

Controladores de LEDs para iluminação com comutação de baixa frequência e elevado fator de potência.¹

*RABELLO, Mateus de Oliveira*²
Centro Universitário Academia - UniAcademia
*NOGUEIRA, Fernando José*³
Centro Universitário Academia - UniAcademia

RESUMO

Este trabalho tem como objeto principal a avaliação teórica e desenvolvimento computacional de controladores comutados na frequência da rede elétrica aplicados ao acionamento de luminárias de iluminação externa empregando diodos emissores de luz (ou LEDs, do inglês *Light Emitting Diodes*). O estudo apresenta inicialmente uma breve revisão bibliográfica sobre controladores (ou *drivers*) para luminárias LED. Em seguida, é feita a modelagem matemática de um controlador de LEDs baseado no pré-regulador *boost* (CA/CC) de elevado fator de potência comutado em baixa frequência (no dobro da frequência da rede, também conhecida como frequência industrial). Uma proposta de projeto é apresentada sendo aplicada a uma luminária LED de 26 W, que é uma potência típica empregada em iluminação externa. Os resultados experimentais mostram que é possível alcançar elevado fator de potência (0,96), elevado rendimento (96%) e reduzida taxa de distorção harmônica da corrente de entrada (21,2%).

Palavras-chave: Conversor *Boost*, Controladores, Diodos Emissores de Luz, Eletrônica de Potência.

¹ Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro Universitário Academia - UniAcademia, como requisito parcial para a conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica.

² Graduando em Engenharia Elétrica pelo Centro Universitário Academia - UniAcademia.

³ Professor do curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário Academia - UniAcademia.

1 INTRODUÇÃO

Os controladores de LEDs (*drivers*), utilizados para iluminação comumente projetados para operação em alta frequência, podem também ser modelados para atuarem em baixa frequência (DIAS, 2012; NOGUEIRA, 2017) comentado no índice 2.2.

Esses *drivers*, estudados em eletrônica de potência, são circuitos denominados conversores. De maneira geral, são conversores eletrônicos de potência que têm por finalidade acionar os LEDs (diodos emissores de luz) em uma corrente elétrica definida, de valor médio constante e adequado para não causar aceleração da depreciação do fluxo luminoso emitido pelos LEDs. Fazem a interface entre a rede elétrica, de baixa frequência e tensão senoidal, e a carga formada pelos LEDs (NOGUEIRA, 2013).

O conversor proposto no estudo foi um conversor CA-CC do tipo *boost* operando em baixa frequência. Esse conversor é capaz de alcançar um elevado fator de potência e uma reduzida distorção harmônica da corrente de entrada. Além disso, é um circuito que possui reduzido custo de montagem e fácil implementação experimental (NOGUEIRA, 2017).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A alimentação dos LEDs é feita através de um circuito eletrônico de acionamento (ou driver). Este dispositivo é responsável por ajustar os valores de tensão e corrente da rede elétrica alternada, para os níveis contínuos dos arranjos de LEDs (conjunto de LEDs associados). O driver também é responsável por manter a corrente no LED de forma constante e no nível adequado.

2.1. CONCEITO E IMPORTÂNCIA DOS *DRIVERS* DE LUMINÁRIAS LEDS

Em uma luminária LED, o *driver* é elemento de menor confiabilidade, por fazer uso de diversos componentes eletrônicos que estão sujeitos a falhas catastróficas e prematuras. Portanto, na construção de uma luminária LED, o tipo de *driver* escolhido deve ser robusto e confiável o bastante para que a luminária possa atingir o tempo de

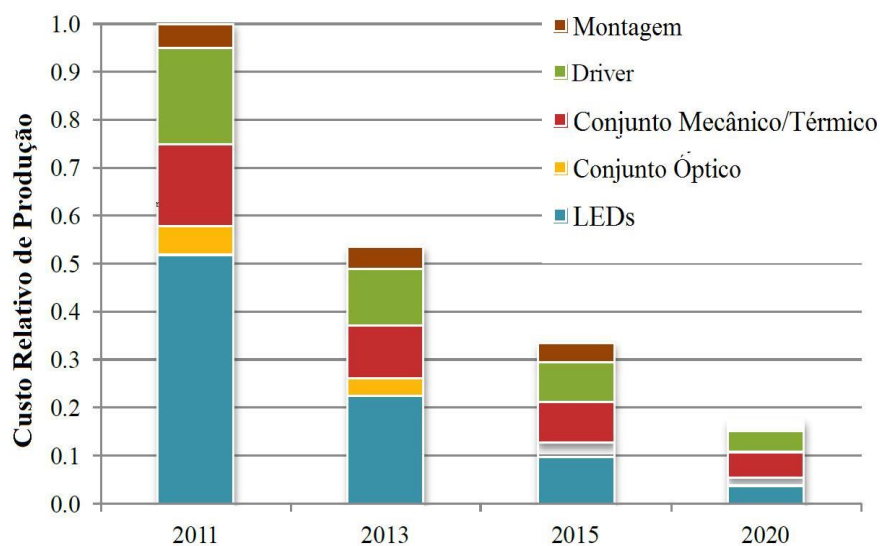
vida esperado da carcaça e do conjunto de LEDs, que pode chegar a até 100.000 horas (ALMEIDA, 2014). Além disso, é desejável que o *driver* tenha elevada eficiência, uma vez que a eficiência de conversão do *driver* tem implicação direta na eficácia luminosa efetiva de uma luminária LED (ALMEIDA, 2014).

Do ponto de vista da rede elétrica, o *driver* deve atender requisitos de qualidade de energia impostos por órgãos reguladores, tais como as normas NBR 16026 (ABNT, 2012a) e NBR IEC 61347-2-13 (ABNT, 2012b). Assim, esperasse que esses dispositivos tenham elevado fator de potência e reduzida distorção harmônica total da corrente de entrada (*THDi*) (RODRIGUES, 2012).

A importância do estudo de *drivers* também se dá pelo fato de ser um componente que ainda agrega valor considerável no custo de uma luminária LED. Como pode ser observado na Figura 1 (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2012), o *driver* contribui atualmente com cerca de 20% do custo de produção de uma luminária LED.

