

## **Conversores Elétricos: Fundamentos, Conceitos e Exemplos**

### **Electrical Converters: Fundamentals, Concepts and Examples**

DOI:10.34117/bjdv7n2-599

Recebimento dos originais: 16/01/2021

Aceitação para publicação: 26/02/2021

#### **Marcio Mendonça**

Doutor em Engenharia Elétrica e Inf. Industrial pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Instituição: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Cornélio Procópio  
Endereço: Av. Alberto Carazzai, 1640, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil  
E-mail: mendonca@utfpr.edu.br

#### **Rodrigo Henrique Cunha Palácios**

Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo

Instituição: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Cornélio Procópio  
Endereço: Av. Alberto Carazzai, 1640, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil  
E-mail: rodrigopalacios@utfpr.edu.br

#### **Francisco de Assis Scannavino Junior**

Doutor em Física pela Universidade de São Paulo

Instituição: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Cornélio Procópio  
Endereço: Av. Alberto Carazzai, 1640, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil  
E-mail: franciscojunior@utfpr.edu.br

#### **Wagner Fontes Godoy**

Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo

Instituição: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Cornélio Procópio  
Endereço: Av. Alberto Carazzai, 1640, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil  
E-mail: wagnergodoy@utfpr.edu.br

#### **Ivan Rossato Chrun**

Mestre em Engenharia Elétrica e Inf. Industrial pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Instituição: Faculdade de Engenharia e Inovação Técnico Profissional, Maringá  
Endereço: Av. Paranavaí, Maringá, Paraná, Brasil  
E-mail: ivanchrun@gmail.com

#### **Fabio Rodrigo Milanez**

Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Universidade Estadual de Londrina

Instituição: Companhia Paranaense de Energia, Londrina  
Endereço: Rua Chile, 10, Londrina, Paraná, Brasil  
E-mail: professorfabiomilanez@gmail.com

**José Augusto Fabri**

Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade de São Paulo  
Instituição: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Cornélio Procópio  
Endereço: Av. Alberto Carazzai, 1640, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil  
E-mail: fabri@utfpr.edu.br

**Ricardo Breganon**

Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade de São Paulo  
Instituição: Instituto Federal do Paraná, Campus Jacarezinho  
Endereço: Av. Dr. Tito, 801, Jardim Panorama - Jacarezinho, Paraná, Brasil  
E-mail: ricardo.breganon@ifpr.edu.br

**RESUMO**

Este trabalho tem como objetivo sintetizar conhecimentos teóricos sobre conversores elétricos e redes elétricas inteligentes. São analisados os tipos de conversores existentes comercialmente e as funções pelas quais estes se aplicam, como também, sua estrutura funcional e seus componentes. É apresentada a aplicação dos conversores CC-CA, inversores de frequência em residências na microgeração de energia. Uma breve introdução e algumas vantagens das *Smart Grid* de um projeto piloto do Copel com correlação para aplicações dos conversores mostrados. E, finalmente o trabalho se encerra com conclusões e futuros trabalhos.

**Palavras-chave:** Conversores elétricos, Redes elétricas inteligentes, *Smart grid*.

**ABSTRACT**

This paper aims to synthesize theoretical knowledge about electrical converters and smart grids. The types of commercial converters and their functions by which they are applied are analyzed, as well as their functional structure and components. Finally, smart electrical grids, also known as smart grids, are analyzed within a global panorama and compared to the Brazilian panorama. It is a conversion application for DC-AC converters, frequency inverters in homes in micro-generation of energy. A brief introduction and some advantages of the *Smart Grid* of a Copel pilot project with correlation for applications of the shown converters. And finally, the work ends with conclusions and future work.

**Keywords:** Electrical Converters, Smart electrical grids, *Smart grid*.

## 1 INTRODUÇÃO

Este trabalho tem como objetivo estudar e apresentar os tipos de conversores mais comuns existentes: CC-CC, CA-CA, CA-CC e CC-CA. Os conversores elétricos são equipamentos utilizados para transmissão de sinal. Estes realizam conversão de potência, ou seja, convertem energia elétrica em níveis altos, médios ou baixos de potências. As aplicações desses equipamentos são as mais diversas, principalmente na área da engenharia eletrônica.

