

PROJETO DE FONTE CHAVEADA TIPO *FLYBACK* PARA ALIMENTAR UM *RASPBERRY PI*¹

Clésio Eurípedes Ferreira Pacheco

Graduando do 10º período do curso de Engenharia Elétrica do UNIPAM.
E-mail: clesioefp@unipam.edu.br

Pedro Junior Ashidani

Professor orientador do curso de Engenharia Elétrica do UNIPAM.
E-mail: pedroja@unipam.edu.br

RESUMO: Devido o *Raspberry Pi* não vir com fonte de alimentação própria, este projeto veio com o propósito de prototipar uma fonte chaveada do tipo *Flyback*, que, de acordo com suas características de funcionamento e eficiência em baixas potências, mostrou-se a melhor opção para aplicação diante às demais topologias de fontes chaveadas existentes. O projeto foi realizado com o suporte de pesquisa em projetos de fontes tipo *Flyback* e fornecimento dos componentes pelo Laboratório de Eletrônica do UNIPAM.

PALAVRAS-CHAVE: Flyback. Fonte chaveada. Raspberry pi.

ABSTRACT: Because Raspberry Pi does not come with its own power supply, this project came with the purpose of prototyping a switched source of the Flyback type that according to its characteristics of operation and efficiency in low power has proved the best option for application in front of the others topologies of existing switched sources. The project was carried out with the support of research in projects of Flyback type sources and supply of the components by the Laboratory of Electronics of UNIPAM.

KEYWORDS: Flyback. Raspberry pi. Switched source.

1 INTRODUÇÃO

O crescente número de interligações entre os sistemas elétricos existentes, ocasionados pelo aumento de demanda por energia elétrica nas últimas décadas, tornou a operação e o controle desses sistemas uma tarefa literalmente complexa. No setor industrial, isso só se tornou possível graças à evolução tecnológica dos componentes de chaveamento dos conversores de energia estáticos.

Atualmente no mundo e em particular no Brasil, o sistema de transmissão de energia elétrica predominante é o trifásico alternado senoidal (CA), que, após receber um tratamento específico, é disponibilizado ao consumidor em valores eficazes de tensões padronizadas, como, por exemplo, no sistema residencial brasileiro predomina

¹Trabalho apresentado na temática Sistemas Elétricos de Potência - Congresso Mineiro de Engenharia e Arquitetura, realizado de 6 a 9 de novembro de 2018.

o monofásico senoidal, sendo disponibilizados ao usuário valores de tensões iguais a 127 ou 220V (Volts), com frequência fixa e igual a 60Hz (Hertz) (ARRABAÇA; GIMENEZ, 2016).

Os conversores de tensão em Corrente Contínua (CC/CC) são utilizados quando a fonte de alimentação disponível é de corrente contínua (barramento CC), que, geralmente, provém de um conversor CA/CC fixo (constituído por diodos retificadores ou por um banco de baterias), cuja função é alimentar uma carga que necessita de alimentação de tensão CC ajustável. A transformação de uma fonte de tensão CC fixa em uma fonte de tensão CC ajustável é feita por meio de técnicas de chaveamento de dispositivos semicondutores de potência, tais como modulação por frequência (*Frequency Modulation*, FM), modulação por largura de pulsos (*Pulse-Width Modulation*, PWM), entre outras. O processo mais utilizado é a modulação por largura de pulsos (ARRABAÇA; GIMENEZ, 2013).

Ahmed (2000) e Rashid (2014) reforçam que os conversores de tensão CC/CC atuais utilizam como elemento de chaveamento o dispositivo semicondutor Transistor Bipolar de Porta Isolada (*Insulated Gate Bipolar Transistor*, IGBT) ou o Transistor de Efeito de Campo Metal-Óxido-Semicondutor (*Metal-Oxide-Semiconductor Field Effect Transistor*, MOSFET). Com esses dispositivos, o bloqueio é feito naturalmente, através da retirada do sinal do terminal de porta, resultando em um circuito que opera em frequências superiores a 100kHz, proporcionando uma considerável diminuição no tamanho do transformador (menor peso e espaço) e, conseqüentemente, a utilização de elementos armazenadores de energia.