Portanto, estudos que busquem desenvolver *drivers* de longa vida útil, elevada eficiência, elevado fator de potência e baixo custo de produção são de suma importância na área de iluminação de estado sólido.

Figura 1 – Projeção de queda de preço dos componentes básicos de uma luminária LED de iluminação.



Fonte: U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2012.

2.2. TIPOS DE *DRIVERS* DE LEDS

Dois tipos de circuitos têm sido comumente propostos na literatura para fazer o acionamento de luminárias LED, os *drivers* ativos e os *drivers* passivos.

Os modelos de *drivers* ativos são os mais utilizados porque permitem controlar a corrente que flui através dos LEDs. No entanto, costumam ser mais complexos pois utilizam interruptores em sua topologia (NOGUEIRA, 2017).

Já os modelos de *drivers* passivos são circuitos mais simples, pois não utilizam interruptores controlados. Contudo, *drivers* passivos não possibilitam o controle da corrente através dos LEDs, que podem sofrer variações mediante perturbações na tensão de entrada ou na carga (NOGUEIRA, 2017).

Dentro dos grupos dos *drivers* ativos para LEDs, há aqueles comutados em alta frequência (acima de 20 kHz) e os de baixa frequência, que têm o interruptor do seu conversor principal comutado no dobro da frequência da rede elétrica, em geral, 100 Hz ou 120 Hz. Os *drivers* de baixa frequência, que são tema principal desse trabalho, possuem a vantagem de aliarem simplicidade, robustez, baixo custo de montagem e possibilidade de se obter elevado fator de potência e reduzida distorção harmônica da corrente de entrada (NOGUEIRA, 2017).

3 METODOLOGIA

Este trabalho tem como objetivo apresentar um pré-regulador *boost*, como *driver* de uma luminária LED de iluminação externa. Além disso, este tipo de *driver* dispensa o uso de capacitores eletrolíticos, o que pode garantir a esse dispositivo uma vida útil compatível com a dos módulos de LEDs.

O modelo elétrico do arranjo de LEDs foi obtido através da regressão linear da tensão aplicada diretamente ao arranjo em função da corrente que flui através dos LEDs (I_o), este método foi desenvolvido na condição de 100 LEDs Philips (NOGUEIRA, 2013) e adequado proporcionalmente para a situação descrita nesse trabalho (16 LEDs).

O estudo realizado utilizou o PSIM 9.1 (software de simulação de circuitos eletrônicos) para simular as principais formas de onda de tensão e corrente obtidas na

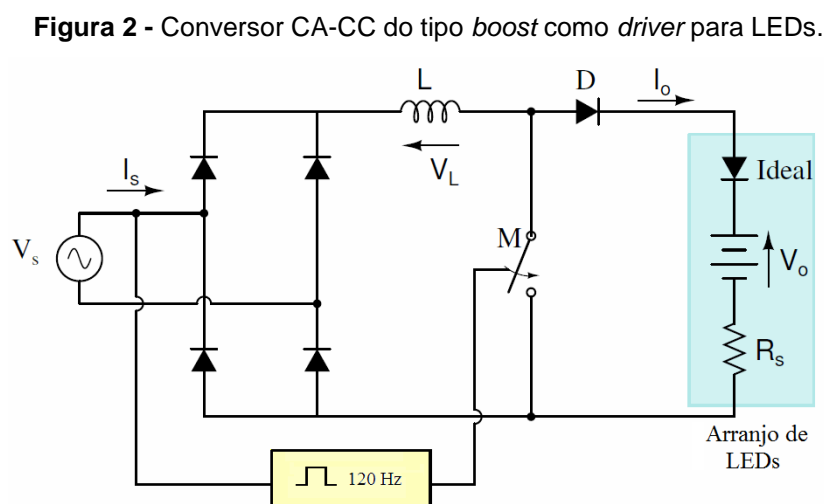
entrada e saída desse conversor. Além disso, é possível obter por meio desse software outros parâmetros elétricos de relevância, como fator de potência e distorção harmônica total da corrente de entrada.

Os cálculos foram baseados na modelagem matemática do conversor *boost* comutado em frequência industrial, que será apresentado na próxima seção.

3.1 MODELAGEM MATEMÁTICA

Foi realizada a modelagem matemática do conversor *boost* da Figura 2, considerando seu interruptor (M) como uma chave aberta e como chave fechada. A partir das equações obtidas, foi possível calcular as principais variáveis do circuito e constatar seus resultados por meio da simulação do circuito utilizando o software PSIM 9.1.

Para atuar a chave M, é emitido um pulso unitário de duração de T_{on} no início de cada semiciclo da tensão de entrada do circuito ($V_s = 0V$), o que corresponde a uma frequência de 120Hz (considerando que a frequência da tensão de entrada seja, $f_s = 60$ Hz).



Fonte: Autor.

A. Intervalo em que o interruptor M esta fechado $0 < t < T_{on}$

No intervalo de tempo entre 0 e T_{on} , o interruptor M se encontra fechado e obtém se a equação (1):

$$v_s(t) = v_L(t) = V_p \cdot \text{sen}(\omega \cdot t) = L \cdot \frac{di_{s1}}{dt}, \quad (1)$$

sendo que i_{s1} é a corrente de entrada no primeiro estágio de operação, v_L é a tensão aplicada ao indutor e V_p é a tensão de pico na entrada do circuito.