Em sistemas eletrônicos, equipamentos de informática, multimídias, sistemas de baixa potência, sistemas de altas potências como os industriais, necessitam da aplicação de um conversor elétrico afim de se adequar a potência necessária para o correto funcionamento deles. Um conversor transforma um tipo de corrente em outro tipo, além da transformação de frequência.

Neste contexto, a transmissão e conversão de energia elétrica na qual se utiliza em áreas residencial e industrial, é realizada através dos conversores elétricos. Com o avanço da tecnologia e da mudança na maneira e na intensidade de consumo da energia elétrica devido aos novos sistemas eletrônicos, há uma necessidade maior em se aplicar e desenvolver redes capazes de atender tal demanda meio a um ambiente no qual procura-se novas formas de energias renováveis abandonando antigos hábitos não sustentáveis. As Redes Elétricas Inteligentes (REI), conhecidas pelo termo *smart grids*, são consideradas um novo avanço tecnológico na área de distribuição de energia com o intuito de gerar energia renovável de maneira inteligente sendo capaz de suprir as demandas existentes.

Na Figura 1 é mostrado um interessante resumo com ênfase nos inversores de frequência, em especial para sua recente aplicação até em residências transformando tensão CC das placas solares em CA para ser injetada na rede elétrica (GONÇALVES, 2018).

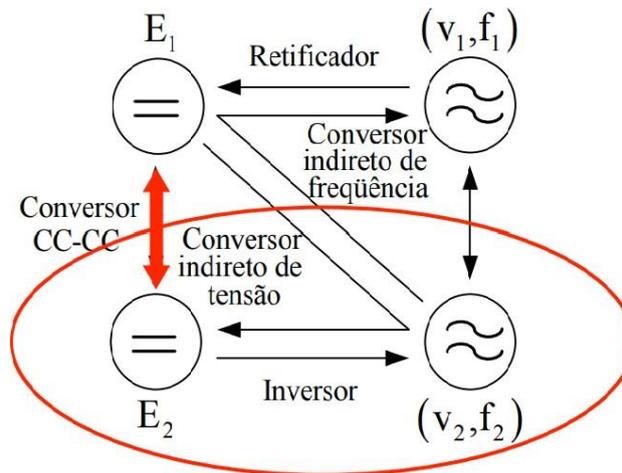


Figura 1. Diferentes tipos de conversores  
Fonte: (GONÇALVES, 2018).

A motivação desse trabalho é que o mesmo possa ser consultado como fonte de consulta rápida sobre os diferentes tipos de conversores, em especial para acadêmicos dos cursos de engenharia elétrica. Apesar que, no curso de Engenharia Mecânica da UTFPR de Cornélio Procópio, a disciplina de eletrônica industrial é ofertada, devido a necessidade dos futuros engenheiros que irão para as indústrias tenham conhecimento em diferentes áreas e não somente da sua formação específica.

Este trabalho está dividido da seguinte forma: na seção 2 são apresentados alguns exemplos de conversores CC-CC, na seção 3 alguns exemplos de conversores CA-CA são apresentados, a seção 4 aborda sobre os conversores CA-CC e a seção 5 é sobre os conversores CC-CA. Finalmente, na seção 6 é apresentada a conclusão dos futuros trabalhos com esses conversores.

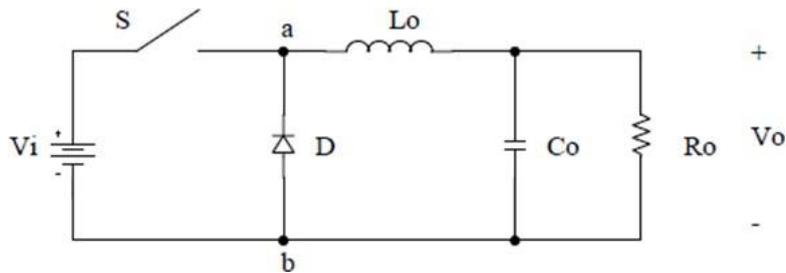
## 2 CONVERSORES CC-CC

São classificados como sistemas formados por semicondutores de potência operando como interruptores onde sua principal função é controlar o fluxo de potência de uma fonte de entrada para uma fonte de saída (AHMED, 1998).

Dentre os conversores de corrente contínua para corrente contínua têm-se os conversores do tipo Buck, Boost, Buck-Boost, Flyback e Foward.

