

PROPOSTA DE UM CONVERSOR CC-CC UTILIZADO EM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS E REDE DE ENERGIA ELÉTRICA PARA FAIXA DE TENSÃO UNIVERSAL

Jonas Reginaldo de Britto, Fábio Vincenzi Romualdo da Silva, Ernane Antônio Alves Coelho,
Luiz Carlos de Freitas, Valdeir José Farias e João Batista Vieira Jr

Universidade Federal de Uberlândia – UFU/Faculdade de Engenharia Elétrica – FEELT- NuPEP

Av. João Naves de Ávila, 2121 - Campus Santa Mônica

CEP 38400-902, Uberlândia, MG - Brasil

e-mails: jonasdebritto@gmail.com, fabiovince@yahoo.com.br, ernane@ufu.br, freitas@ufu.br, valdeir@ufu.br, batista@ufu.br

Resumo – Este artigo apresenta o projeto e implementação de um conversor Boost-Buck Quadrático (Boost-Buck2), com uma única chave ativa, utilizado no acionamento de um vetor de LEDs empregado em iluminação. O conversor proposto possui uma faixa larga de conversão de tensão o que torna possível ser alimentado de $12 V_{CC}$ a $340 V_{CC}$ ($240 V_{CA}$). Esta característica permite que o conversor proposto seja aplicado em instalações elétricas híbridas alimentadas por sistemas fotovoltaicos e pela rede de energia elétrica de 110 V ou 220 V. Resultados experimentais extraídos de um protótipo de 11 W também são apresentados.

Palavras-Chave – Conversor CC-CC, faixa larga de conversão, sistemas fotovoltaicos e vetor de LEDs.

PROPOSAL OF A DC-DC CONVERTER USED IN PHOTOVOLTAIC SYSTEMS AND UTILITY POWER GRID FOR THE UNIVERSAL VOLTAGE RANGE

Abstract – This paper describes the design and implementation of a Boost - Quadratic Buck converter (Boost-Buck2), with one active switch, used to drive a LED string for lighting purposes. The proposed converter has a wide input voltage range that makes it possible to be supplied from $12 V_{DC}$ to $340 V_{DC}$ ($240 V_{AC}$), without any additional adjustment. It can be used in hybrid electrical systems supplied by photovoltaic systems or $110/220 V_{AC}$ from the utility power grid. Experimental results from an 11 W prototype are also presented.

Keywords – DC-DC converter, LED string, photovoltaic systems and wide voltage conversion range.

I. INTRODUÇÃO

O interesse e importância das energias renováveis vêm crescendo, nos últimos anos, devido ao Tratado de Quioto que visa reduzir a emissão global de gases que provocam o

efeito estufa e, conseqüentemente, o desequilíbrio do meio ambiente. A energia fotovoltaica é uma importante fonte renovável [1-3], e o custo de painéis fotovoltaicos vem diminuindo à medida que a demanda de produção tem aumentado. Sistemas fotovoltaicos são ideais em aplicações que necessitam de geração descentralizada de energia elétrica. Entretanto, nem sempre a energia elétrica gerada é consumida localmente. O sistema pode ser conectado a rede elétrica comercial para que o excedente ou toda energia possa ser doada ou vendida à concessionária [4-7].

Os sistemas fotovoltaicos, utilizados em iluminação, tem como objetivo suprir a falta de uma rede de energia elétrica local ou evitar a compra de energia elétrica da concessionária. Embora os painéis gerem energia elétrica apenas durante o dia, na presença da luz solar, eles podem ser utilizados em conjunto com baterias de modo a compor um sistema capaz de alimentar uma carga de modo contínuo ou, somente, durante o período de pico, o que reduz o tamanho do painel fotovoltaico e do banco de baterias [8].

O emprego de lâmpadas incandescentes, em sistemas fotovoltaicos, não é adequado devido o baixo rendimento que este tipo de lâmpada apresenta. Esse é o motivo pelo qual elas vem sendo substituídas por lâmpadas compactas, fluorescentes, lâmpadas de vapor de sódio e lâmpadas de vapor metálico que apresenta rendimento superior. Atualmente, com o surgimento dos LEDs de potência, destinados a iluminação, muitas pesquisas estão sendo direcionadas no sentido de desenvolver circuitos para acionar vetores e matrizes de LEDs utilizados na construção de lâmpadas a LED.

De acordo com [9], os LEDs apresentam algumas vantagens como: longa vida útil de 60.000 horas, robustez e insensibilidade a vibrações e movimentos, pois não possuem componentes de vidro ou filamento incandescente, já possuem refletores embutidos no encapsulamento e não são fabricados com substâncias tóxicas que prejudicam o meio ambiente. Lâmpadas a LED ainda são caras se comparadas com as lâmpadas de vapor de sódio, de vapor metálico e as fluorescentes que, atualmente, desempenham um importante papel na iluminação, mas a medida que o custo das lâmpadas a LED diminuir elas passarão a ser mais utilizadas.

No acionamento de LEDs algumas considerações importantes são descritas a seguir:

- 1) **Rendimento:** em muitas aplicações, os LEDs são simplesmente alimentados com uma fonte de tensão cc

Artigo submetido em 26/07/2008. Revisões em 26/04/2009 e 19/07/2009. Aceito por recomendação do editor Fernando L. M. Antunes.

com resistores em série, o que compromete o rendimento do circuito;

- 2) *Brilho Constante*: o controle da corrente no LED é necessário quando o objetivo for manter o brilho constante, evitando-se que flutuações na tensão da fonte de alimentação provoquem oscilações no brilho;
- 3) *Vetor de LEDs*: é composto por dois ou mais LEDs ligados em série o que garante que a mesma corrente percorra cada componente. A ligação série é a melhor maneira de se garantir luz uniforme em cada componente. Por outro lado, quando um LED queima tornando-se um circuito aberto, todo o vetor é desligado;
- 4) *Matriz de LEDs*: é composta por dois ou mais vetores ligados em paralelo, o que dificulta a distribuição uniforme de corrente em todos os vetores. Além disso, se um dos vetores sair de operação, a corrente nominal da matriz será redistribuída nos vetores restantes provocando sobreaquecimento dos LEDs remanescentes e, conseqüentemente, redução da vida útil dos componentes. Arranjar os LEDs na configuração matriz reduz a tensão da fonte de alimentação e diminui o risco de choque elétrico, além de evitar que a lâmpada se apague completamente se um dos vetores sair de operação quando um LED queima abrindo o circuito.

