

PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE LUMINÁRIA LED EFICIENTE E FLEXÍVEL

M. M. Amoroso¹, D. M. Guedes², R. Marcelino³, A. L. , Bettiol⁴, A. Carniato⁵, J. A. L. E. Júnior⁶, S. T. Anselmo⁷, M. M. Silva⁸

¹SATC - Associação Beneficente da Indústria Carbonífera de Santa Catarina

²BAESA – Energética Barra Grande S/A

³UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina

⁴A Vero Domino

⁵A Vero Domino

⁶SATC - Associação Beneficente da Indústria Carbonífera de Santa Catarina

⁷SATC - Associação Beneficente da Indústria Carbonífera de Santa Catarina

⁸SATC - Associação Beneficente da Indústria Carbonífera de Santa Catarina

Resumo: O presente artigo baseia-se no estudo e desenvolvimento de uma luminária LED eficiente para uso em iluminação pública. Esta luminária foi projetada para ser eficiente e flexível construída de modo modular para adequar-se a diversas aplicações. Este artigo apresentará as fundamentações teóricas, estudos de componentes, o projeto do driver de alimentação da luminária e também o cálculo do dissipador. Sendo que a escolha dos componentes foi baseada em cima de estudos teóricos a respeito dos mesmos. Em seguida serão apresentados testes práticos, assim obtendo dados importantes em relação ao funcionamento da luminária LED. O artigo apresenta também o projeto e desenvolvimento da estrutura mecânica da luminária com todas as suas características técnicas. Ênfase foi dada a fonte de alimentação na qual possui um ótimo rendimento e também no LED escolhido como fonte luminosa da lâmpada que foi testado e será apresentado neste artigo, realizando comparações com outros LEDs como embasamento para uma melhor escolha.

Palavras-Chave: Luminária LED, iluminação pública, fonte de alimentação e LEDs.

1 INTRODUÇÃO

A eficiência dos LEDs de alta potência vem melhorando ano após ano, viabilizando a utilização do mesmo, em iluminações no geral. De acordo com as estimativas levantadas pela *Optoelectronics Industry Development Association* (OIDA), a utilização de LED para iluminação, somente nos Estados Unidos, poderá representar uma economia de 760GW de energia elétrica até 2020. Este artigo apresenta o desenvolvimento de uma luminária como parte de um projeto vinculado ao programa P&D ANEEL. Os estudos de componentes, testes práticos fazem parte desse desenvolvimento. Inicialmente uma etapa teórica sobre as principais características que se deve levar em conta para um projeto de uma luminária LED, onde se definiu a aplicação da luminária, e uma breve explicação das etapas.

Por final realizar-se-á um teste prático para validação da teoria e obtenção de dados importantes a respeito da luminária. Comparando-a também com a lâmpada de vapor de sódio de 250W, que são as mais utilizadas em iluminação pública atualmente.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Apresenta-se neste capítulo a fundamentação teórica sobre a luminária.

2.1 Iluminação

A grandeza utilizada para dimensionar a luminária, em iluminação pública, é a iluminância que representa o fluxo luminoso incidente em uma área e sua unidade é o lux.

De acordo NBR 5413 a luminária deve possuir uma iluminância com valores na faixa de 20, 30 e 50 lux em toda faixa da pista, não podendo haver espaços sem iluminação entre os postes e na calçada.

O LED de potência oferece uma alta eficiência em iluminação e uma longa vida útil comparado entre outras vantagens quando comparados às outras fontes de luz utilizadas atualmente. Este LED será de potência e aquece consideravelmente, por isto utilizar-se-á dissipadores térmicos na luminária.

2.2 Fonte de alimentação

Também conhecido como diodo emissor de luz, o LED possui características de um diodo retificador, ou seja, opera como um semicondutor. Sendo assim ele possui um ânodo e um catodo, uma queda de tensão e emite luz assim que polarizado diretamente, estas são as principais características do LED.