### A) Conversor Buck

É utilizado como abaixador de tensão, e tem como característica entrada em tensão e saída em corrente, um diagrama deste é apresentado na Figura 2.



Fonte: (AHMED, 1998).

Figura 2. Diagrama Elétrico do Conversor Buck

As etapas de funcionamento do conversor Buck são dadas de duas maneiras, sendo a primeira delas quando S está conduzindo, a corrente circula por  $L_o$  e pela saída, onde  $V_i$  fornece energia para a saída e para a magnetização do indutor  $L_o$ , a segunda etapa ocorre quando S está bloqueado, assim que S abre, o diodo D entra em condução e a energia do indutor é transferida para a carga (o indutor é desmagnetizado).

Poder apenas diminuir a tensão de saída, ter a corrente de saída de boa qualidade e ter a corrente na entrada descontínua são as principais características do conversor Buck (AHMED, 1998).

#### B) Conversor Boost

É um conversor elevador de tensão, possui entrada em corrente e saída em tensão, esquematizado conforme o diagrama da Figura 3.

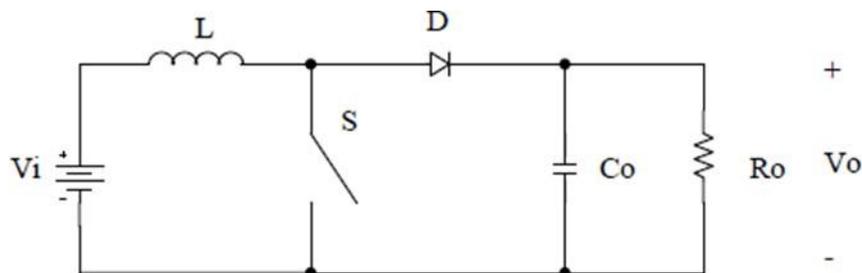


Figura 3. Diagrama Elétrico do Conversor Boost

Fonte: (AHMED, 1998).

Este, também possui duas etapas de funcionamento, semelhante ao conversor Buck, a primeira etapa acontece quando o S está conduzindo, onde o indutor L é magnetizado e a fonte  $V_i$  fornece energia ao indutor. E a segunda etapa consiste em quando o diodo D entra em condução, quando o S está bloqueado, a fonte  $V_i$  e o indutor L fornecem energia à saída, com isso a tensão na carga aumenta.

Os conversores Boost podem apenas aumentar a tensão na saída, a corrente de saída é descontínua e sua corrente na entrada tem boa qualidade.

### C) Conversor Buck-Boost

Este conversor difere-se dos anteriores, pois pode operar como abaixador ou elevador de tensão, tem entrada e saída em tensão. O seu esquema é representado como mostra a Figura 4.

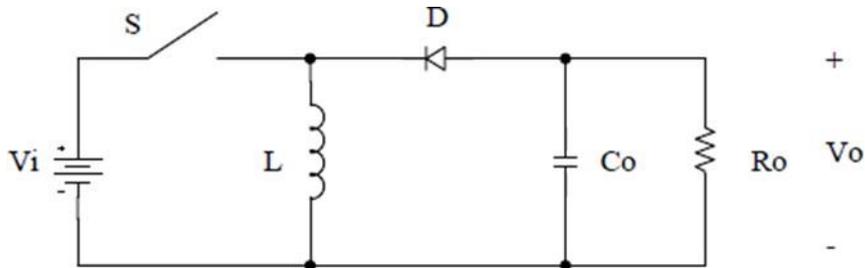


Figura 4. Diagrama Elétrico do Conversor Buck-Boost  
Fonte: (AHMED, 1998).

O seu funcionamento se dá da seguinte forma, quando S está conduzindo, e fonte  $V_i$ , fornece energia para a magnetização do indutor L e quando S está bloqueado, nesse caso, a energia do indutor L é transferida através do diodo D para a saída e o indutor L é desmagnetizado. Este conversor acumula energia e possui a corrente de entrada e saída descontinua.

### D) Conversor Flyback (Buck-Boost isolado)

É um conversor idêntico ao Buck-boost, mas apresenta isolação galvânica entre a tensão de entrada e de saída. Na Figura 5 é possível analisar o diagrama elétrico do mesmo e a sequência de passos para obter o conversor Flyback do conversor Buck-Boost.