A utilização de conversores cc-cc eleva o rendimento e, ao mesmo tempo, possibilita o controle de corrente atendendo os itens 1) e 2). LEDs brancos de potência, destinados a iluminação, com potência de 1, 3, 5, 10 e 15 W e eficiência de 35 a 100 lm/W já estão disponíveis no mercado. Deste modo, dependendo da potência e da eficiência do LED escolhido, poucos LEDs ligados em série são necessários para compor uma lâmpada de LEDs equivalente a uma lâmpada incandescente de 100 W/1000 lumens, por exemplo, o que torna o vetor de LEDs uma solução atrativa de acordo com o item 3).

Para que um conversor cc-cc possa ser alimentado por um sistema fotovoltaico ou pela rede de alimentação, ele deve ser capaz de operar em uma faixa larga de tensão de entrada. Considerando-se, por exemplo, o painel fotovoltaico comercial de 12 V_{CC}, a tensão máxima da rede de 240 V_{CA} e uma lâmpada de LED, cuja tensão nominal está entre 20-40 V_{CC}, de modo a reduzir o risco de choques, o conversor deve ser capaz de elevar a tensão quando alimentado pelo sistema fotovoltaico e reduzir quando ligado na rede de energia elétrica.

Uma chave comutadora, manual ou automática, pode ser utilizada para selecionar a rede de energia ou o sistema fotovoltaico como mostrado na Figura 1. A rede alimenta o circuito de iluminação quando a energia gerada pelo painel for insuficiente, como ocorre em dias nublados, devido à falta de manutenção com conseqüente acúmulo de poeira nos painéis ou por problemas de ordem técnica.

Trabalhos anteriores apresentaram conversores cc-cc e estratégias de controle com o propósito de ajustar a corrente e, conseqüentemente, a intensidade luminosa de vetor ou matriz de LEDs [10-13]. Dependendo da aplicação, os conversores foram projetados para elevar ou reduzir a tensão de entrada, de acordo com a tensão nominal da lâmpada de LED a ser acionada. O conversor Boost-Buck2 proposto, por

outro lado, apresenta a vantagem de elevar ou reduzir a tensão de entrada em uma única topologia utilizando somente uma chave ativa. O arranjo apresentado é capaz de operar na faixa de tensão de 12 V_{CC} até 340 V_{CC} (240 V_{CA}), o que o torna ideal para aplicações em sistemas híbridos de energia fotovoltaica e rede de energia elétrica, Figura 2.

O conversor Boost é utilizado para elevar a tensão quando o conversor proposto estiver sendo alimentado pelo sistema fotovoltaico e o conversor Buck2 reduz, quando a topologia proposta estiver ligada a rede de energia elétrica.

Supondo que um vetor foi projetado para operar com tensão nominal de 33 V, o conversor Boost deverá elevar a tensão de 12 para 33 V, o que corresponde a um ganho de 2,75. Na situação oposta, quando o conversor estiver conectado a uma rede, o conversor Buck2 deverá realizar uma conversão abaixadora de 10,3 vezes, o que corresponde a um ganho de 0,097, considerando a tensão máxima da rede de 240 V_{CA}.

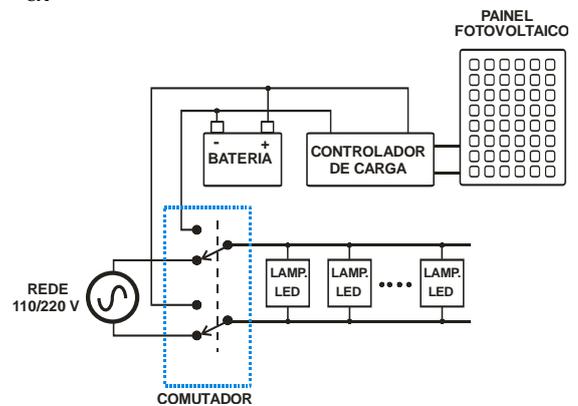


Fig. 1. Lâmpadas de LED com sistema de energia híbrido.

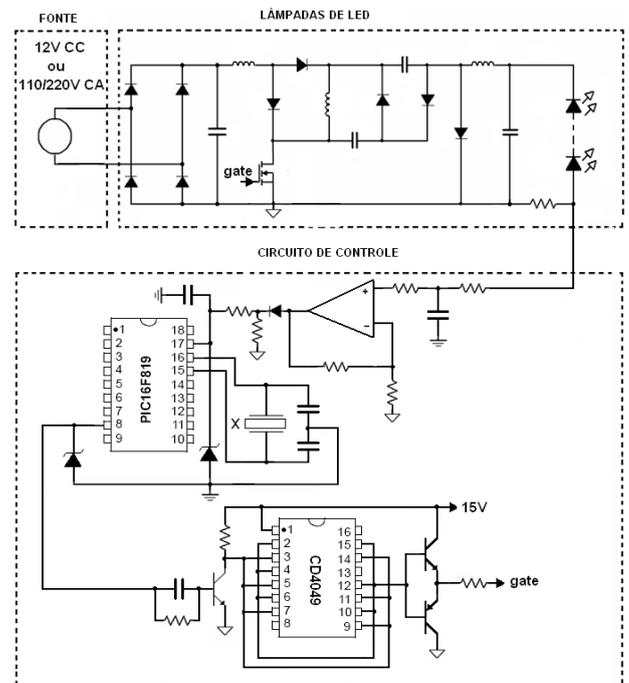


Fig. 2. Diagrama esquemático da lâmpada de LED composta por um conversor Boost-Buck2, circuito de controle e vetor de LED.

Em aplicações de conversores cc-cc que requerem uma conversão elevada, as topologias de conversores PWM convencionais necessitam operar com razão cíclica (D) extremamente reduzida, o que limita a operação deste tipo de conversor em baixas frequências devido ao tempo mínimo de condução da chave ativa. Um esquema que proporciona faixa larga de conversão é a conexão em cascata de conversores que consiste em dois ou mais conversores conectados em cascata [14-18].