Para conseguir-se uma vida útil e uma potência máxima, a melhor configuração da fonte deve ser de corrente constante. Desta forma limita-se a operação do LED dentro de valores nominais e sem variações na geração de luz.

A fonte de corrente constante para a luminária necessita de uma configuração com limitações de espaço físico, alta eficiência, possibilidade de trabalhar de maneira modular e determinadas proteções.

2.3 Luminária

O protótipo da luminária será composto pelos seguintes componentes: LED, dissipador, *driver* controlador de corrente e estrutura mecânica. Foi então, pré-definido algumas características para a escolha dos componentes a serem utilizados.

Decidiu-se optar pela utilização de um sistema 12 V, para uma melhor adaptação aos meios de geração de energia renovável, lembrando que esta luminária faz parte de um projeto de Pesquisa e Desenvolvimento ANEEL, que terá etapas posteriores, oferecendo ainda uma melhor possibilidade de operar com baterias.

O protótipo da luminária receberá o nome de acordo com algumas características próprias. Seu nome será composto pelos caracteres LL54F60, onde:

LL – Luminária LED; 54 – Quantidade de LEDs; F – Cor branca Fria; 60 – Potência aproximada.

3 ESTUDOS DOS COMPONENTES

Neste tópico apresenta-se o estudo a respeito dos componentes relacionados à luminária.

3.1 *Driver* Controlador de Corrente

Com o projeto de uma luminária modular, o *driver* deve atender às características citadas. A fonte deve operar com uma tensão de entrada de 12 Volts e oferecer um controle da corrente na saída.

Como melhor configuração, garantindo o funcionamento dos LEDs, definiu-se o controlador de corrente, escolhendo então o CI MBI6661, por que o mesmo opera dentro das limitações impostas pela luminária. As características definidas para a luminária através da escolha do LED pode ser vista na Tabela 1.

Tabela 1: Características elétricas da luminária.

Tensão	12 Volts
Corrente	5,5 Ampères
Potência	66 Watts

Fonte: Arquivo Pessoal.

O CI MBI6661 é um conversor DC/DC buck 60V e 1A de alta eficiência, para utilizações em diversas aplicações como iluminação externa com lâmpadas LED e iluminação de túneis. A tensão de entrada tem um grande intervalo variando de 9V a 60V e uma alta eficiência de aproximadamente 97%. A máxima corrente de saída é 1A com um erro de $\pm 5\%$. Através de associações deste controlador de corrente, pode-se garantir corrente necessária para a luminária. Como se trata de um componente SMD, que opera com poucos componentes externos, que também são em SMD, o tamanho físico foi

resolvido. MBI6661 foi projetado incluindo proteção contra corrente de pico, baixa tensão de entrada, térmica, sobre corrente, LED aberto e curto-circuito no LED.

3.2 LED

A luminária LL54F60 utiliza como fonte de luz LEDs de potência, pois apresentam uma elevada eficácia luminosa e possuem uma vida útil bastante longa. Esses e outros fatores mostram a aplicabilidade do LED de potência em diversos tipos de sistemas de iluminação. Outra característica é a sua alta corrente de operação, 300 a 700 mA. O fluxo luminoso depende da corrente aplicada, portanto essa corrente deve ser adequadamente regulada em se tratando de aplicações em sistemas de iluminação, o que enfatiza um *driver* de corrente eficiente.

Para a escolha do LED, é fundamental analisar características como a índice de reprodução de cor, a potência, a luminância, temperatura de junção e o custo.

A temperatura de junção influencia na luz emitida pelo LED, como também na vida útil. Ao trabalhar a temperaturas extremas, este fator pode interferir diretamente no correto funcionamento do LED.

3.2.1 Fabricantes

Através de pesquisas, chegou-se a três nomes de fabricantes. Todos se adequam ao projeto, porém procurou-se um LED com características diferenciadas. Os fabricantes são Apollo, Cromateck e Seoul. A partir da Tabela 2, têm-se as comparações entre os fabricantes nos LEDs de 1 Watt.