Esses conversores proporcionam um controle de aceleração suave e frenagens regenerativas ou dinâmicas de motores de corrente contínua com alta eficiência. Os conversores de tensão CC/CC mais antigos utilizavam como chave ideal (ch) o dispositivo semicondutor denominado Retificador Controlado de Silício (*Silicon Controlled Rectifier*, SCR) para realizar o chaveamento. No entanto, esse dispositivo exige que o bloqueio seja forçado e uma maneira de realizá-lo é utilizar um circuito RLC (resistor, indutor e capacitor) ressonante, que, em virtude de suas características elétricas, limita a frequência de chaveamento em aproximadamente 10kHz.

Devido à importância e necessidade do uso das fontes de alimentação nos circuitos eletroeletrônicos, o objetivo deste trabalho é a construção de um protótipo de fonte chaveada com a topologia *Flyback* para alimentação de um *Raspberry Pi*, o qual é um computador do tamanho de um cartão de crédito, que se conecta a um monitor de computador ou TV, e usa um teclado e um mouse padrão, desenvolvido no Reino Unido pela Fundação *Raspberry Pi*. Todo o hardware é integrado numa única placa. O principal objetivo é promover o ensino em Ciência da Computação básica em escolas, inclusão e empoderamento social, sendo multiplataforma, considerando as mais consagradas marcas de videogames do mundo é também como parte deste processo uma excelente plataforma, tanto para a indústria quanto para a casa inteligente e os IOT - Internet das Coisas, marcando e melhorando o nível de empregabilidade (OLIVEIRA; ZANETTI; NABARRO, 2018).

Para execução deste trabalho serão necessários:

- Estudo das topologias de fontes chaveadas;
- Concepção de cálculos do projeto;

- Desenho do circuito impresso;
- Especificação e aquisição de componentes;
- Montagem do protótipo;
- Testes funcionais e de desempenho.

Todo circuito eletroeletrônico necessita de uma fonte de alimentação, e as fontes chaveadas, devido ao seu tamanho reduzido e ao alto rendimento, mostram-se uma solução importante de engenharia. Esta pesquisa permeia inúmeras possibilidades de aplicações de fontes chaveadas, norteadas aqueles que se interessarem pelo campo da eletrônica de potência e no desenvolvimento de dispositivos chaveados de alto desempenho com custo reduzido.

Várias áreas de conhecimento são necessárias para contemplar esse tema, tais como eletrônica analógica, sistemas de controle, eletromagnetismo, etc., sendo um trabalho que irá sintetizar e integrar vários conhecimentos adquiridos ao longo do curso.

O conversor *flyback* foi escolhido em relação às demais topologias de fontes chaveadas por necessitar de poucos componentes para confecção de seu esquemático, conforme afirmado por Barbi (2001) e, principalmente, por ser eficiente para trabalhar em potências até 150W, sendo o mais adequado para fornecer o nível de potência necessário para a alimentação do *Raspberry Pi*.

2 DESENVOLVIMENTO

Nesta seção, serão abordadas e discutidas a definição de conversores e as topologias de fontes chaveadas, baseado em alguns autores, dentre eles, destacam-se Arrabaça e Gimenez (2013; 2016), Mello (2011), Rashid (2014), Ahmed (2000), Barbi (2001).

2.1 CONCEITOS DE CONVERSORES

Os conversores CC/CC podem ser definidos como circuitos que transformam uma tensão em outra. Outra definição comum é fazer uma analogia bastante conhecida em engenharia eletrônica, com relação ao processamento de sinais, na qual se refere à conversão CC/CC como um processamento de potência, no qual tanto o sinal de entrada quanto o de saída são “potência”, sendo que essa potência na entrada pode ser fornecida por uma fonte de tensão ou corrente, e a potência na saída pode ser entregue como corrente ou tensão. O tipo de potência pode ser CC ou CA tanto na entrada quanto na saída. Para esse processo é necessário um sinal que controle, onde o circuito de processamento de potência e o sinal de controle fornecem as características de funcionamento do conversor (MELLO, 2011).