A partir da expressão (1), pode-se isolar a corrente de entrada por meio da equação diferencial (2):

$$di_{s1} = \frac{V_p}{L} \cdot \text{sen}(\omega \cdot t) dt \quad (2)$$

Portanto, ao se resolver a equação diferencial mostrada em (2), é possível obter a expressão da corrente de entrada que representa o estágio em que o interruptor M se encontra fechado (3):

$$i_{s1}(t) = \frac{V_p}{\omega \cdot L} (1 - \cos(\omega \cdot t)) \quad (3)$$

O pico de corrente de entrada (I_m) no primeiro estágio de operação é dado pela equação (4) e ocorre quando $t = T_{on}$.

$$I_m = \frac{V_p}{\omega \cdot L} (1 - \cos(\omega \cdot T_{on})) \quad (4)$$

B. Intervalo em que a chave M está aberta $T_{on} < t < T_f$

No intervalo de tempo entre T_{on} e T_f , a chave M se encontra aberta. Assim, é possível obter a equação (5):

$$V_p \cdot \text{sen}(\omega \cdot t) = L \cdot \frac{di_{s2}}{dt} + V_0 + R_s \cdot i_{s2}(t) \quad (5)$$

Desenvolvendo o equacionamento anterior por meio de equações diferenciais, se obtém a equação (6), que representa a corrente de entrada nesse estágio de operação:

$$i_{s2}(t-T_{on}) = a \cdot e^{-\frac{(t-T_{on})}{\tau}} - b \quad (6)$$

Na qual 'a' e 'b' são dados pelas equações (7) e (8) respectivamente:

$$a = \frac{V_0}{R_s} + \frac{V_p}{\omega \cdot L} - \frac{V_p \cdot R_s^2}{\omega \cdot L \cdot Z^2} [\cos(\omega \cdot T_{on}) + \omega \cdot \tau \cdot \text{sen}(\omega \cdot T_{on})] \quad (7)$$

$$b = \frac{V_0}{R_s} + \frac{V_p \cdot R_s}{Z^2} [\omega \cdot \tau \cdot \cos(\omega \cdot t) - \text{sen}(\omega \cdot t)] \quad (8)$$

Em que $\tau = L/R_s$ e $Z^2 = [(\omega \cdot L)^2 + R_s^2]$.

Nesse estágio, é possível observar que a corrente de entrada é igual a corrente que flui no arranjo de LEDs.

A corrente média na saída e a corrente eficaz na saída (correntes que fluem no arranjo de LEDs) são dadas pelas respectivas equações (9) e (10):

$$I_{o \text{ médio}} = \frac{\omega}{\pi} \int_{T_{on}}^{T_f} i_{s2}(t) dt \quad (9)$$

$$I_{o \text{ eficaz}} = \sqrt{\frac{\omega}{\pi} \int_{T_{on}}^{T_f} [i_{s2}(t)]^2 dt} \quad (10)$$

A corrente eficaz de entrada pode ser calculada a partir da equação (11):

$$I_{S_{Eficaz}} = \sqrt{\frac{\omega}{\pi} \left(\int_0^{T_{on}} [i_{s1}(t)]^2 dt + \int_{T_{on}}^{T_f} [i_{s2}(t)]^2 dt \right)} \quad (11)$$

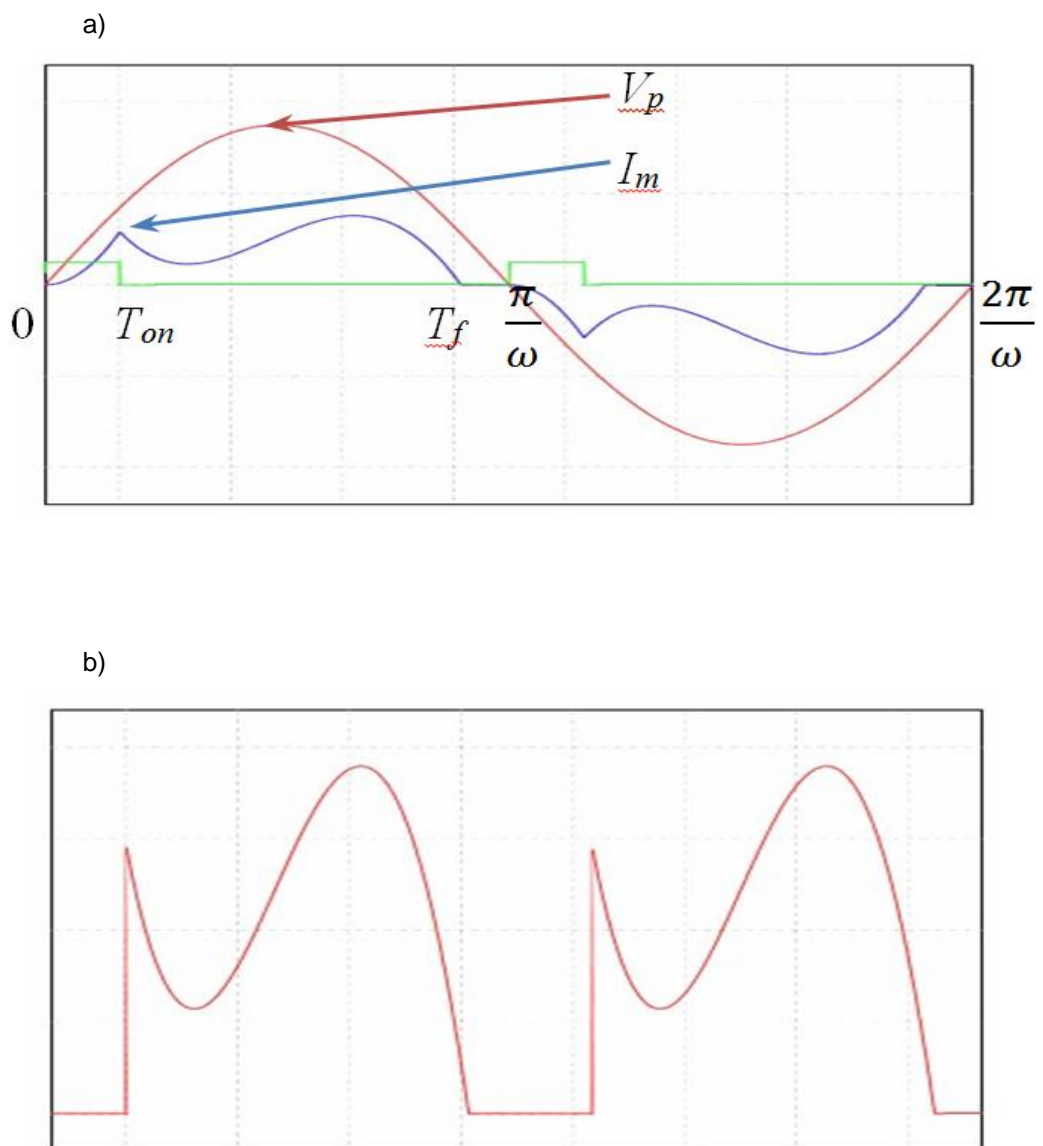
Baseando-se na modelagem desse conversor e nas características do arranjo de LEDs utilizado, é possível concluir que os principais parâmetros a serem levados em consideração no projeto desse conversor são L e T_{on} .