Seu funcionamento se dá em duas etapas, quando S está conduzindo, a fonte  $V_i$  fornece energia para a magnetização do enrolamento primário do transformador e o diodo D está reversamente polarizado, na segunda etapa, quando S está bloqueado, a energia armazenada no transformador é levada para a saída através do diodo D.

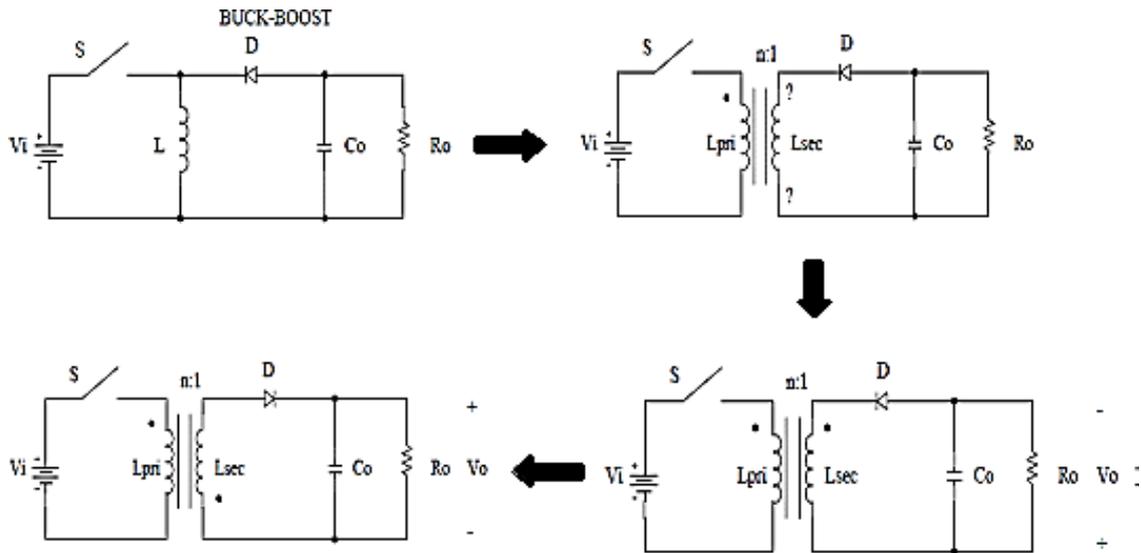


Figura 5. Diagrama elétrico do conversor Flyback e como obtê-lo por meio do conversor Buck-Boost  
Fonte: (AHMED, 1998).

Ao citar o conversor Buck-Boost pode-se dizer que ele também é um conversor à acumulação de energia, sua saída é isolada da entrada, permite ajustar a razão cíclica de operação através da relação de transformação, possibilita usar várias saídas, pode operar como elevador ou abaixador, a corrente de entrada e saída são descontinuas.

#### E) Conversor Forward (Buck isolado)

É idêntico ao conversor Buck, porém apresenta isolamento galvânica entre a tensão de entrada e saída, na Figura 6 é possível ver o diagrama elétrico do conversor Forward.

Assim como os outros conversores apresentados, seu funcionamento se dá em das etapas, sendo a primeira delas quando o S está conduzindo, a fonte  $V_i$  fornece energia para a carga através do transformador. O diodo D2 e D3 estão bloqueados, já na etapa dois, quando S está bloqueado, o diodo D3 conduz a corrente da carga, o transformador é desmagnetizado através do diodo D1, e esta energia é devolvida para a fonte  $V_i$ .

Assim como os outros conversores apresentados, seu funcionamento se dá em das etapas, sendo a primeira delas quando o S está conduzindo, a fonte  $V_i$  fornece energia para a carga através do transformador. O diodo D2 e D3 estão bloqueados, já na etapa dois, quando S está bloqueado, o diodo D3 conduz a corrente da carga, o transformador é desmagnetizado através do diodo D1, e esta energia é devolvida para a fonte  $V_i$ .

Assim como os outros conversores apresentados, seu funcionamento se dá em das etapas, sendo a primeira delas quando o S está conduzindo, a fonte  $V_i$  fornece energia para a carga através do transformador. O diodo D2 e D3 estão bloqueados, já na etapa

dois, quando S está bloqueado, o diodo D3 conduz a corrente da carga, o transformador é desmagnetizado através do diodo D1, e esta energia é devolvida para a fonte  $V_i$ .