Mello (2011) ressalta ainda que, para um conversor ter alguma utilidade, é necessário que a sua saída seja controlada de maneira a atender as especificações de projeto. Por exemplo, caso seja necessário uma tensão de 5V regulada na saída e a tensão de entrada pode variar de 50 a 100V, tanto o conversor quanto o circuito de controle devem ser capazes de processar essas informações e fornecer um sinal de

controle que atenda às especificações de projeto.

Fazendo uma analogia com um transformador de tensão CA/CA, Arrabaça e Gimenez (2013) dizem que o conversor CC/CC pode ser estudado como um transformador de tensão CC, cuja relação de espiras varia continuamente com o tempo, permitindo assim aumentar ou diminuir a tensão CC, que é aplicada à carga. Os autores citam algumas aplicações para esses conversores:

Para uso em baixas potências:

- Fonte de alimentação para celulares;
- Fonte de alimentação para *Raspberry Pi*, *iPods*, *laptops* e *notebooks*;
- Fonte de alimentação que utilizam *Leds*;
- Carregadores para pilhas recarregáveis etc.

Para média e alta potências:

- Acionamento de motores CC;
- Reguladores de tensão elétrica a fontes chaveadas;
- Em motores automotivos elétricos de corrente contínua (CC) utilizados em carros elétricos, metrô, etc.

2.2 TOPOLOGIAS DE FONTES CHAVEADAS

As fontes chaveadas possuem circuitos básicos para conversão de tensão CC/CC, que são formados por um indutor e um capacitor, que são componentes armazenadores de energia, os quais, segundo Arrabaça e Gimenez (2013), são:

- Conversor *Buck* (abaixador de tensão);
- Conversor *Boost* (elevador de tensão);
- Conversor *Buck-Boost* (abaixador-elevador de tensão).

Existem ainda outros circuitos de fontes chaveadas CC/CC mais elaborados a partir destes citados anteriormente, que possuem, geralmente, dois capacitores e dois indutores para armazenamento de energia, conforme apresentado por Arrabaça e Gimenez (2013), sendo:

- Conversor CUK: esta fonte pode fornecer para a carga, um valor de tensão maior, igual ou menor que a tensão de entrada, porém com inversão de polaridade.
- Conversor SEPIC: este circuito funciona conforme o CUK, porém não há inversão de fase. Sua principal característica é isolação entre a fonte de alimentação e a carga, sendo aplicado geralmente em carregadores de baterias de celulares e *notebooks*.
- Conversor ZETA: esta configuração tem o mesmo princípio de funcionamento e características do conversor SEPIC, porém é mais usado para correção de fator de potência.

Complementando as ideias de Arrabaça e Gimenez (2013), Horowitz e Hill (2017) e Hart (2012) afirmam que, por meio da incorporação de um transformador dentro do circuito de comutação dos conversores citados anteriormente, é possível

