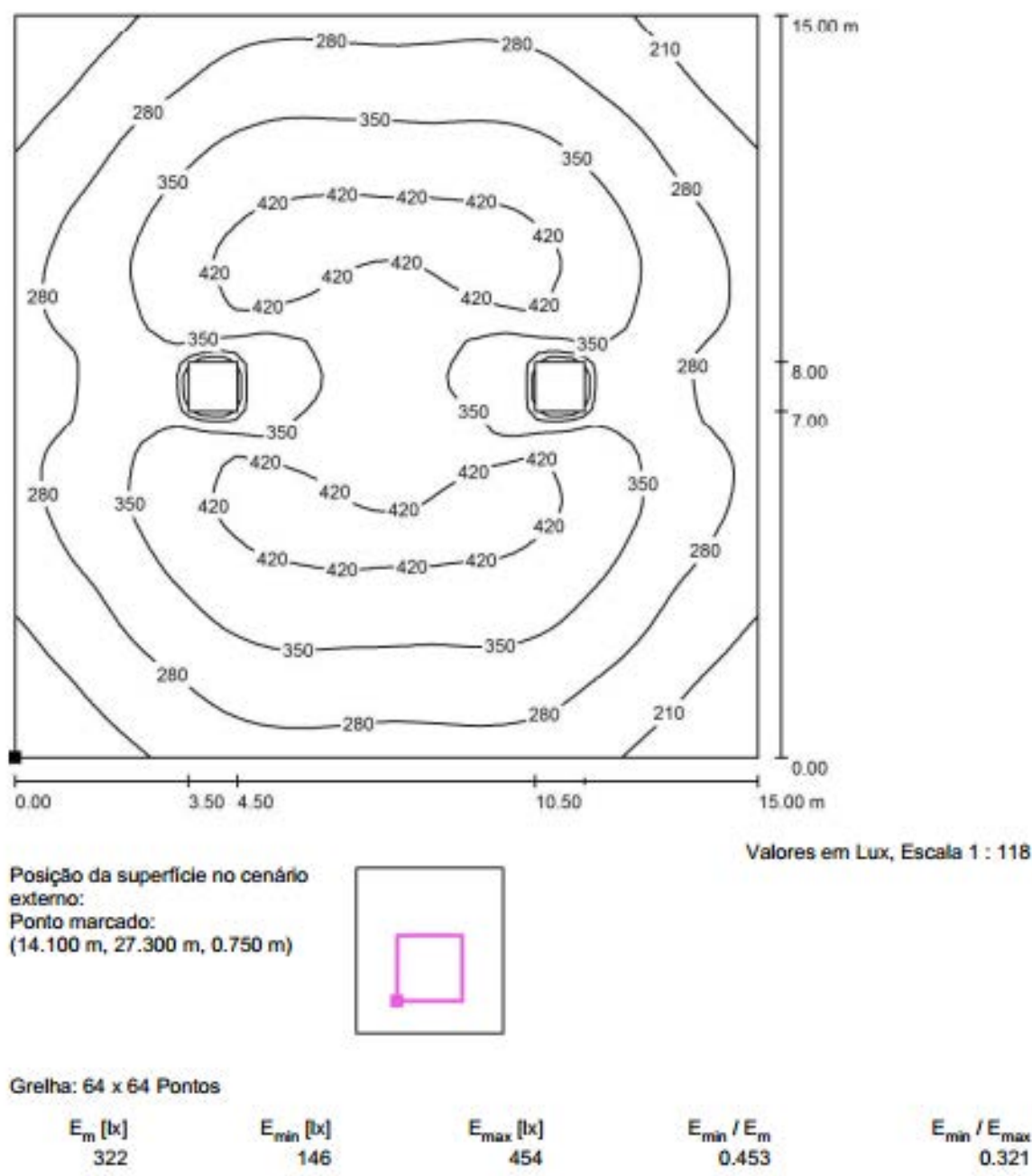


Fonte: (Produção do próprio autor, 2017)

Apesar do gráfico de cores falsas apresentarem resultados que, a olho nu, são próximos para ambas as simulações, é necessário avaliar os resultados de iluminância, considerando que os gráficos de cores falsas não apresentam resultados numéricos.