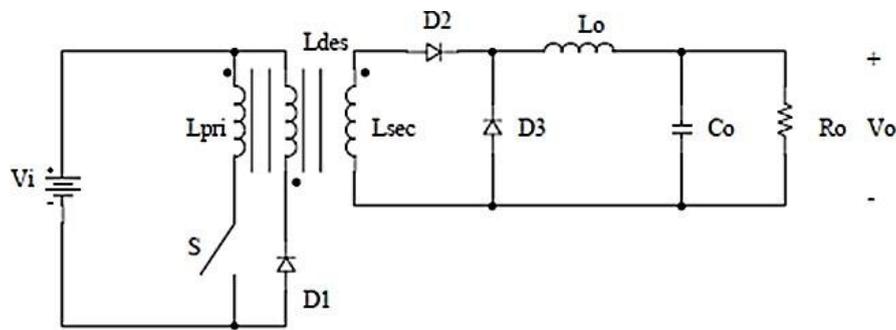


Figura 6. Diagrama Elétrico do Conversor Foward  
Fonte: (AHMED, 1998).

Como principais características do conversor Forward pode-se citar que o mesmo é um conversor de transferência direta de energia, sua saída é isolada da entrada, também permite ajustar a razão cíclica de operação através da relação de transformação, possibilita usar várias saídas, pode operar como abaixador, devido apenas à razão cíclica, a corrente de saída é de boa qualidade e a corrente de entrada é descontínua.

### 3 CONVERSORES CA-CA

Os conversores CA-CA, tratam-se de circuitos os quais, partindo de uma tensão de entrada alternada, produzem na saída uma tensão alternada com características diferentes da inicial, tanto em valor eficaz, como em frequência, assim como também pode ser em ambos valores (AHMED, 1998).

Como exemplo de tais dispositivos, temos os: Variadores de tensão, os Ciclo-conversores e os Conversores em Matriz.

#### A) Variadores de tensão

Quando necessita-se alterar o valor de tensão e da corrente eficaz da carga, em situações onde a alimentação é por corrente alternada, o emprego dos variadores de tensão é usual. Tais dispositivos também podem ser designados como Gradadores, Contadores estáticos e Controladores.

Para estes dispositivos, podem ser empregados tiristores, já que possuem comutação natural. Em baixas potências, utiliza-se de TRIACs, já em altas potências, utiliza-se 2 SCRs em antiparalelo, como é mostrado na Figura 7.

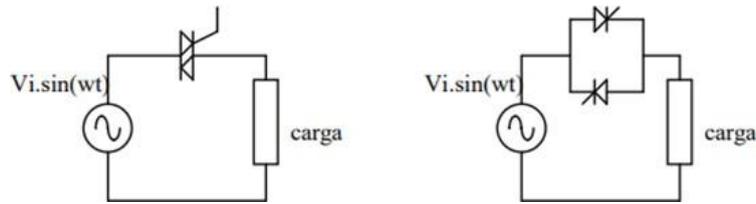


Figura 7. Exemplificação de variadores de tensão utilizando TRIACs e SCRs em antiparalelo  
Fonte: (AHMED, 1998).

Algumas aplicações para os variadores de tensão são:

- aquecimento (controle de temperatura);
- reguladores de tensão;
- controle de intensidade luminosa em lâmpadas incandescentes;
- acionamento de motores CA;
- partida suave de motores de indução;
- compensação de reativos em sistemas de potência (RCT,CCT).

#### B) Ciclo Conversores

No caso dos ciclo-conversores, tem-se uma associação de retificadores controlados, de forma que os retificadores produzam, sobre a carga, tensões com valores médios opostos, para o caso de entradas trifásicas e saída monofásica. Os ciclo-conversores permitem que a saída tenha frequência diferente da entrada (AHMED, 1998).

Sua utilização é, em grande maioria, no acionamento de grandes motores de corrente alternada, de indução ou síncronos, que trabalham na faixa de centenas ou milhares de kVA, em velocidades baixas, assim como acontece em moinhos para a fabricação de cimento (AHMED, 1998). Como existe uma alta potência requerida, a utilização de transistores não é aplicável, pois exige-se frequências baixas sobre a carga, o que possibilita a utilização de tiristores. Também são utilizados em alguns trechos de ferrovias europeias, com alimentação de 16 e 2/3 Hz. O diagrama deste conversor está presente na Figura 8.