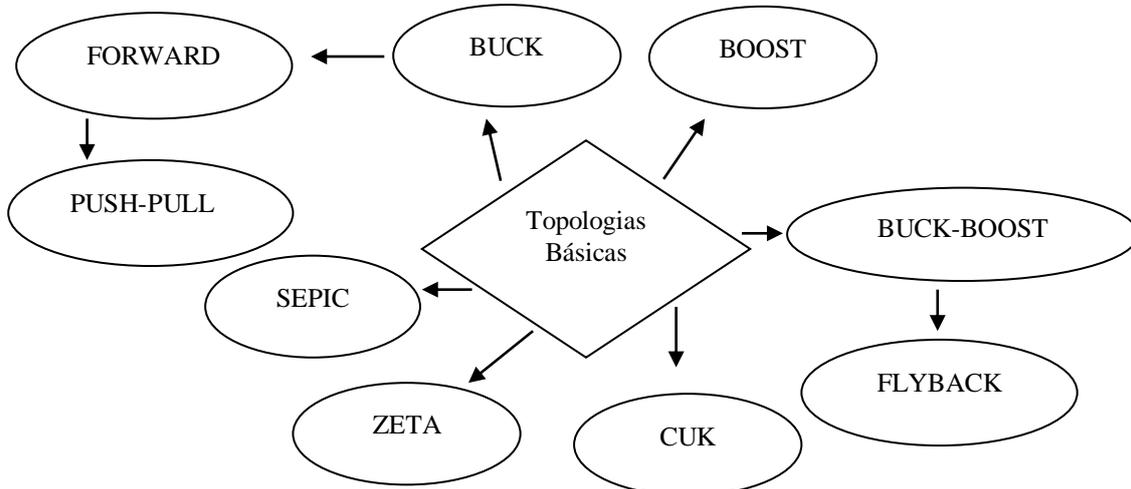
atender a três propósitos importantes: (a) fornecimento de isolamento galvânica, que é essencial para conversores que são alimentados a partir da rede elétrica CA; (b) mesmo que o isolamento não seja necessário, a relação de espiras do transformador proporciona uma conversão intrínseca de tensão, de modo que podem ser produzidas grandes relações *step-up* ou *step-down* enquanto fica em uma faixa favorável do ciclo de trabalho de chaveamento; e (c) pode-se enrolar vários secundários para produzir múltiplas tensões de saída e é assim que essas fontes de alimentação dos computadores atuais geram saídas de +3,3V, +5V, +12V, e -12V, tudo ao mesmo tempo.

Barbi (2001) afirma que a incorporação de uma bobina ou um transformador nas topologias básicas de fontes chaveadas dá origem às seguintes topologias de conversores:

- Conversor *Flyback*: é uma derivação do conversor *buck-boost* com ou sem isolamento galvânica.
- Conversor *Forward* ou Conversor Direto: é derivado do conversor *buck* com isolamento galvânico entre o primário e secundário.
- Conversor *Push-Pull*: é um arranjo de dois conversores *forward* com excitação bidirecional do transformador por meio de um enrolamento primário dividido.

Neste trabalho foi abordado o conversor tipo *Flyback*, o qual é bastante utilizado em carregadores de celulares, *notebooks*, dentre outros. Foi utilizado também devido ao seu alto desempenho, necessitando de uma pequena quantidade de componentes discretos e baixo custo de confecção. Na figura 1, são apresentadas as topologias básicas de fontes chaveadas.

Figura 1 – Topologias básicas de fontes chaveadas



Fonte: Adaptado de Arrabaça; Gimenez, 2013, p.18.

2.3 DESCRIÇÃO DOS ESTÁGIOS DE UMA FONTE CHAVEADA

Embasado na teoria de Barbi (2001), segue a descrição de Vieira (2009) sobre os estágios de uma fonte chaveada:

- Filtro RF: nas fontes chaveadas, as interferências por radiofrequência (RFI)

podem ser transmitidas através de terminais de entrada e de saída ou por radiação direta. A radiação emitida para o exterior pode ser reduzida colocando-se a fonte dentro de uma caixa metálica fazendo uma blindagem, sendo devidamente perfurada para permitir a remoção do calor. As RFI que são transmitidas pelos terminais exigem componentes indutivos e capacitivos responsáveis por atenuar tais sinais, visando à filtragem dos harmônicos indesejáveis.