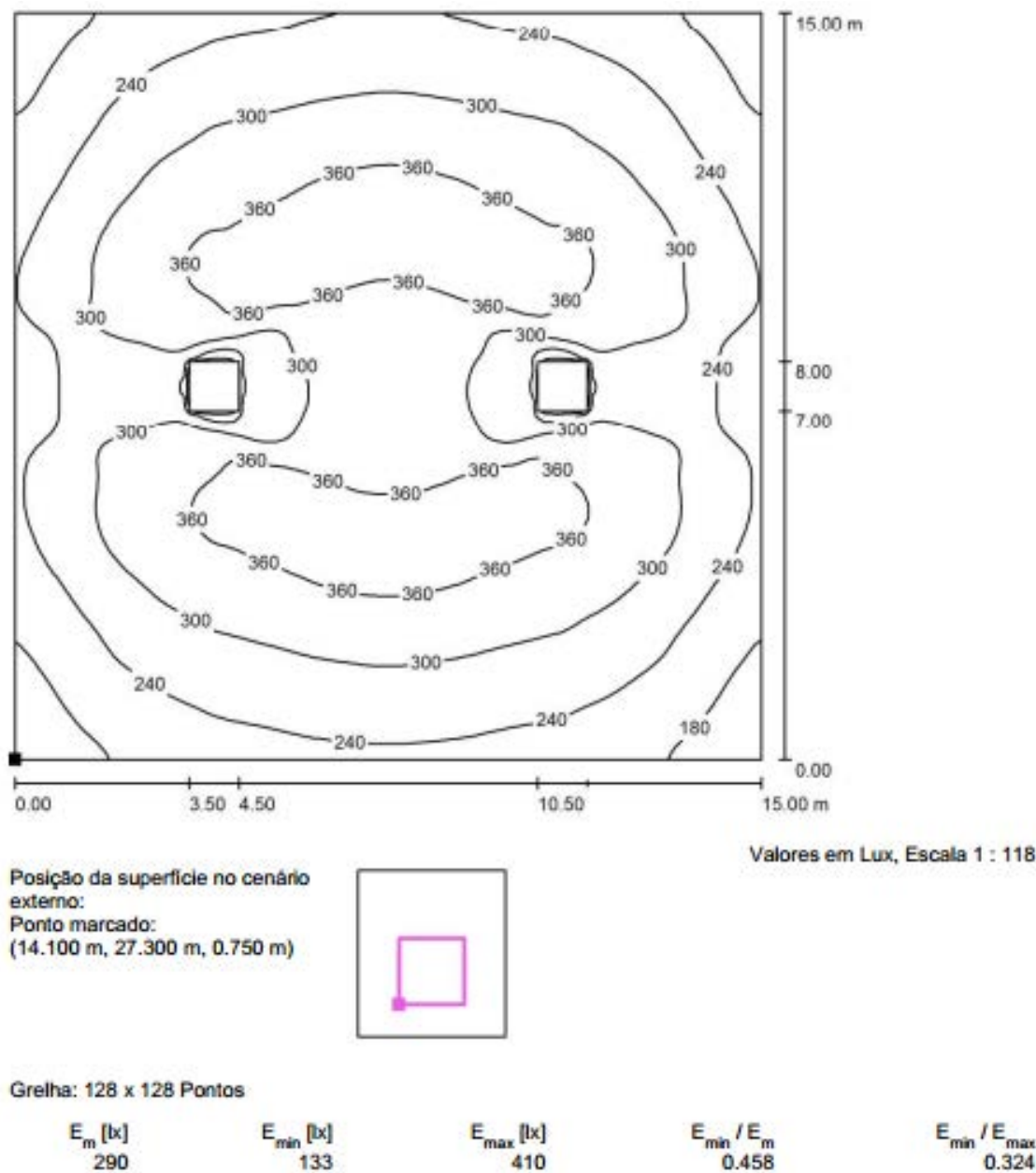
A Figura 32 e 33 apresentam os valores de iluminância da luminária atual e do projeto proposto, respectivamente. Além dos valores de iluminância, também são apresentados gráficos de linhas isográficas de ambas as simulações. Estes gráficos mostram valores de iluminância médio em determinadas áreas do posto de combustível.