II. PRINCÍPIO DE OPERAÇÃO

A Figura 3 mostra o diagrama esquemático do conversor Boost-Buck2 proposto. A topologia apresentada é o resultado do cascadeamento de um conversor Boost com dois conversores Buck, porém com a vantagem de se utilizar apenas uma chave ativa. O conversor proposto pode operar como abaixador ou elevador de tensão e apresenta características de fonte de corrente tanto na entrada como na saída. Quando opera como abaixador, a faixa de conversão é muito maior que a de um conversor Buck convencional, pois seu ganho estático apresenta uma dependência quadrática da razão cíclica.

A operação em regime permanente, no modo de condução contínua, consiste de dois estágios. Com o objetivo de simplificar a análise teórica, todos os componentes são considerados ideais e as ondulações de tensão e corrente sobre os capacitores e indutores são consideradas nulas. Quando alimentado pela rede CA o barramento CC gerado é da forma convencional, sem correção de fator de potência.

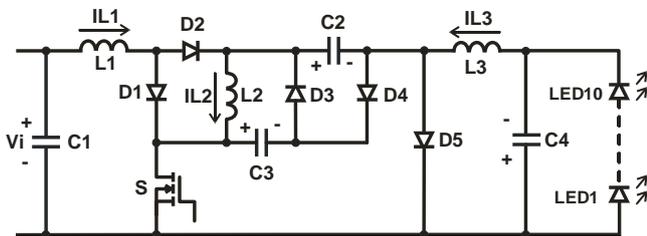


Fig. 3. Esquemático do Conversor Boost-Buck2.

Primeiro estágio (t_0, t_1) - A Figura 4 mostra a etapa de operação do conversor durante o primeiro estágio, onde a chave S está fechada, os diodos D_2, D_3 e D_5 estão bloqueados enquanto os diodos D_1 e D_4 estão conduzindo. Assim, o indutor L_1 armazena energia fornecida pela entrada ao passo que os indutores L_2 e L_3 armazenam energia fornecida pelos capacitores C_2, C_3 e C_4 . Consequentemente, as correntes nos indutores crescem linearmente.

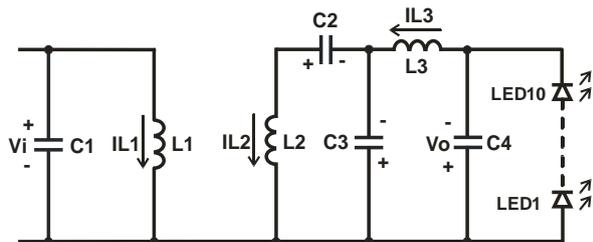


Fig. 4. Primeiro estágio de operação do conversor Boost-Buck2.

Segundo estágio (t_1, t_2) - A Figura 5 apresenta a etapa de operação do conversor durante o segundo estágio, onde a chave S está aberta, os diodos D_2, D_3 e D_5 estão conduzindo enquanto os diodos D_1 e D_4 estão bloqueados. Deste modo, os capacitores C_2 e C_3 armazenam energia fornecida pelos indutores L_1 e L_2 , à medida que o indutor L_3 transfere energia para a saída. Portanto, as correntes nos indutores decrescem linearmente.

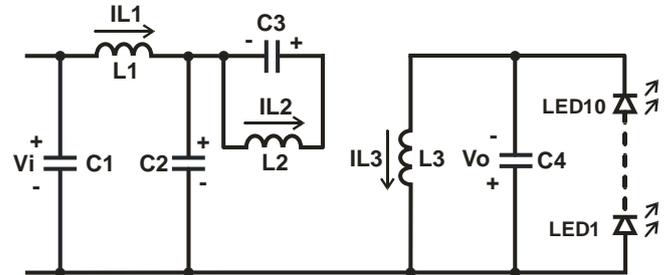


Fig. 5. Segundo estágio de operação do conversor Boost-Buck2.

As Figuras 6 e 7 apresentam as formas de ondas teóricas obtidas a partir do estudo das etapas de operação descritas anteriormente.

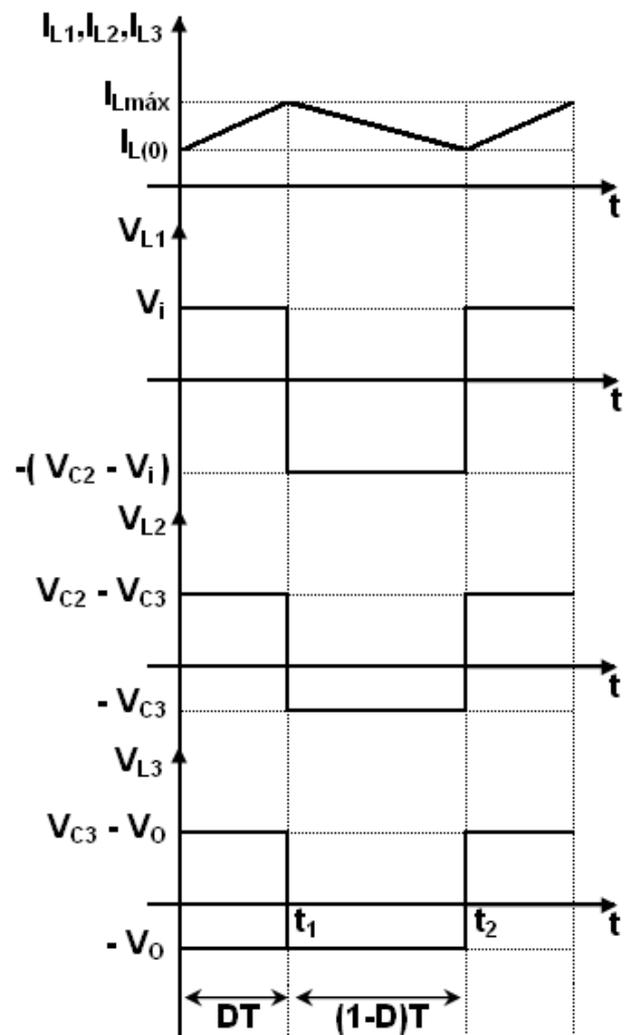


Fig. 6. Corrente e tensão nos indutores L_1, L_2 e L_3 .