- Retificador com filtro capacitivo: esse circuito é responsável por converter a tensão CA da fonte de alimentação em uma tensão CC, dando origem a um “barramento CC”. Os diodos têm a função de retificar o sinal, enquanto o capacitor visa reduzir o “ripple” (ondulação) deste sinal vindo da ponte retificadora. O dimensionamento do capacitor é de vital importância, pois altas capacitâncias geram transientes (picos/ondulações) na corrente com elevada amplitude. Este elevado valor de pico de corrente se deve ao processo de carga inicial dos capacitores de entrada, sendo que estes capacitores se encontram inicialmente descarregados, exigindo um alto valor de corrente durante a partida. Este pico de corrente na partida poderá danificar os componentes do circuito ou causar o rompimento do fusível de proteção.
- Proteção: este item engloba o fusível de entrada e outros sub-circuitos de proteção mais robustos, como: tempo morto, partida suave (“soft starter”), comutação suave e “snubbers”. Tais itens possuem a função de limitar a dissipação de potência indevida sobre os demais itens do sistema, principalmente sobre a chave comutadora.
- Fonte Auxiliar: tem como função alimentar o CI (Circuito Integrado) de controle. Normalmente, nessas fontes, que utilizam transformadores, é projetado um enrolamento a mais somente para tal aplicação.
- Comando: o circuito de comando é geralmente executado por “CIs” dedicados ou microcontroladores. Embora existam circuitos que operem com Modulação em Frequência, o método de controle mais utilizado é o de Modulação por Largura de Pulso. Esses controladores podem trabalhar por controle de tensão ou corrente. Por outro lado, as características específicas de cada CI variam de acordo com a aplicação, das proteções implementadas, do grau de desempenho esperado, etc. De forma geral, as características que os atuais CIs possuem são as seguintes: um oscilador programável com frequência fixa até 500kHz; uma referência de tensão integrada; um amplificador de erro integrado; um sinal PWM linear, com ciclo de trabalho de 0 a 100%; tempo morto ajustável; inibição por sub-tensão; uma elevada corrente de saída no acionador, que é geralmente de 100 a 200mA; opção de saída simples ou dupla; “soft starter”; limitação digital de corrente; com capacidade de sincronização com diversos osciladores. Como se pode verificar, este CI já apresenta em seu corpo diversos itens de proteção integrados, reduzindo-se, assim, a quantidade de componentes a se utilizar no projeto como um todo.
- Isolamento: o processo de implementação de uma fonte de tensão sem acoplamento com a rede deve ter a previsão da capacidade de oferecer na saída uma tensão com boa regulação. Outra característica deve ser o

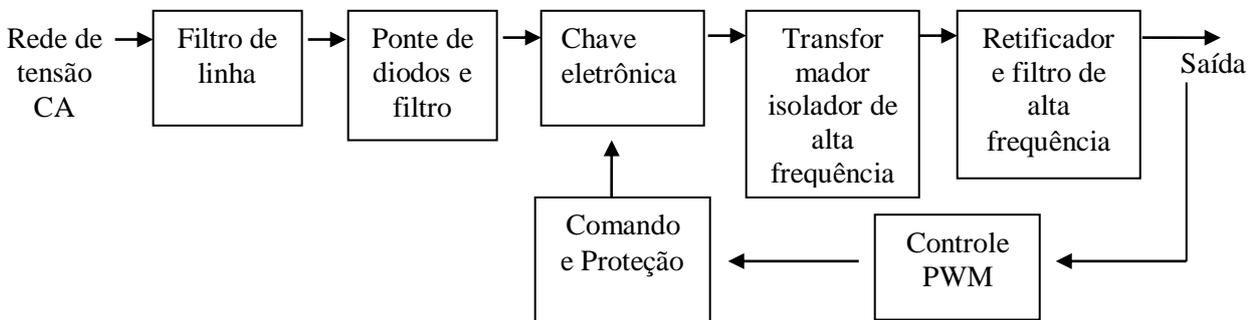
isolamento entre a entrada e a saída, para proteger o usuário de choques devido à fuga de corrente e do elevado potencial da entrada. Para conversores abaixadores, a utilização de um transformador proporciona também a redução da tensão entre primário e secundário pela razão de espiras, permitindo uma melhor regulação da carga na saída.