Tabela 2 – Comparações envolvendo LEDs de 1 Watt.

Característica	Cor	Apollo	Cromateck	Seoul
Potência Dissipada	Branco Quente	1,25W	-	4W
	Branco Neutro	-	-	4W
	Branco Frio	1,25W	-	4W
Temperatura de Junção	Branco Quente	110°C	125°C	145°C
	Branco Neutro	-	125°C	145°C
	Branco Frio	110°C	125°C	145°C
Fluxo Luminoso	Branco Quente	60lm	60lm	85lm
	Branco Neutro	-	70lm	100lm
	Branco Frio	75lm	90lm	120lm
Resistência Térmica	Branco Quente	9°C/W	13°C/W	6,2°C/W
	Branco Neutro	-	13°C/W	6,2°C/W
	Branco Frio	9°C/W	13°C/W	6,2°C/W

Fonte: Cromax Eletrônica, Seoul e SunLED

3.2.2 LED Apollo

Assim que observado as características dos LEDs, o Apollo foi escolhido, pois se espera que tenha um melhor funcionamento, comparado com os outros, para a luminária LL54F60. Através de dados técnicos, constatou-se que o LED trabalhará numa temperatura menor, pois a resistência térmica é a menor, se comparada com a potência do LED, isto faz com que sua vida útil se prolongue e tenha um melhor fluxo luminoso, essa característica foi decisiva.

3.3 Layouts Eletrônicos Desenvolvidos

Os *layouts* foram desenvolvidos com o auxílio de um software. Desenvolveu-se um *layout* para a pétala e outro para o *driver*, sendo que ambos receberam componentes SMD, sendo que em cada caso aplica-se um material à placa diferente de acordo com a utilização. Vide a Tabela 3 com o principal fator que definiu a escolha.

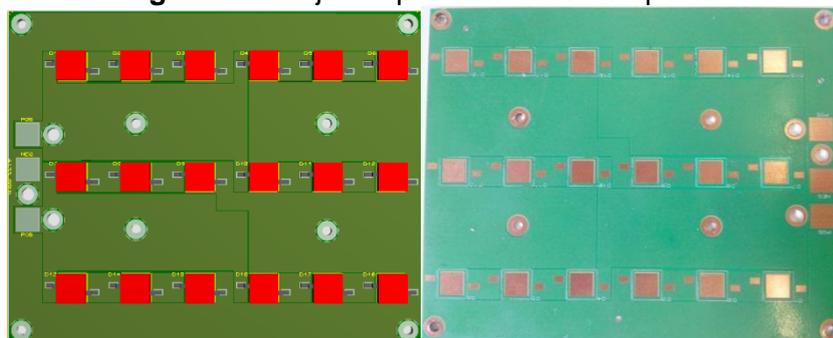
Tabela 3 – Condução térmica dos materiais utilizados em placas.

Materiais	Condução Térmica ($\frac{W}{m} - K$)
FR4	~ 0.3
Alumina	33
Alumínio 5052	150

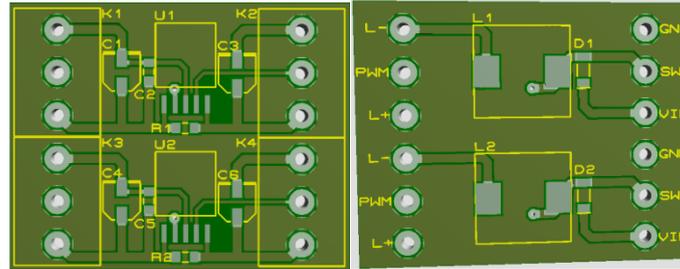
Fonte: Winco K.C. Yung (2007).

Para auxiliar na troca de calor, entre o LED e o dissipador, a placa eletrônica da pétala foi fabricada em alumínio (metal core). Esta placa será fixada ao dissipador através de oito parafusos. O *layout* projetado e a placa em alumínio podem ser visto na Figura 1.