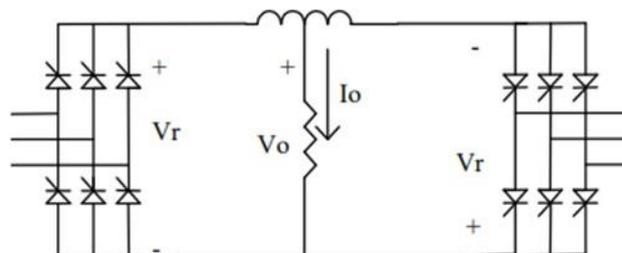


Figura 8. Ciclo-conversor com entrada trifásica e saída monofásica  
Fonte: (AHMED, 1998).

### C) Conversores em Matriz

Conceitualmente simples, os conversores em matriz têm sua aplicação reduzida por conta das suas comutações não ideais. Possui ausência de elementos acumuladores de energia, pois não há indutores nem capacitores no conversor, apenas interruptores, além de maior eficiência, comparado com um sistema composto por retificador e inversor, no qual haveria 4 interruptores no caminho da corrente, contra 2 neste conversor (AHMED, 1998).

Observando o circuito conversor em matriz monofásico da Figura 9, percebe-se que, para o funcionamento correto do circuito, ao ser aberta a chave Sa, deve ser fechada a chave Sb. Se ambas as chaves estiverem abertas em um mesmo instante, surgirá um pico de tensão. No caso de ambas as chaves estarem fechadas, o circuito entrará em curto.

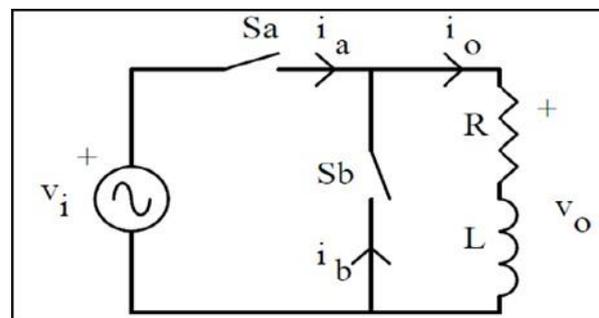


Figura 9. Conversor em matriz com entrada e saída monofásica  
Fonte: (AHMED, 1998).

## 4 CONVERSORES CA-CC

O fornecimento da rede elétrica é feito através de uma rede de distribuição em corrente alternada. Entretanto, em muitas aplicações a carga alimentada exige uma tensão contínua. Assim, realiza-se a conversão de corrente alternada para corrente contínua utilizando conversores CA-CC, chamados de retificadores (AHMED, 1998).

Esses podem ser classificados em diversas formas, como sua capacidade de ajustar o valor da tensão de saída, de acordo com o número de fases na tensão alternada de entrada, em função do tipo de conexão dos elementos retificadores. Os retificadores que possuem capacidade de ajustar o valor da tensão de saída são chamados de controlados, pois utilizam tiristores ou transistores na sua composição (HART, 2011). Todavia, os retificadores que não possuem a capacidade de ajustar o valor da tensão de saída são chamados de não controlados, pois utilizam diodos como elementos de retificação. Pode-se observar na Figura 10 a representação de retificadores controlados e não controlados.

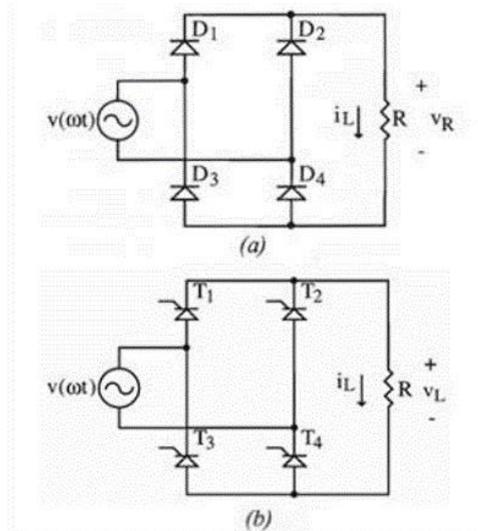


Figura 10. (a) Configuração para um retificador não controlado e (b) configuração para um retificador controlado.

Fonte: (HART, 2011).