- Filtro de Saída: com exceção do conversor tipo *Flyback*, no qual o enrolamento do secundário compõe o próprio filtro de saída, as demais fontes chaveadas isoladas apresentam o seu indutor e capacitor de filtragem localizado após o transformador. Ao projetar essas fontes, a capacitância de saída é um grande fator que deve ser considerado, pois a RSE (Resistência Série Equivalente) do capacitor de saída inclui um polo na função de transferência do conversor, o que exige um compensador de maior ordem. Neste trabalho não será abordada a matemática e diagramas de blocos da função de transferência do filtro.

Vieira (2009) ressalta ainda que outro fator importante a ser observado é a vida útil dos capacitores eletrolíticos, que é muito menor perante aos demais capacitores constituídos de matérias diferentes, e que sempre que possível deve se optar por não utilizar capacitores eletrolíticos.

A Figura 2 representa o diagrama de blocos básico dos estágios de uma fonte chaveada.

Figura 2 – Diagrama de blocos dos estágios de uma fonte chaveada



Fonte: Adaptado de Arrabaça; Gimenez, 2013, p.20.

3 METODOLOGIA

A metodologia adotada para realização deste trabalho foi baseada em revisão bibliográfica e webliográfica sobre as diferentes topologias de fontes chaveadas, encontradas em livros, revistas, periódicos e artigos científicos.

A revisão bibliográfica também é denominada de revisão de literatura ou referencial teórico. “A Revisão Bibliográfica deve ser considerada como parte de um projeto de pesquisa, no qual revela explicitamente o universo de contribuições científicas de autores sobre um tema específico”. (SANTOS; CANDELORO, 2006, p. 43).

Segundo o site dicionário informal (2015), revisão webliográfica é a bibliografia de sites utilizados em uma pesquisa ou estudo.

O protótipo do projeto da fonte chaveada tipo *flyback* foi realizado de acordo

com os procedimentos básicos e as equações de projeto ressaltadas por Ahmed (2000), Barbi (2001), Hart (2012), Horowitz e Hill (2017), Mello (2011), Mohan (2014), Rashid (2014) e dentre outros autores que realizaram pesquisas e projetos relacionados à área de eletrônica de potência e afins.

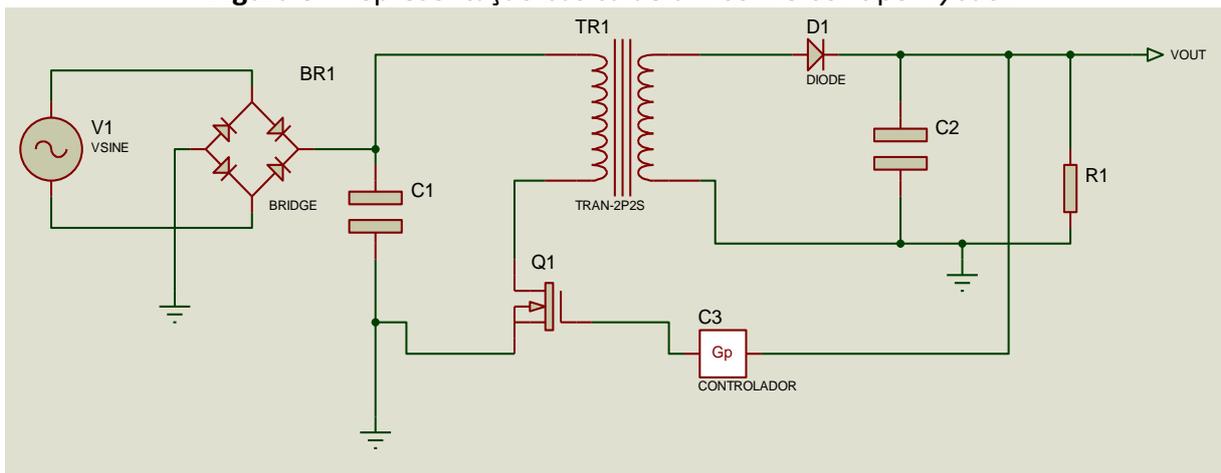
Seguindo o raciocínio de Barbi (2001), primeiramente foram definidas a tensão e corrente de saída, ou range de trabalho da fonte (caso seja uma fonte universal), frequência da rede, tensões máximas e mínimas da rede, proteções necessárias, rendimento, regulação da carga e da linha, resposta transitória, tensão de isolamento e nível de interferência eletromagnética. Posteriormente, foi definida a topologia do conversor, frequência de comutação, interruptor principal (Mosfet, IGBT, transistor, etc.), isolamento e procedimento dos cálculos do estágio de entrada (retificador e capacitor de filtro) e saída (retificador e filtro com indutor e capacitor - LC), cálculo do transformador de isolamento de alta frequência e da fonte auxiliar, escolha do CI gerador de sinal PWM, projeto dos circuitos de compensação e proteção e cálculo do filtro de Interferências Eletromagnéticas.