Em decorrência, estabelecendo os valores de V_p , V_o , R_s , os valores adequados para a indutância L e o tempo T_{on} em que a chave permanece fechada, as formas de onda de interesse desse conversor podem ser esboçadas como na Figura 3.

Ao final, devem ser levadas em consideração as seguintes questões durante o projeto:

- a) O tempo T_{on} deve ser maior que um valor mínimo para evitar uma descontinuidade na corrente de entrada localizado entre o T_{on} e o T_f e impedir um aumento indesejável dos harmônicos injetados na rede, o que poderia ocasionar redução do fator de potência.
- b) O valor médio de corrente na saída e o valor de pico da corrente sobre os LEDs deve ser menor que os valores máximos dados pelo fabricante dos LEDs, a fim de evitar que os LEDs sejam danificados.

Figura 3 - Esboço das formas de onda do *boost* de baixa frequência: a) Tensão (vermelho) e corrente (azul) de entrada e sinal de disparo do interruptor (verde) e (b) corrente na saída.



Fonte: Autor.

3.2 PROJETO DO CONVERSOR

A fim de avaliar o conversor CA-CC do tipo *boost* descrito na seção anterior, um *driver* compatível com o nível de potência de uma luminária LED de iluminação externa é proposto. Essa luminária possui um arranjo de 16 LEDs Philips Luxeon R LXA7PW40 distribuído em 1 módulo associados em série. Esses 16 LEDs podem ser modelados por uma resistência interna R_s igual a 3Ω e uma tensão de joelho V_o igual a 33 V. Assim, é esperado alimentar esses LEDs com uma corrente média de 700 mA.

O valor do indutor foi escolhido em 20 mH devido a disponibilidade deste componente no laboratório da UniAcademia.

É possível determinar valores de corrente de saída do pré-regulador *boost* obtidas a partir da expressão (8) para diferentes valores de T_{on} e τ (que é função de L).

Baseado nos possíveis valores encontrados, simulações foram realizadas por meio do Software PSIM 9.1 para verificar quais parâmetros levam o pré-regulador *boost* de baixa frequência a fornecer a corrente média desejada para o arranjo de LEDs da luminária proposta. O valor escolhido para T_{on} foi de 1,65 ms para um L igual a 20 mH.

O circuito de comando do MOSFET M foi implementado por meio de um comparador TCA 785 e um circuito integrado 555 em configuração monoestável ajustado para gerar um pulso de 1,65 ms.

O pulso de saída desse circuito de comando é gerado sempre que a senóide da tensão de entrada passa pelo zero, acionando o MOSFET durante o intervalo de tempo T_{on} .

Através do auxílio da simulação e dos demais componentes foi determinada uma potência de saída em condições ideais de aproximadamente 26 W.

Portanto, os principais parâmetros esperados para a luminária LED e os principais componentes do *driver* proposto são listados respectivamente nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 - Parâmetros da Luminária LED.

Parâmetros	Valor
Potência de saída	~26 W
Tensão de Pico de Entrada, V_p	42 V
Corrente Média no LED, I_o	700 mA
Tempo de chaveamento, T_{on}	1,65 ms
Indutância, L	20 mH

Fonte: Autor.

Tabela 2 - Principais componentes do protótipo.

Componentes	Modelos
Interruptor (Transistor)	IRF 840
Ponte Retificadora	2kBP06M
Indutor	20 mH
CI de Chaveamento	CI 555
Detector de Zero	TCA 785
LED	Philips Luxeon R LXA7PW40

Fonte: Autor.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

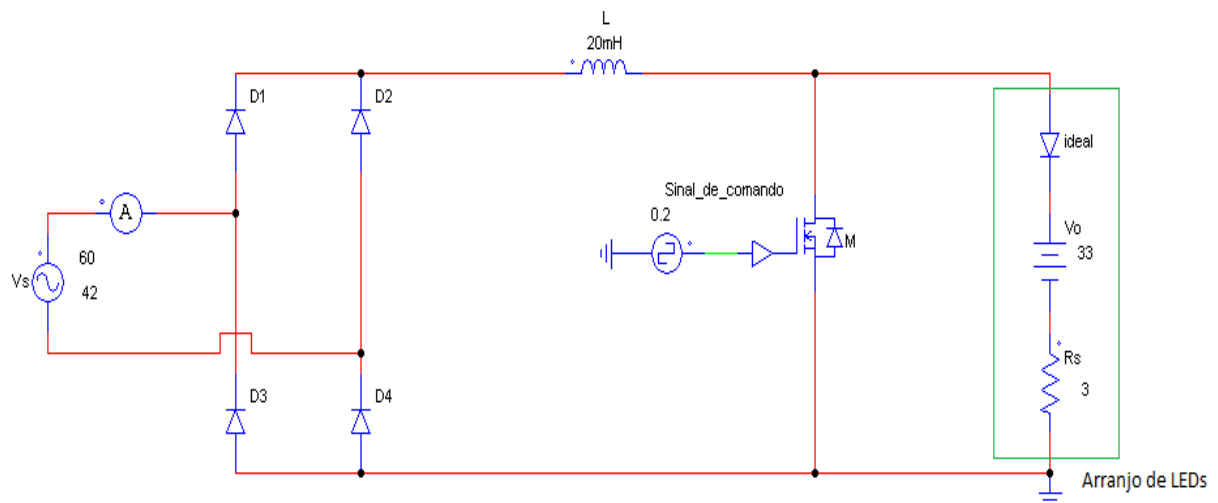
O conversor CA-CC tipo *boost* operando em baixa frequência tem a capacidade de proporcionar um fator de potência naturalmente elevado com conteúdo harmônico reduzido.