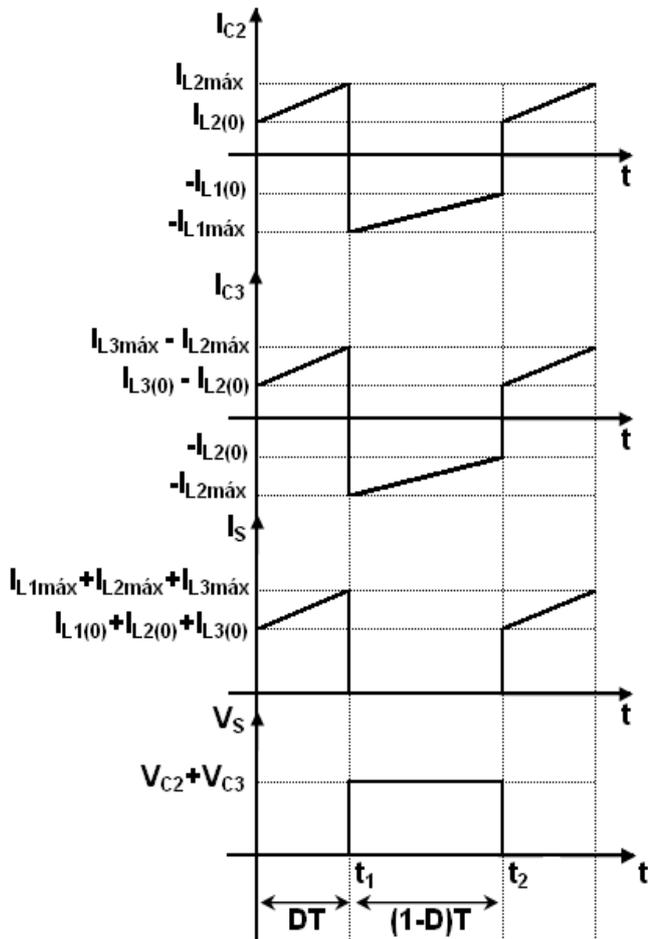


Fig. 7. Corrente e tensão na chave S e corrente nos capacitores C2 e C3.

As formas de ondas teóricas foram traçadas considerando-se nulas as ondulações de tensão e corrente sobre os capacitores e indutores. A Figura 6 mostra as formas de ondas teóricas das correntes e tensões nos indutores L1, L2 e L3 e a Figura 7 exibe a corrente e tensão na chave ativa e a corrente nos capacitores C2 e C3.

A presença de apenas uma chave ativa diminui o custo e facilita a implementação do controle permitindo que circuitos integrados e estratégias de controle, atualmente utilizados em conversores Buck ou Boost convencionais, possam ser adaptados para a topologia proposta. Assim sendo, optou-se pela estratégia de controle apresentada em [19].

III. EQUAÇÕES PRINCIPAIS

O ganho estático é obtido assumindo-se que o conversor opera no modo de condução contínuo, todas as tensões nos capacitores e corrente nos indutores apresentam oscilações desprezíveis e as conduções e bloqueios dos diodos são considerados sincronizados com a abertura e fechamento do interruptor S.

Assumindo que a tensão média no indutor L1, em regime permanente, é zero, tem-se:

$$V_i.D.T = (V_{C2} - V_i)(1-D)T \quad (1)$$

Onde:

D é a razão cíclica;
T é o período de chaveamento.

Resolvendo (1) para V_{C2} , resulta em:

$$V_{C2} = \frac{V_i}{(1-D)} \quad (2)$$

Aplicando a análise anterior nos indutores L2 e L3, resulta em:

$$V_{C3} = D.V_{C2} \quad (3)$$

$$V_o = V_{C4} = D.V_{C3} \quad (4)$$

Combinando (2) e (3), a tensão de saída é:

$$V_o = V_{C4} = \frac{D^2.V_i}{(1-D)} \quad (5)$$

Deste modo, o ganho estático (G) do conversor Boost-Buck2 é dado por:

$$G = \frac{V_o}{V_i} = \frac{D^2}{(1-D)} \quad (6)$$

De acordo com a primeira etapa de operação a indutância L1 é calculada por meio de (7) e a capacitância C2 por (8):

$$L1 = \frac{V_i.D}{\Delta I_{L1}.f_s} \quad (7)$$

$$C2 = \frac{I_{L2}.D}{\Delta V_{C2}.f_s} \quad (8)$$

A partir da segunda etapa de operação o valor do indutor L2 é fornecido por (9), a indutância L3 por (10) e a capacitância C3 por (11).

$$L2 = \frac{V_{C3}.(1-D)}{\Delta I_{L2}.f_s} \quad (9)$$

$$L3 = \frac{V_o.(1-D)}{\Delta I_o.f_s} \quad (10)$$

$$C3 = \frac{I_{L2}.(1-D)}{\Delta V_{C3}.f_s} \quad (11)$$

Considerando-se a segunda etapa de operação e a forma de onda no capacitor C4 triangular o cálculo da capacitância C4 é fornecida por (12).

$$C4 = \frac{V_o(1-D)}{2f_s^2 L3} \quad (12)$$

Por fim, o gráfico do ganho estático em função da razão cíclica, é mostrado na Figura 8. Observa-se no gráfico que se a razão cíclica for maior que 0,6 o conversor opera como elevador de tensão, prevalecendo às características do conversor Boost. Por outro lado, se a razão cíclica for menor que 0,6, a topologia proposta opera como abaixador de tensão predominando as características de Buck2.