3.1 LEVANTAMENTO DA FONTE TIPO FLYBACK

Este trabalho foi iniciado com o estudo de uma fonte fornecida pelo Laboratório de Eletrônica do Centro Universitário de Patos de Minas – UNIPAM, com o intuito de analisar o funcionamento e compreender seus parâmetros básicos e fazer a adequação necessária dos componentes eletrônicos também disponibilizados pelo laboratório para execução do projeto final.

Para compreensão do conversor tipo *Flyback*, a figura 3 representa o esquemático básico desta topologia, com variações de acordo com os parâmetros relativos a cada tipo de projeto.

Figura 3 - Representação básica de um conversor tipo *Flyback*



Fonte: Autoria Própria, 2018.

O parâmetro inicial para projetar a fonte tipo *flyback* foi a definição dos valores de tensão e corrente na sua saída, que neste caso são 5V e 3A, constatando uma potência efetiva de 15W. A alimentação da fonte é definida pela tensão da rede da

concessionária de energia elétrica, que em questão é 127Vac, que deve ser retificada por uma ponte de diodos convencional, transformando AC em DC e um capacitor eletrolítico projetado para filtrar as imperfeições deste sinal. Como o valor de tensão DC após o capacitor de filtro é relativamente alto (de 150 a 170V) em relação à maioria da tensão de funcionamento dos equipamentos residenciais, este deve ser chaveado para acionar as bobinas do transformador e, neste caso, foi escolhido um Mosfet, que é acionado por um CI que gera pulsos PWM e enviando um sinal de tensão pulsante em alta frequência $f_s=70\text{kHz}$ ao transformador, induzindo uma tensão de 5V em seu secundário. A frequência de chaveamento do Mosfet foi utilizada para calcular e enrolar as bobinas do transformador em conformidade com o núcleo de ferrite com área efetiva $A_e A_w=0,5\text{cm}^4$, que foi fornecido pelo Laboratório de Eletrônica do UNIPAM, projetado juntamente com os demais componentes utilizados para confecção do protótipo.

Para que a potência entregue à carga ficasse estabilizada, foi utilizado um optoacoplador para colher uma amostra do sinal na saída, enviando esse sinal para um amplificador comparador de tensão, que verifica se este e o sinal de referência são compatíveis, e com isso controlar o tempo de chaveamento do Mosfet e manter o sinal da saída sempre constante. A tensão induzida CA no secundário passa novamente por um retificador em meia onda e por um de filtro pi, que é composto por dois capacitores e um indutor, disponibilizando uma tensão contínua para alimentar o *Raspberry Pi*.

4 RESULTADOS PARCIAIS

A execução do projeto partiu de uma pesquisa sobre projetos de fontes chaveadas tipo *flyback* e posteriormente adaptando circuitos de uma fonte do laboratório e realização de cálculos para adaptação dos componentes eletrônicos disponíveis no Laboratório de Eletrônica do UNIPAM.