A técnica de chaveamento do interruptor M consiste em um pulso de duração T_{on} no início de cada semiciclo da tensão de entrada, o que corresponde a uma frequência de chaveamento de 120 Hz.

4.1 RESULTADOS DA SIMULAÇÃO IDEAL

O circuito simulado através do PSIM 9.1 é mostrado na Figura 4.

Figura 4 - Circuito do pré-regulador *boost* simulado no Software PSIM



Fonte: Autor.

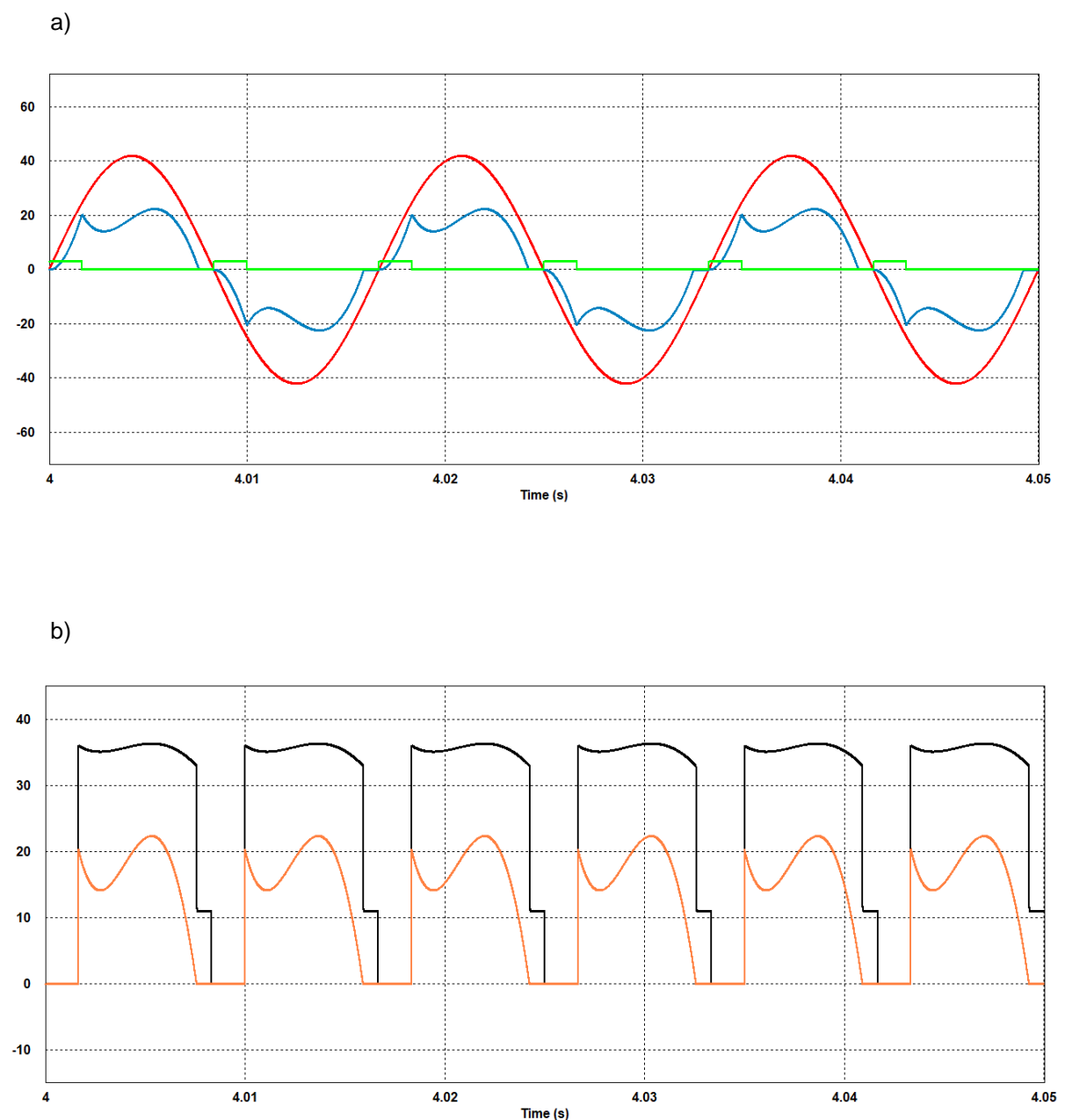
As características dos LEDs obtidas foram R_s igual a 3 ohms e V_o igual 33 V. O valor de indutância L e o tempo que a chave M fica fechada é de L igual a 20 mH e T_{on} igual a 1,65ms, como mostrado na Tabela 1.

A princípio, a simulação do conversor *boost* foi feita de forma ideal, desconsiderando a queda de tensão dos diodos da ponte retificadora, que seria de aproximadamente (415 mV). Além disso, foi desconsiderada a resistência do enrolamento do indutor estimada em 1,5 Ω .

Os resultados de simulação mostrados na figura 5 foram obtidos a partir de uma tensão de entrada de 29,7 V eficazes. Nesta simulação, foi possível atingir um fator de potência de 0,961 com uma distorção harmônica total da corrente de entrada ($THDi$) de

21,2%. A corrente média na saída foi de 700 mA, com picos de 1338 mA e com potência média de 26 W.

Figura 5 - Resultados de simulação do pré-regulador *boost* (a) Tensão de entrada (vermelho), 20 x corrente de entrada (azul) e 3x pulsos de chaveamento (verde); (b) 20 x corrente de saída (laranja) e tensão de saída (preto).