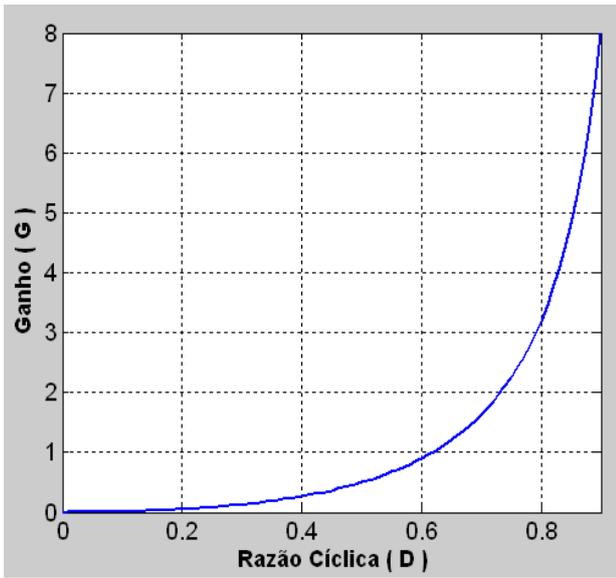


Fig. 8. Gráfico do ganho estático em função da razão cíclica.

IV. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Os resultados experimentais, para o protótipo de 11 W, foram obtidos de acordo com os parâmetros apresentados na Tabela I e Tabela II.

TABELA I

Parâmetros da Lâmpada de LEDs

Parâmetros	Valores
LEDs	10 XLamp® XR-E
Corrente nominal do Vetor de LEDs	350 mA
Tensão nominal do Vetor de LEDs	33 V
Ângulo de Visão	90°
Fluxo Luminoso	1000 lm

A Figura 9 mostra a forma de onda entre dreno e fonte (VDS) na chave S e as formas de ondas de corrente nos indutores L1 (IL1) e L3 (I_O), quando o conversor é alimentado pela rede para a tensão de 240 V_{CA}. Nesta condição, a razão cíclica é de 28,19 %, o que indica que as características do conversor Buck2 estão prevalecendo sobre a do conversor Boost, o que está de acordo com o gráfico do ganho estático apresentado na Figura 8.

TABELA II
Parâmetros do Conversor Boost-Buck2

Parâmetros/Componentes	Valores
Interruptor (S)	SPP17N80C3
Frequência de Chaveamento (f _s)	100 kHz
Indutor (L1)	28 mH
Indutor (L2)	23 mH
Indutor (L3)	7 mH
Capacitor (C1)	94 μF
Capacitor (C2)	100 nF
Capacitor (C3)	330 nF
Capacitor (C4)	100 nF
Diodos D1, D2 , D3, D4 e D5	HFA08TB60

Além disso, observa-se na Figura 9 que apesar da tensão de alimentação ser elevada 240 V_{CA} (340 V_{CC}) o conversor Buck2 reduz a tensão 10,3 vezes e evita que a razão cíclica seja extremamente reduzida, facilitando o controle e permitindo que o conversor opere em frequências de chaveamento elevada.

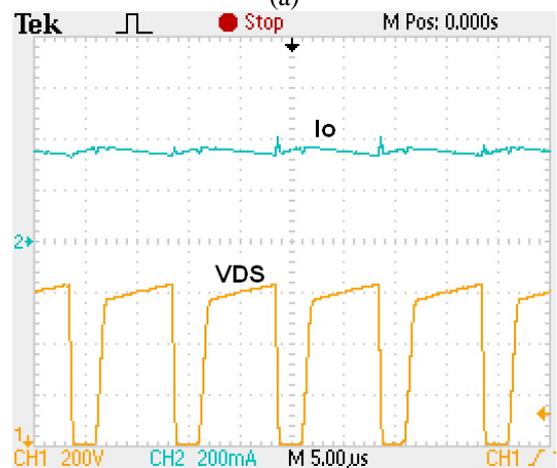
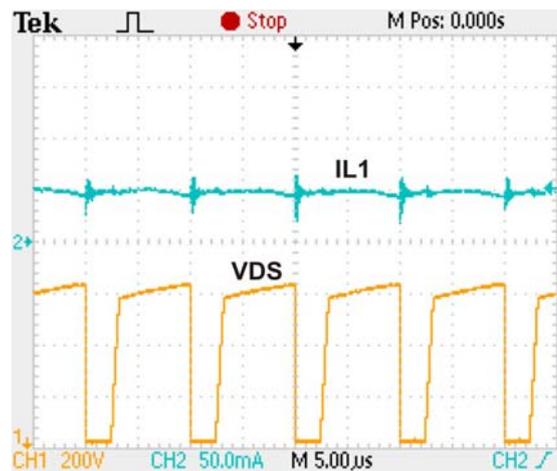


Fig. 9. Formas de ondas para Vi = 240 V_{CA} : (a) Tensão VDS na chave S - 200 V/div e Corrente IL1 no indutor L1 - 50 mA/div; (b) Tensão VDS na chave S - 200 V/div e Corrente I_O no vetor de LED - 200 mA/div.

A Figura 10 exibe VDS na chave S e a corrente no indutor L1 (IL1) e L3 (I_O), quando o conversor é alimentado por um sistema fotovoltaico de 12 V_{CC}. Neste caso, a razão cíclica é 83,50 % e as características de conversor Boost prevalecem sobre as do Buck2. Este comportamento está conforme o gráfico do ganho estático exibido na Figura 8.

As Figuras 9 e 10 apresentam as tensões VDS na chave S e a corrente no vetor de LEDs para as tensões de alimentação máximas e mínimas do conversor Boost-Buck2, demonstrando que a corrente no vetor de LEDs é mantida constante nas condições extremas.

A condição de alimentação intermediária (V_i = 127 V_{CA}) é vista na Figura 11 (a) e (b). As formas de ondas inferiores, em cada figura, exibem a tensão entre dreno e fonte no interruptor S e as formas de ondas superiores as correntes no indutor de entrada (IL1) e no indutor de saída (I_O).

A Figura 12 mostra o gráfico da tensão CA de entrada em função do rendimento do conversor proposto. O experimento foi realizado com o Medidor Digital de Potência WT 230 da YOKOGAWA. De acordo com os resultados experimentais obtidos, a topologia proposta é ideal em aplicações que utilizem sistemas fotovoltaicos de 48 V de modo que o rendimento da estrutura seja máximo.