Figura 1 – Projeto e placa fabricada da pétala.



O *layout* do *driver* controlador de corrente foi projetado baseado no circuito eletrônico sugerido pelo *datasheet* do MBI6661. Esta placa eletrônica foi fabricada utilizando fibra de vidro, um material utilizado mais comumente, a fim de obter-se uma maior resistência mecânica nas placas. O *layout* pode ser observado na Figura 2.

Figura 2 – Projeto da placa do *driver* vista superior e vista inferior.

3.4 Dissipador

A dissipação de calor será por convecção. Dissipadores de calor são mais eficientes quando a temperatura ambiente é baixa. Conforme a temperatura ambiente começa a subir, o dissipador perde eficiência.

Outro conceito importante é resistência térmica ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$). Esta grandeza física quantifica o quanto o material se opõe a troca de calor. O módulo de 18 Watts (18 LEDs) terá uma resistência térmica de $2,83^{\circ}\text{C}/\text{W}$, conforme calculado com a Eq. 1.

$$(R_{th(B-A)}) = ((T_{JUNÇÃO} - T_{AR}) / P_D) - ((R_{th(J-S)}) + (R_{th(S-B)})) \quad (1)$$

Onde:

$R_{th(B-A)}$ representa à resistência térmica entre o dissipador e o ar.

$T_{JUNÇÃO}$ representa à temperatura na junção.

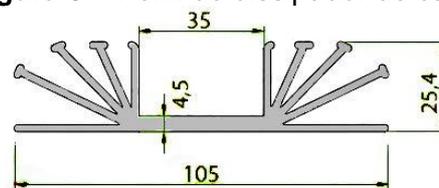
T_{AR} representa à temperatura ambiente.

P_D representa à potência dissipada.

$R_{th(J-S)}$ representa à resistência térmica entre a junção e o componente.

$R_{th(S-B)}$ representa à resistência térmica entre o componente e o dissipador.

Torna-se imprescindível que o dissipador tenha $2,83^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ou menor resistência térmica. Com esse valor em mãos, analisaram-se alguns catálogos de fornecedores e optou-se por um perfil de dissipador, como mostra a Figura 3.

Figura 3 – Perfil de dissipador de calor.

Fonte: Hs Beneficiamento de Alumínio Ltda (2008/2009).

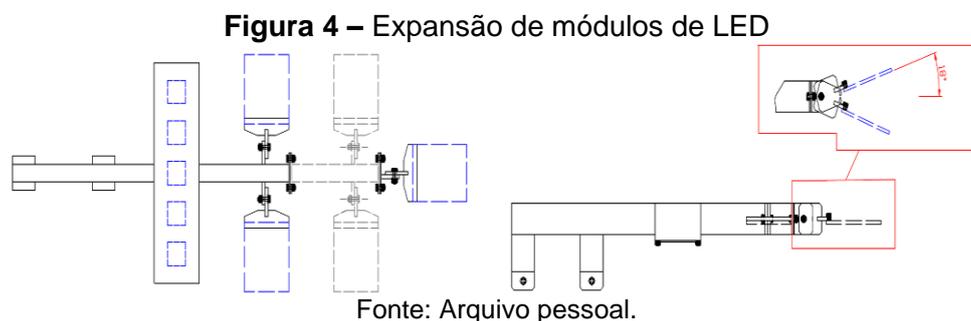
Este perfil possui resistência térmica de $2,47^{\circ}\text{C}/\text{W}$ para 4" (quatro polegadas) de comprimento. Considerando o fator de correção do comprimento, pois o módulo terá 150mm de comprimento, faz-se o seguinte cálculo:

$$(Rth_{(B-A)}) = 2,47 \times 0,86 = 2,12^{\circ}\text{C}/\text{W} \quad (2)$$

Sabendo que esse valor é menor que $2,83^{\circ}\text{C}/\text{W}$ (calculado) o dissipador é considerado adequado.