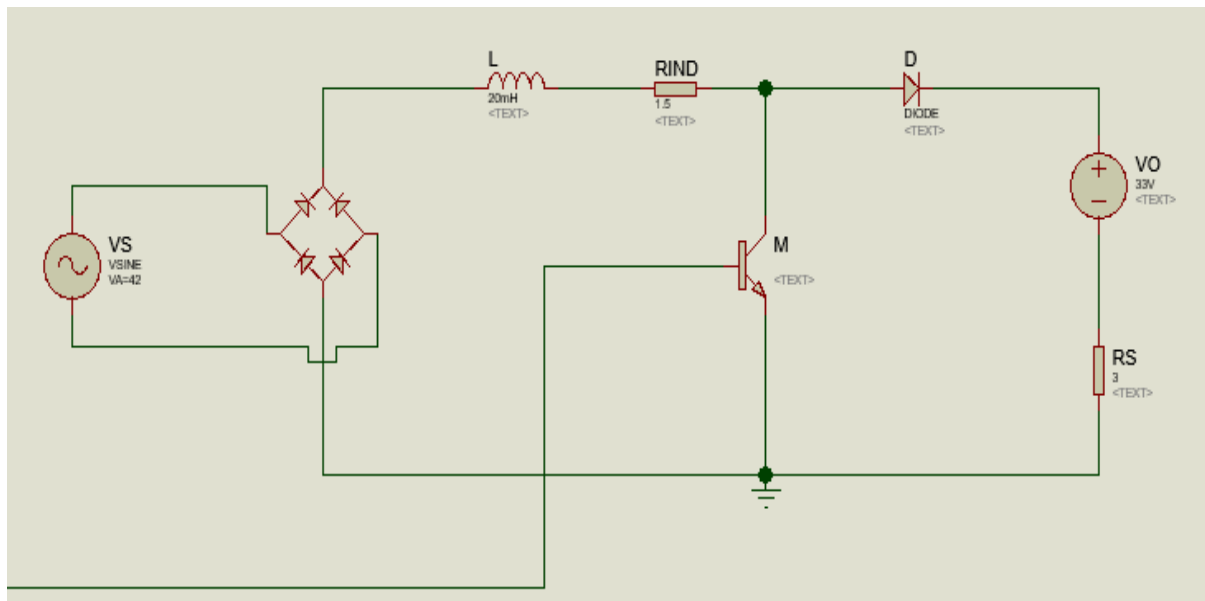
Fonte: Autor.

4.2 RESULTADOS DA SIMULAÇÃO REAL

O protótipo do controlador *boost* de baixa frequência foi implementado no simulador Protheus com finalidade de acionar uma luminária de 16 LEDs Philips Luxeon RLXA7PW40 associados em série em condição real de funcionamento.

Os componentes no circuito foram utilizados de tal forma que fosse possível simular uma condição experimental de funcionamento. Essa metodologia está sendo utilizada como alternativa à indisponibilidade da utilização dos laboratórios da UniAcademia devido a pandemia do Covid-19.

Figura 6 - Circuito do pré-regulador *boost* simulado no Software Protheus.

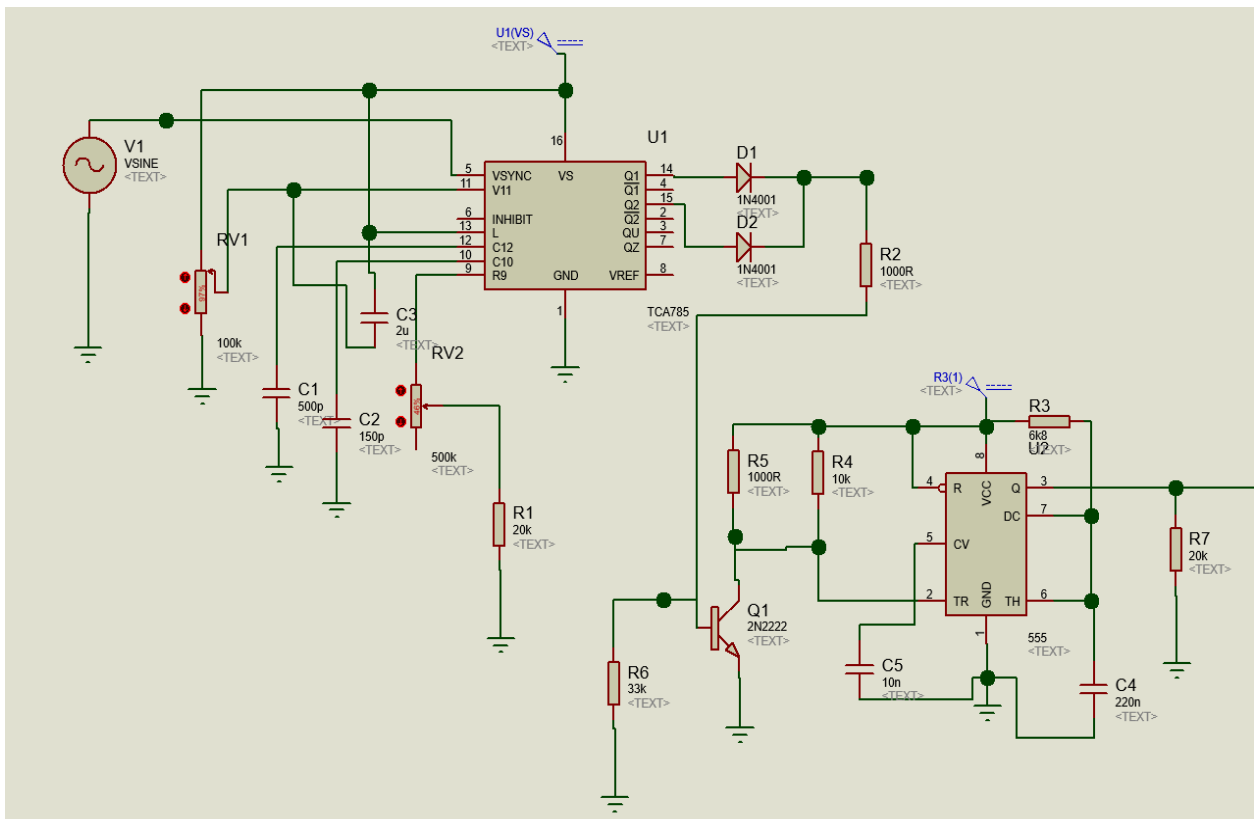


Fonte: Autor.