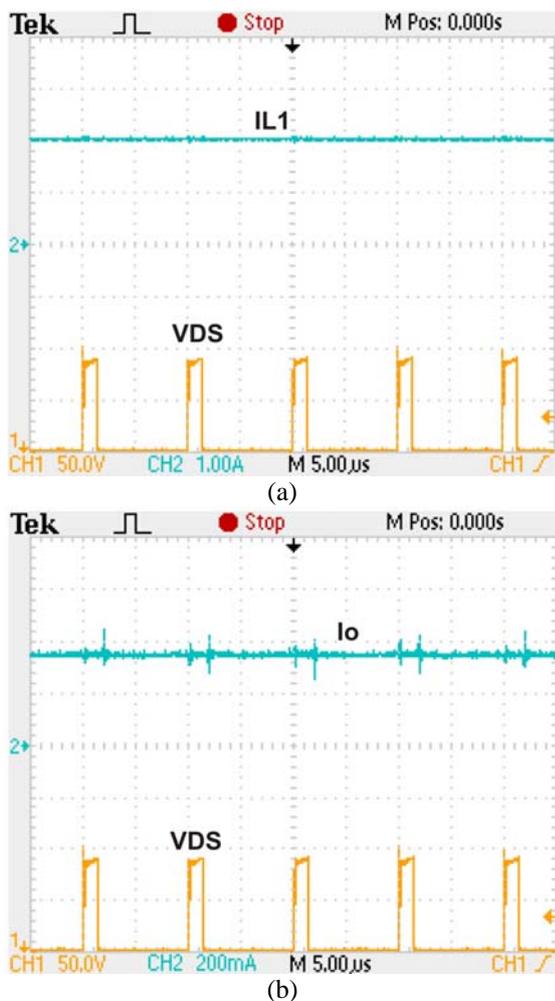


Fig. 10. Formas de ondas para V_i = 12 V_{CC}: (a) Tensão VDS na chave S - 50 V/div e Corrente IL1 no indutor L1 - 1 A/div; (b) Tensão VDS na chave S - 50 V/div e Corrente I_O no vetor de LED - 200 mA/div.

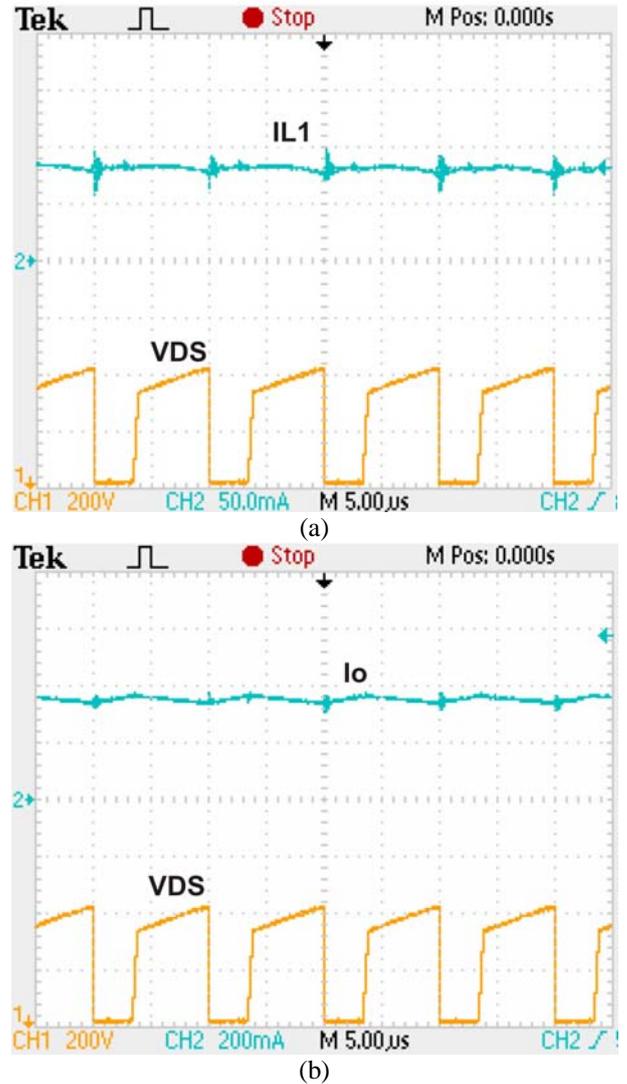


Fig. 11. Formas de ondas para V_i = 127 V_{CA}: (a) Tensão VDS na chave S - 200 V/div e Corrente IL1 no indutor L1 - 50 mA/div; (b) Tensão VDS na chave S - 200 V/div e Corrente I_O no vetor de LED - 200 mA/div.

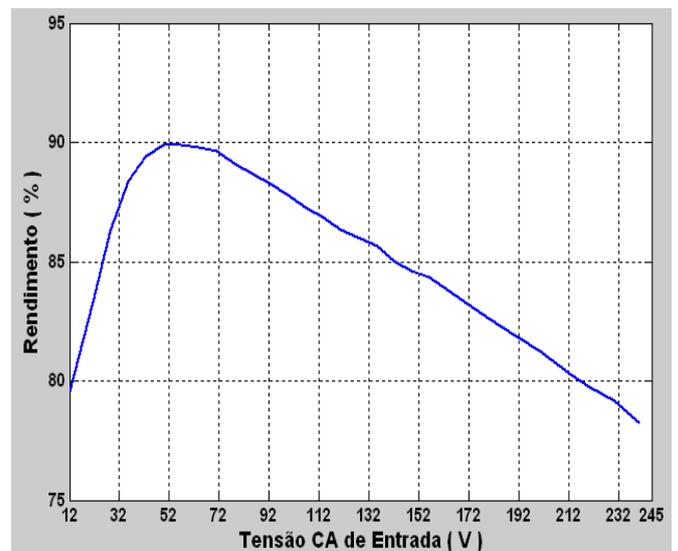


Fig. 12. Curva do rendimento em função da tensão CA de entrada.

As Figuras 13 e 14 apresentam o comportamento da tensão de entrada V_i no capacitor C_1 , corrente IL_1 no indutor L_1 , corrente de saída I_O e tensão entre dreno e fonte na chave S em um período de tempo prolongado.