4 ESTRUTURA MODULAR

O protótipo da estrutura foi projetado de forma conceitual, sem considerar fatores estéticos, visando à funcionalidade. A estrutura modular oferece ajustes à luminária, aumentando a gama de aplicação. Um ajuste angular dos módulos de iluminação foi planejado para poder cobrir áreas de tamanhos diferenciados. Ao inclinar para cima o módulo de LED, também referenciado como “pétala” da luminária, a luminária passa a iluminar uma maior área. Se a inclinação for para baixo, os feixes de luz estarão direcionados para uma região mais concentrada e menor. A Figura 4 à esquerda, ilustra o ajuste de inclinação. A luminária ainda poderá utilizar apenas um módulo de LED, três módulos e em alguns casos aumentar o número de módulos de LED para cinco como mostra a Figura 4.



A estrutura contém duas abraçadeiras, com regulagem, em seu corpo para fixar no braço padrão do poste. Oferecerá à luminária sustentação mecânica, resistência às forças da natureza e isolamento parcial de água em alguns componentes. Ainda é possível observar na Figura 4 o espaço reservado aos *driver* de corrente, simbolizados pelos cinco quadrados tracejados em azul.

RESULTADOS

Para a validação da teoria viu-se necessário testes práticos envolvendo a luminária LL54F60. Com uma pétala pronta deu-se início aos testes utilizando uma fonte de tensão ajustável para alimentá-la. De início verificou-se a temperatura nos dissipadores com o auxílio de um pirômetro, sendo que este valor não poderia ultrapassar à máxima de operação dos LEDs. Este teste foi executado apenas com uma pétala. A partir dos valores medidos, a Tabela 5 foi construída.

Tabela 5 – Valores de temperatura no dissipador.

Placa com 18 LEDs de 1W. Temperatura Ambiente: 30°C		
Temperatura Ambiente (°C):	Temperatura no Dissipador (°C):	Período de operação (min):
33,0	33,0	0
33,2	67,0	30
33,2	66,7	60
33,5	66,7	90
33,3	66,0	120
33,0	65,0	150
33,1	65,0	180

Os testes envolvendo a etapa de iluminação utilizou-se a luminária completa, com a configuração de três pétalas. Os testes foram realizados durante o período noturno visando a menor influência de outras fontes luminosas. Com o auxílio de um luxímetro foram mensurados os valores de iluminância para diferentes alturas. Os resultados estão dispostos na Tabela 6.

Tabela 6 – Valores de iluminância de acordo com a altura.

Distância do Plano Horizontal (m)	Iluminância (lux)
1	1220
2	352
3	170
4	95
5	52
6	40

Com o término dos testes pode-se conseguir todos os dados significativos referentes à luminária. Na Tabela 7 encontram-se as informações coletadas referentes ao protótipo da luminária.

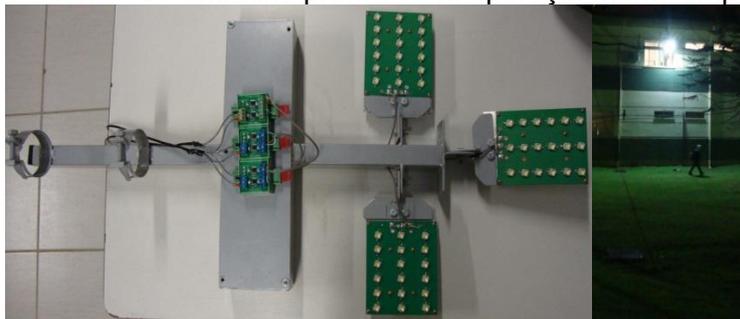
Tabela 7 – Características da luminária

Potência	66 W
Tensão Nominal	12 V
Corrente Nominal	5,5 A
Temperatura de Operação	-40 °C à 85 °C
Número de LEDs	54
Temperatura de Cor	6500 K (Branco Frio)

Luminosidade	4050 lm
IRC	0,8
Rendimento	90%
Peso:	5,5 Kg

Na Figura 5 observa-se a foto do protótipo da luminária completa com todos os componentes citados e também ao lado uma foto da mesma em operação iluminando um campo aberto.