O valor do indutor de 20 mH utilizado na simulação do conversor foi obtido através da medição de um indutor reaproveitado de um reator eletromagnético. O circuito de comando é formado pelo circuito integrado TCA 785 (responsável pela detecção do instante em que a tensão de entrada passa pelo zero) e pelo circuito

integrado 555, configurado no modo monoestável e ajustado para fornecer um pulso de chaveamento de duração T_{on} igual a 1,65 ms.

Figura 7 - Circuito do sistema de controle simulado no Software Protheus.



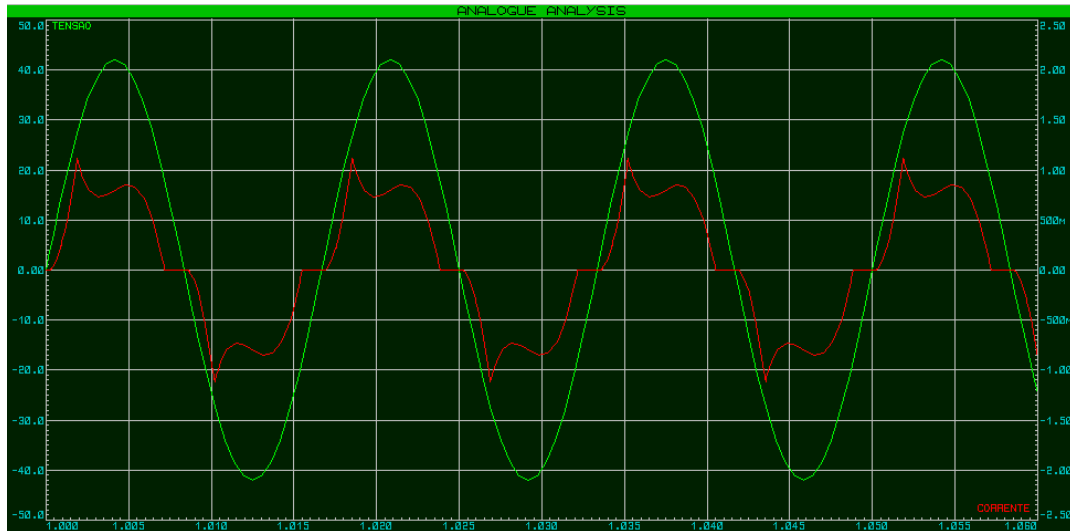
Fonte: Autor.

Por fim, um transistor MOSFET IRF840 foi utilizado como o interruptor do pré-regulador *boost*.

A fim de se ter resultados mais próximos de um circuito real, também foram levados em consideração, de acordo com a folha de dados desses componentes, a queda de tensão dos diodos da ponte retificadora (415 mV). Além disso, foi considerada a resistência de 1,5 Ω do enrolamento do indutor.

A Figura 8 mostra as formas de onda de tensão e corrente de entrada do *driver* obtidas pelo simulador Protheus. O fator de potência obtido foi de 0,97 com uma distorção harmônica total da corrente de entrada de 24%. A potência total na entrada do circuito foi de 19,28 W.

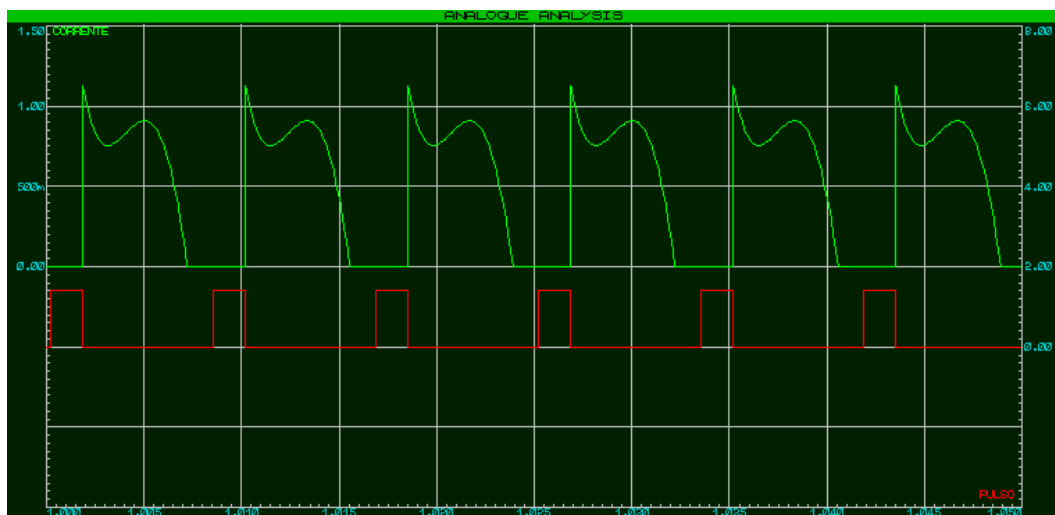
Figura 8 - Formas de onda do pré-regulador *boost*: Tensão de entrada (verde) e corrente de entrada (vermelho). Eixo esquerdo na escala de tensão e eixo direito na escala de corrente.



Fonte: Autor.

A Figura 9 a seguir mostra a forma de onda de corrente de saída do controlador *boost* (corrente no arranjo de LEDs) e os pulsos de chaveamento de duração iguais a T_{on} de 1,65 ms no *gate* do MOSFET. A corrente média é de aproximadamente 500 mA com valores de pico de aproximadamente de 1 A e potência de saída total medida foi de 18,1 W.

Figura 9 - Formas de onda do pré-regulador *boost*: Corrente de saída (verde) e pulsos do MOSFET (vermelho).