Para finalizar, vale salientar que no modo de operação boost, isto é, quando o conversor é alimentado em 12 V CC, o pico de corrente na chave ativa chega a 3 A.

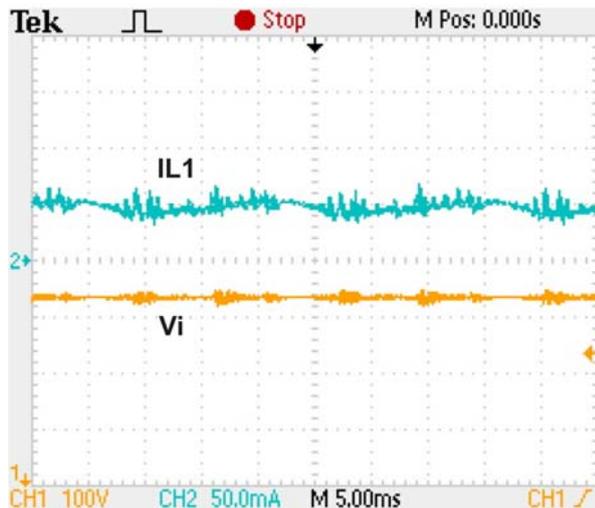


Fig. 13. Tensão de entrada V_i no capacitor C_1 - 100 V/div e corrente IL_1 no indutor L_1 - 50 mA/div.

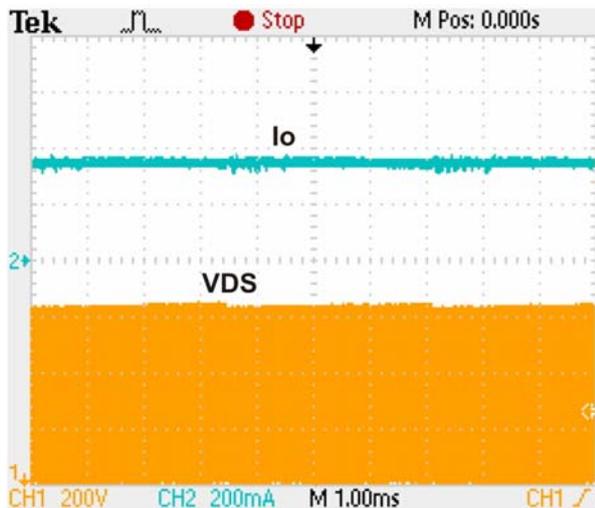


Fig. 14. Corrente de saída I_O no vetor de LED - 200 mA/div e tensão VDS na chave S - 200 V/div.

V. CONCLUSÕES

Este artigo apresentou o projeto e implementação de um conversor Boost-Buck Quadrático, que apresenta faixa larga de conversão de tensão, permitindo que seja alimentado por um sistema fotovoltaico de 12 V_{CC} ou pela rede de energia elétrica de 110/220 V_{CA} , ideal para o acionamento de uma lâmpada de LEDs empregada em iluminação. Além disso, o conversor proposto apresenta uma única chave ativa e somente duas etapas de operação, apesar de ser composto por um conversor Boost e dois conversores Buck.

Quando o conversor é alimentado por painel fotovoltaico ele permite ao consumidor de energia elétrica evitar a compra de energia da concessionária passando a utilizar a rede de distribuição somente em dias nublados ou durante a manutenção do sistema fotovoltaico. Além disso, a utilização de fontes de energia alternativa gera crédito de carbono e evita o efeito estufa.

Portanto, o diferencial da proposta apresentada com relação a trabalhos anteriores é a possibilidade de se utilizar o conversor em uma faixa larga de conversão podendo o conversor operar como elevador ou abaixador de tensão, com uma única chave ativa.

Os resultados experimentais demonstram que a topologia proposta é ideal para aplicações que utilizam sistemas fotovoltaicos de 48 V, pois para este nível de tensão o rendimento é máximo.

Para finalizar, os resultados experimentais extraídos do protótipo de 11 W demonstram que o conversor proposto impõe a corrente desejada na lâmpada de LEDs, tanto para a tensão máxima quanto para a tensão mínima especificada, comprovando sua operação em uma faixa larga de tensão de entrada que vai de 12 V_{CC} até 340 V_{CC} .

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Capes, Fapemig e CNPq pelo suporte.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] B. Kroposki and R. DeBlasio, "Technologies for the new millennium: photovoltaics as a distributed resource", in *Proc. IEEE Power Engineering Society Summer Meeting*, vol. 3, pp. 1798-1801, July 2000.
- [2] NL. Castaner and S. Silvestre, *Modeling Photovoltaic System*, John Wiley & Sons Ltd, 2002.
- [3] M. P. Choi and A. Tan, "Photovoltaics Demonstration Projects", *Proc. of EMPD 98*, Vol. 2, 1998, pp.637-643.
- [4] D. C. Martins, R. Demonti, "Aproveitamento Viável de Módulos Fotovoltaicos Através do Envio da Energia à Rede Comercial Utilizando Conversores Estáticos de Energia", *Revista Eletrônica de Potência*, vol. 1, no. 10, pp. 59-66, Junho 2005.
- [5] M. C. Cavalcanti, G. M. S. Azevedo, B. A. Amaral, F. A. S. Neves, D. C. Moreira, K. C. de Oliveira, "A Grid Connected Photovoltaic Generation System with Compensation of Current Harmonics and Voltage Sags", *Revista Eletrônica de Potência*, vol. 11, no. 2, pp. 93-101, Julho 2006.
- [6] K. C. A. de Souza, R. F. Coelho, D. C. Martins, "Proposta de um Sistema Fotovoltaico de Dois Estágios Conectado à Rede Elétrica Comercial", *Revista Eletrônica de Potência*, vol. 12, no. 2, pp. 129-136, Julho 2007.
- [7] M. G. Molina, D. H. Pontoriero, P. E. Mercado, "An Efficient Maximum-Power-Point-Tracking Controller for Grid-Connected Photovoltaic Energy Conversion System", *Revista Eletrônica de Potência*, vol. 12, no. 2, pp. 147-154, Julho 2007.