Após a montagem do transformador utilizando núcleo de ferrite em carretel plástico, cobre com seção de 21AWG (*American Wire Gauge*), sendo mostrada sua referência de medidas na tabela 1, foi realizada a validação deste em uma *proto-board*, e posteriormente será confeccionada a placa de circuito impresso.

Tabela 1 – Referências de bitolas dos fios em AWG

AWG	Diâmetro em mm	Área em mm ²		AWG	Diâmetro em mm	Área em mm ²
1	7.35	42.40		16	1.29	1.31
2	6.54	33.60		17	1.15	1.04
3	5.86	27.00		18	1.024	0.823
4	5.19	21.20		19	0.912	0.653
5	4.62	16.80		20	0.812	0.519
6	4.11	13.30		21	0.723	0.412
7	3.67	10.60		22	0.644	0.325
8	3.26	8.35		23	0.573	0.259
9	2.91	6.62		24	0.511	0.205
10	2.59	5.27		25	0.455	0.163
11	2.30	4.15		26	0.405	0.128
12	2.05	3.31		27	0.361	0.102
13	1.83	2.63		28	0.321	0.0804
14	1.63	2.08		29	0.286	0.0646
15	1.45	1.65		30	0.255	0.503

Fonte: Autoria Própria.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A elaboração de uma fonte chaveada não é trivial como proposto na escolha do projeto principalmente devido às suas peculiaridades de funcionamento dos componentes em cada etapa de montagem e validação. Apesar das dificuldades de adaptação dos componentes, este trabalho gerou um grande conhecimento agregado com tudo que foi visto nas disciplinas ao longo do curso, atingindo, assim, os objetivos propostos pelo projeto, que era fornecer uma alimentação estável para o *Raspberry Pi*.

REFERÊNCIAS

AHMED, Ashfaq. **Eletrônica de potência**. São Paulo: Pearson, 2000.

ARRABAÇA, Devair Aparecido; GIMENEZ, Salvador Pinillos. **Conversores de energia elétrica CC/CC para aplicações em eletrônica de potência**: conceitos, metodologia de análise e simulação. São Paulo: Érica, 2013.

ARRABAÇA, Devair Aparecido; GIMENEZ, Salvador Pinillos. **Eletrônica de potência**: conversores de energia (CA/CC): teoria, prática e simulação. 2. ed. São Paulo: Érica, 2016.

BARBI, Ivo. **Eletrônica de Potência**: projetos de fontes chaveadas. Florianópolis: Edição do Autor, 2001.

HART, Daniel W. **Eletrônica de potência**: análise e projetos de circuitos. Porto Alegre,

RS: AMGH, 2012.

HOROWITZ, Paul; HILL, Winfield. **A arte da eletrônica: circuitos eletrônicos e microeletrônica**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2017.

MELLO, Luiz Fernando Pereira de. **Projetos de Fontes Chaveadas: teoria e prática**. São Paulo: Érica, 2011.

MOHAN, Ned. **Eletrônica de potência: curso introdutório**. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

OLIVEIRA, Cláudio Luis Vieira; ZANETTI, H. A. P.; NABARRO, C. B. M. **Raspberry Pi Descomplicado**. São Paulo: Érica, 2018.

RASHID, Muhammad H. **Eletrônica de potência: dispositivos, circuitos e aplicações**. 4. ed. São Paulo: Pearson, 2014.

SANTOS, V. D.; CANDELORO, R. J. **Trabalhos acadêmicos: uma orientação para a pesquisa e normas técnicas**. Porto Alegre/RS: AGE Ltda, 2006. 149 p.

VIEIRA, Igor da Costa. **Projeto de um conversor Flyback auto-oscilante de baixo custo para LED's de potência**. Belo Horizonte/MG: UFMG/PPGE. 2009. Disponível em: <https://www.ppgee.ufmg.br/defesas/307M.PDF>. Acesso em: 03 mar. 2018.

WEBLIOGRAFIA. Disponível em: <https://www.dicionarioinformal.com.br/webliografia/>. Acesso em: 07 maio 2018.