Figura 32 - Gráfico de linhas isográficas luminária atual



Fonte: (Produção do próprio autor, 2017)

Figura 33 - Gráfico de linhas isográficas da luminária projetada



Fonte: (Produção do próprio autor, 2017)

A partir dos valores mostrados nas Figuras 32 e 33, análises de performances devem ser feitas. O resultado de iluminância da simulação do projeto apresenta valores de E_m 10% menores para a luminária projetada em relação a luminária atual. Isto está de acordo com os resultados mostrados na Tabela 14, onde a luminária projetada apresenta aproximadamente 1.200 [lm] (7%) a menos de fluxo luminoso que a luminária atual.

É importante destacar que o olho humano não percebe a variação de iluminação de forma linear, ou seja, existe uma diferença entre a quantidade de luz real emitida e a forma como a percebemos. A Equação 1 apresenta a relação entre a percepção do olho humano com a relação e quantidade de luz medida. (PATHWAY LIGHTING PRODUCTS, 2017)

$$\text{Percepção olho humano} = \sqrt{\text{Quantidade de luz medida}} \quad (1)$$

A luminária projetada possui 93% do fluxo luminoso da luminária atual, logo, utilizando a Equação (1) temos:

$$\begin{aligned} \text{Percepção olho humano} &= \sqrt{0,93} \\ \text{Percepção olho humano} &\cong 0,97 \end{aligned}$$

Portanto, nota-se que para uma diferença de iluminação medida de 7%, o olho humano terá uma percepção de 97% da iluminação, o que torna o produto proposto por neste trabalho semelhante ao produto existente para as mesmas condições nos que tange os valores de E_m .

Por outro lado, o projeto apresenta valores superiores de $E_{\min}/E_m$ e $E_{\min}/E_{\max}$. Estes valores garantem uma distribuição mais uniforme iluminação da luminária proposta em relação a luminária existente (ver gráfico de linhas isográficas).

5 CONCLUSÕES

Este trabalho propôs um novo projeto de luminária, para postos de combustível, com o objetivo de redução custo e peso e mantendo-se a performance e qualidade semelhantes à luminária hoje existente, quesitos necessários para reestabelecer sua competitividade.

A partir do projeto apresentado, obteve-se uma redução de peso de 66% e 34% de custo.

A luminária proposta apresentou qualidade e performance de iluminância média similares ao atual e a qualidade dos componentes principais foram mantidas.

Além disso, o projeto apresentou outras vantagens como consumo de energia elétrica inferior e eficiência luminosa superior em comparação a luminária atual.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR IEC 60529:2005**: Graus de proteção para invólucros de equipamentos elétricos (código IP). [s.i]: Abnt, 2005. 40 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013**: Iluminação de ambientes de trabalho. Parte 1: Interior. [s.i]: Abnt, 2013. 46 p.
- AMOROSO, M. M. et al. PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE LUMINÁRIA LED EFICIENTE E FLEXÍVEL. **Rev. Técnico Científica (ifsc)**, [Florianópolis], v. 3, n. 1, p.373-382, 2012.
- BOYLESTAD, R. L.; NASHELSKY, L.; SIMON, R. M.. **Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos**.8. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2004. 672 p.
- BUFFOLO, M. et al. Long-term degradation mechanisms of mid-power LEDs for lighting applications. **Microelectronics Reliability**, [Padova], v. 55, p.1754-1758, set. 2015.
- CALEGARI, B. **A iluminação ideal para fotografar suas maquiagens**. 2017. Disponível em: <<http://www.brigittcalegari.com.br/blog/a-iluminacao-ideal-para-fotografar-suas-maquagens>>. Acesso em: 15 fev. 2016
- CHEN, K.; NARENDHAN, N.. Estimating the average junction temperature of AlGaInP LED arrays by spectral analysis. **Microelectronics Reliability**, New York, v. 53, p.701-705, jan. 2013.
- CHIU, Y.; LIN, H.. An innovative blemish detection system for curved LED lenses. **Expert Systems With Applications**, Taichung, v. 40, n. 2, p.471-479, fev. 2013.
- DOULOS, L.t. et al. Harvesting daylight with LED or T5 fluorescent lamps? The role of dimming. **Energy And Buildings**, [s.i], p.337-347, fev. 2017.
- FERNANDES, L. L. et al. Monitored lighting energy savings from dimmable lighting controls in The New York Times Headquarters Building. **Energy And Buildings**, Berkeley, p.498-514, out. 2013.
- HELLERMANN TYTON LTDA. **Item # T80I, Abraçadeiras Insulok Standard**. Jundiaí, 2017.
- JAYAWARDENA, A.; LIU, Y.; NARENDHAN, N.. Analysis of three different junction temperature estimation methods for AC LEDs. **Solid-state Electronics**, New York, v. 86, p.11-16, 2013.
- LEDIL OY. **Application notes – STRADA-IP-2X6-T2**. Salo, 2017
- LEDIL OY. **PRODUCT DATASHEET Florence series**. Salo, 2014.
- LEDIL OY. **PRODUCT DATASHEET Florence series**. Salo, 2017.