- [8] E. M Sá Jr., S. Daher, F. L. M. Antunes, C. M. T. Cruz, K. M. Silva, A. R. Figueira, "Photovoltaic System for Supplying Public Lighting as Peak Demand Shaving", *Revista Eletrônica de Potência*, vol. 12, pp. 113-120, Julho 2007.
- [9] LEDs Magazine, "Lumileds presents new analysis of power LED reliability", Copyright 2007 PennWell Corporation, pp. 12, May/June 2007.
- [10] F. Bernitz, O. Schallmoser, Wolfram Sowa, "Advanced Electronic Driver for Power LEDs with Integrated Colour Management", *Industry Applications Conference 41st IAS Annual Meeting. IEEE*, vol. 5, pp. 2604 – 2607, October 2006.
- [11] M. Rico-Secades, A.J. Calleja, J. Cardesín, J. Ribas, E.L. Corominas, J.M. Alonso, J. García, "Driver for High Efficiency LED Based on Flyback Stage With Current Mode Control for Emergency Lighting System", *Industry Applications Conference 39th IAS Annual Meeting*, vol. 3, pp.1655-1659, October 2004.
- [12] A. J. Calleja, M. Rico-Secades, J. Cardesín, J. Ribas, E.L. Corominas, J.M. Alonso, J. García, "Evaluation of a High Efficiency Boost Stage to Supply a permanent LED Emergency Lighting system", *Industry Applications Conference, 39th IAS Annual Meeting*, vol. 2, pp.1390-1395, Oct 2004.
- [13] G. Sauerlander, D. Hente, H. Radermacher, E. Waffenschmidt, J. Jacobs, "Driver Electronics for LEDs", *Industry Applications Conference 41st IAS Annual Meeting. Conference Record of the 2006 IEEE*, vol. 5, 8-12, PP. 2621 – 2626, October 2006.
- [14] J. A. Morales-Saldaña, E. E. Carbajal-Gutierrez, J. Leyva-Ramos, "Modeling of switch-mode DC-DC cascade converters", *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.*, 38(1), pp. 295–299, 2002.
- [15] H. Matsuo, K. Harada, "The cascade connection of switching regulators", *IEEE Trans. Ind. Appl.*, 12(2), pp. 192–198, 1976.
- [16] D. Maksimovic, S. Cuk, "Switching converters with wide dc conversion range", *IEEE Transaction on Power Electronics*, 6(1), pp. 151–157, 1991.
- [17] V. M. Pacheco, A. J. Do Nascimento, V. J. Farias, J. B. Vieira, L. C. Freitas, "A quadratic buck converter with lossless commutation", *IEEE Trans. Ind. Electron.*, 47(2), pp. 264–272, 2000.
- [18] E. E. Carbajal-Gutierrez, J. A. Morales-Saldaña, J. Leyva-Ramos, "Modeling of a single-switch quadratic buck converter", *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.*, 41(4), pp. 1451–1457, 2005.
- [19] S. Bowling, "A Digital Constant Power LED Driver", *Application Notes AN1138*, Microchip Technology Inc, 2007.

DADOS BIOGRÁFICOS

Jonas Reginaldo de Britto, nascido em 15/10/1971 em Santo Antônio da Platina-PR, é engenheiro eletricitista (1998) pela Universidade do Estado de Santa Catarina. Atualmente é professor efetivo do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins. Suas áreas de interesse são:

conversão de potência em alta frequência, modelamento e controle de conversores, novas topologias de conversores e Iluminação de estado sólido.

Fábio Vincenzi Romualdo da Silva, nascido em 30/08/1974 em Itapuí-SP, é engenheiro eletricitista (2000) pela Universidade Federal de Uberlândia, mestre (2003) e doutor em Engenharia Elétrica (2007) pela Universidade Federal de Uberlândia. Atualmente é professor Adjunto do curso de Engenharia Elétrica na Universidade Federal de Uberlândia. Suas áreas de interesse são: conversão de potência em alta frequência, modelamento e controle de conversores, circuitos para correção de fator de potência e novas topologias de conversores. Dr. Fábio Vincenzi é membro da SOBRAEP.

Ernane Antônio Alves Coelho, nasceu em Teófilo Otoni, Minas Gerais, em 1962. Recebeu a graduação em engenharia elétrica pela Universidade Federal de Minas Gerais em 1987, o título de mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina em 1989 e o título de doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Minas Gerais em 2000. Atualmente é professor Adjunto do curso de Engenharia Elétrica na Universidade Federal de Uberlândia. Ele tem mais de 100 artigos científicos publicados. Suas áreas de interesse são: Inversores PWM, correção de fator de potência e controle digital baseado em microcontroladores e DSPs.

Luiz Carlos de Freitas, nascido em 01/04/1952 em Monte Alegre-MG, é engenheiro eletricitista (1975) pela Universidade Federal de Uberlândia, mestre (1985) e doutor em Engenharia Elétrica (1992) pela Universidade Federal de Santa Catarina. Atualmente é professor titular da Universidade Federal de Uberlândia. Suas áreas de interesse são: conversão de potência em alta frequência, modelamento e controle de conversores, circuitos para correção de fator de potência e novas topologias de conversores. Dr. de Freitas é membro fundador da SOBRAEP.

Valdeir José Farias, nasceu em Araguari, Minas Gerais, em 1947. Recebeu a graduação em engenharia elétrica pela Universidade Federal de Uberlândia em 1975, o título de mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Minas Gerais em 1981 e o título de doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas em 1989. Atualmente é professor Adjunto do curso de Engenharia Elétrica na Universidade Federal de Uberlândia. Suas áreas de interesse são: Conversores com comutação suave e filtros ativos.

João Batista Vieira Júnior, nascido em 23/04/1955 em Panamá-GO, é engenheiro eletricitista (1980) pela Universidade Federal de Uberlândia, mestre (1984) e doutor em Engenharia Elétrica (1991) pela Universidade Federal de Santa Catarina. Atualmente é professor titular da Universidade Federal de Uberlândia. Suas áreas de interesse são: conversão de potência em alta frequência, modelamento e controle de conversores, circuitos para correção de fator de potência e novas topologias de conversores. Dr. Vieira Jr. é membro fundador da SOBRAEP.