Figura 5 – Fotos da luminária pronta e em operação num campo aberto.



Em comparação com a fonte mais utilizada atualmente, que é a lâmpada de vapor de sódio de alta pressão de 250W, a lâmpada LED atua com maior eficiência e melhora o ambiente aplicado. Na Tabela 8 podem-se visualizar os principais parâmetros a se considerar de ambas.

Tabela 8 – Comparação luminária LED e luminária com a lâmpada de vapor de sódio de 250W.

Características	Luminária LED	Luminária Vapor de Sódio
Potência	62W	252W
Iluminância mensurada à 6m	40,4lux	41lux
Vida útil	40000h	16000h
IRC	0,8	0,2

Fonte: Arquivo pessoal e Osram (2012)

5 CONCLUSÃO

O sistema de iluminação pública é um serviço essencial para a qualidade de vida nos centros urbanos, por se tratar do âmbito da segurança e para o desenvolvimento socioeconômico dos municípios. Nesse contexto, buscando uma significativa melhoria na eficiência energética desses sistemas é que o projeto desta luminária foi desenvolvido, utilizando a energia de forma a combater o desperdício. A luminária apresentou excelentes resultados térmicos, ficando ligada por horas sem apresentar variação de temperatura nos dissipadores. É esperada uma longa vida útil da luminária por utilizar LEDs e principalmente porque está trabalhando em condições nominais sem variações.

Luminária de LED é uma tendência mundial. Como toda nova tecnologia emergente é necessário um tempo e incentivos para que possa se estabilizar e ser

competitiva com outras tecnologias presentes. O que se percebe é um elevado custo nos componentes necessários para a montagem.

O custo aproximado do protótipo foi estimado com base nos valores pago pelos componentes e demais materiais no decorrer do processo de projeto e execução da luminária. O valor em reais somam a quantia de 1181,70 e em dólares a quantia de 549,63 com base na cotação de 15 de Junho de 2012, onde se encontrava a R\$ 2,15.

AGRADECIMENTOS

Este projeto faz parte do programa P&D Aneel, financiado pelas empresas BAESA e ENERCAN, às quais fica o agradecimento. Agradecemos também às empresas executoras A VERO DOMINO, SATC e UFSC.

REFERÊNCIAS

CIPELLI, Antonio Marco V.; MARKUS, Otávio; SANDRINI, Waldir. Teoria e Desenvolvimento de Projetos de Circuitos Eletrônicos. 23ª Ed. São Paulo: Editora Érica, 2008. 445 p.

COSTA, Gilberto Jose Cerrêa da. **Iluminação Econômica: Cálculo e Avaliação**. Porto Alegre: Edipucrs, 2006.

MALVINO, Albert Paul. **Eletrônica**. 4. ed. São Paulo: Pearson, 2010.

Winco K.C. Yung. Using Metal Core Printed Circuit Board (MCPCB) as a Solution for Thermal Management. Hong Kong, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5413**. Brasil, 1992.

CROMAX ELETRÔNICA LTDA. **POWER LED BRANCO 1W SEM DISSIPADOR**. Guarulhos - SP, 2010.

CROMAX ELETRÔNICA LTDA. **POWER LED BRANCO 3W SEM DISSIPADOR**. Guarulhos - SP, 2010.

EXCELPOINT. **LED Lighting: Products & Solutions**. Tailândia, 2011.

HS BENIFICIAMENTO DE ALUMÍNIO LTDA. **Catálogo HS Dissipadores**. São Paulo, 2008/2009.

MACROBLOCK (Taiwan). Preliminari *Datasheet* - MBI6661. Hsinchu, 2010.

SUNLED. **APOLLO - XZCW10X106W**. Walnut, Canada, 2007.