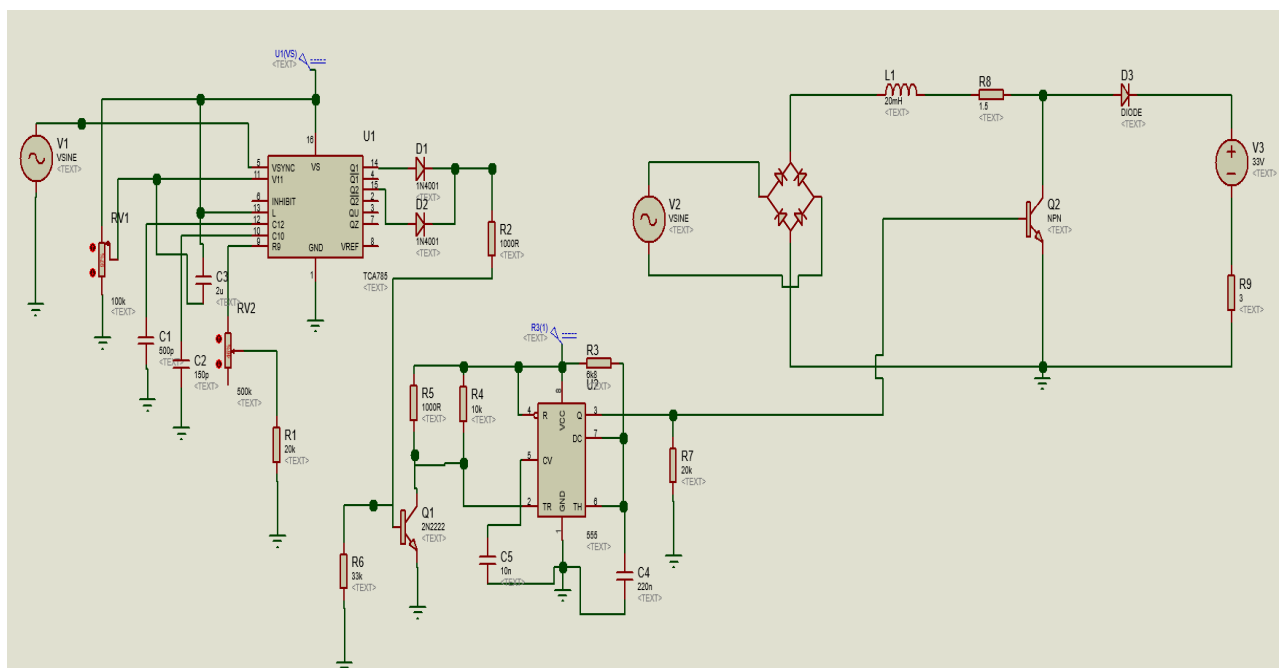


Fonte: Autor.

A eficiência total do conversor foi estimada em 93,87% (valor maior que o recomendado pela *U.S. Department of Energy*).

Por fim, a Figura 10 mostra o circuito completo do pré-regulador *boost* simulado no Protheus.

Figura 10 - Circuito do pré-regulador *boost* completo simulado no Software Protheus.



Fonte: Autor.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho, realizou um estudo da utilização de um conversor do tipo *boost* em baixa frequência como um *driver* de uma luminária LED de iluminação externa através deste estudo foi realizado a modelagem matemática dessa topologia e realizado simulações com auxílio de *softwares* para comprovar a modelagem efetuada.

Com os resultados da simulação, foi desenvolvido um protótipo no Protheus deste driver para acionar uma luminária LED de 26 W. Este protótipo proposto tem como objetivo uma simulação real por isso a utilização do Protheus que tem como característica a disponibilidade de componentes reais que se encontra no mercado.

Os componentes usados nesse protótipo foram determinados através da disponibilidade do laboratório do UniAcademia afim de qualquer estudante conseguir desenvolver este projeto na prática.

O protótipo desse circuito foi implementado após os parâmetros básicos de projeto serem obtidos através de simulação no software PSIM 9.1. Os resultados através do Protheus mostram um elevado fator de potência (0,97), uma reduzida distorção harmônica total da corrente de entrada (24%) e uma elevada eficiência (aproximadamente 94%, já incluídas as perdas ocorridas no circuito de comando). Outro ponto importante é a ausência de capacitores eletrolíticos e o reduzido número de componentes, o que pode garantir uma maior confiabilidade e vida útil ao driver. Além disso, essa topologia que se mostrou simples e de baixo custo.

ABSTRACT

This work has as main object the theoretical evaluation and computational development of controllers switched in the frequency of the electrical network applied to the activation of external lighting fixtures using light emitting diodes. The study initially presents a brief bibliographic review on controllers (or drivers) for LED luminaires. Then, the mathematical modeling of an LED controller based on the high power factor boost pre-regulator switched at low frequency is done. A project proposal is presented being applied to a 26 W LED luminaire, which is a typical power used in external lighting. The experimental results show that it is possible to achieve a high power factor (0.96), high efficiency (96%) and a reduced rate of harmonic distortion of the input current (21.2%).

Keywords: Boost Converter, LED Drivers, LEDs, Power Electronics.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, P. S. **Síntese de Conversores Ressonantes com Alto Fator de Potência e Alta Eficiência Para o Acionamento de Diodos Emissores de Luz.** Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, 2014.

DIAS, M. P. **Avaliação do Emprego de um Pré-Regulador Boost de Baixa Frequência no Acionamento de LEDs de Iluminação.** Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, 2012.

International Electrotechnical Commission. **IEC61000-3-2:2018:** Limits for Harmonics Current Emissions (equipment input current ≤ 16 A per phase). 2018. Disponível em: <https://webstore.iec.ch/preview/info_iec61000-3-2%7Bed5.0%7Db.pdf> Acesso em: 01 jun. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR IEC 61347-2-13 de 01/2012:** Dispositivo de controle da lâmpada. Rio de Janeiro, 2012.

NOGUEIRA, F. J. **Controladores de LEDs para iluminação pública com elevado fator de potência comutados no dobro da frequência da rede elétrica.** Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, 2017.

NOGUEIRA, F. J. **Avaliação Experimental de Luminárias Empregando LED Orientadas à Iluminação Pública.** Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, 2013.

RODRIGUES, C. R. B. S. **Contribuições ao Uso de Diodos Emissores de Luz em Iluminação Pública.** Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, 2012.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **Solid-State Lighting Research and Development:** Multi Year Program Plan. 2014. Disponível em: <https://www1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/ssl_mypp2014_web.pdf> Acesso em: 01 jun. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5101**: Iluminação pública. Rio de Janeiro, 2012.