LUMILEDS HOLDING B.V.. **LUXEON 2835 Line Product Datasheet**. San Jose, 2017;

LUMILEDS HOLDING B.V.. **LUXEON MX Product Datasheet**. San Jose, 2017

LUMILEDS HOLDING B.V.. **LUXEON V Product Datasheet**. San Jose, 2017;

MANENTTI, Hérica. **CURIOSIDADES: Cor de lâmpada**. 2016. Disponível em: <<http://www.mmsoffice.com.br/single-post/2016/10/26/cordelampada>>. Acesso em: 20 out. 2016.

NIE, W.; WU, J.; YU, Z.. A simple cost-effective PSR LED driver without auxiliary winding. **Electronics Express**, Wuxi, v. 10, n. 23, p.1-9, nov. 2013.

PATHWAY LIGHTING PRODUCTS. **Linear vs. Logarithmic Dimming: A White Paper**. Old Saybrook, 2017.

PHILIPS LIGHTING HOLDING B.V.. **Certaflux LED Strip 1ft 1100lm HV2** Rosemont Il, 2016.

PHILIPS LIGHTING HOLDING B.V.. **Fortimo LED Line 1ft 2000lm 8xx 1R HV3** Rosemont Il, 2016.

PHILIPS LIGHTING HOLDING B.V.. **Fortimo LED Line 1ft 2000lm 8xx 3R HV3** Rosemont Il, 2016.

PHILIPS LIGHTING HOLDING B.V.. **Xitanium 150W 0.2-0.7A 300V iXt 230V** Rosemont Il, 2016.

PHILIPS LIGHTING HOLDING B.V.. **Xitanium 180W 0.1-0.9A 0-10V Dimming with SimpleSet XI180C090V285BSF1**. Rosemont Il, 2016.

RODRIGUES, P. **MANUAL DE ILUMINAÇÃO EFICIENTE**. [s.i]: Procel, 2002. 36 p.

SILVA, R. F. G. de O. e. **Estudo da Eficiência Energética na Iluminação - Desenvolvimento de uma Ferramenta de Cálculo Luminotécnico e de Rentabilidade**. 2013. 91 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2013.

SUTHARSSAN, T. et al. Prognostics and Health Monitoring of High Power LED. **Micromachines**, [s.l.], v. 3, n. 4, p.78-100, 24 fev. 2012. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/mi3010078>.

SX LIGHTING. **Datasheet - SX PC 150 Luminária Posto de Combustível LED - 150W**. Pindamonhangaba, 2017.

TVLED e Semicondutores. Disponível em: <<http://fiscite.blogspot.com.br/2012/09/tv-led-e-semicondutores.html>>. Acesso em: 12 set. 2012

VIJAYARAGHAVAN, G; BROWN, M.; BARNES, M.. Surge protection of electronic equipment. In: VIJAYARAGHAVAN, G; BROWN, M.; BARNES, M.. **Practical Grounding, Bonding, Shielding and Surge Protection**. [s.i]: Butterworth-heinemann, 2004. Cap. 7. p. 80-101.

XIAO, C. et al. A novel automated heat-pipe cooling device for high-power LEDs. **Applied Thermal Engineering**, [s.i], v. 111, p.1320-1329, jan. 2017.