Além de serem definidos como controlados e não controlados, é possível classificar de acordo com o número de fases na tensão alternada de entrada (BARBI, 2006).

O transformador monofásico é alimentado apenas por uma única fase e a energia é fornecida através de três fios: neutro, fase A e fase B. A energia monofásica é distribuída através de tomadas de uso doméstico comuns. O transformador trifásico é alimentado por três fases e a energia é fornecida através de quatro fios: neutro, fase A, fase B e fase V (ALVES, 2013). A energia trifásica é caracterizada por três ondas monofásicas que trabalham juntas representado na Figura 11.

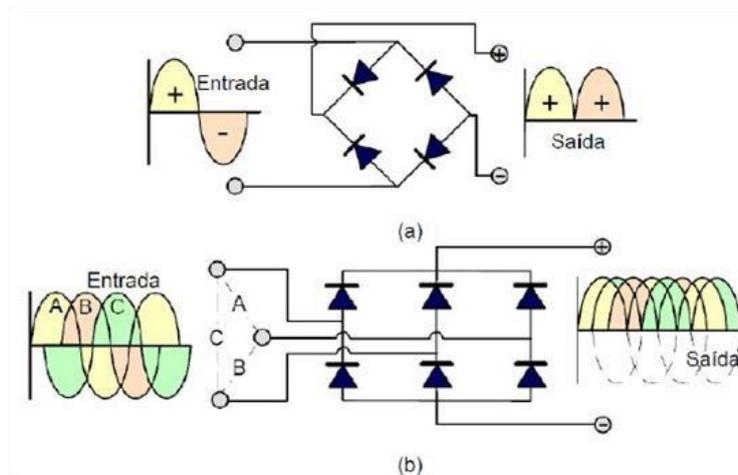


Figura 11. Representação de uma ponte retificadora: (a) para sistemas monofásicos e (b) para sistemas trifásicos

Fonte: (ALVES, 2013).

Para classificar em função do tipo de conexão dos elementos retificadores deve-se observar a tensão de saída. Podemos classificar entre dois tipos: os retificadores de meia onda ou os retificadores de onda completa (AHMED, 1998). Para retificadores classificados como meia onda, a tensão de saída é apenas um dos semiciclos de entrada, como pode ser observado na Figura 12. Entretanto, para retificadores de onda completa, a tensão de saída é formada tanto pelo semiciclo positivo quanto o semiciclo negativo, como pode ser observado na Figura 13.

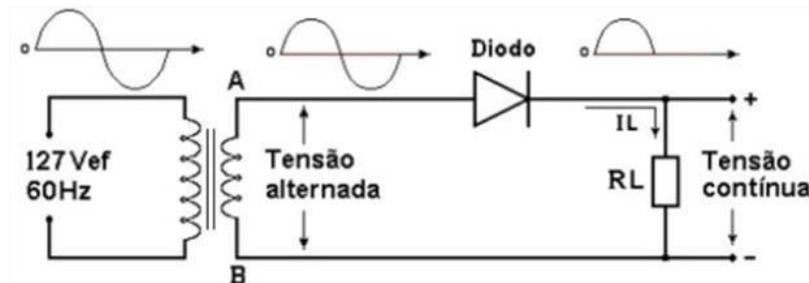


Figura 12. Representação de um retificador de meia onda  
Fonte: (AHMED, 1998).

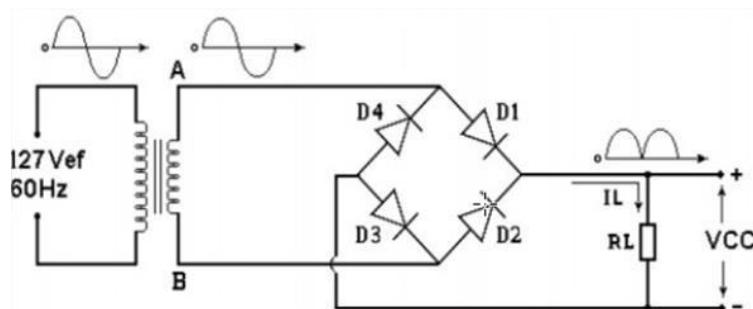


Figura 13. Representação de um retificador em ponte de onda completa  
Fonte: (AHMED, 2013).

As aplicações dos retificadores são amplas, sendo aplicados em processos eletroquímicos (REHG e SARTORI, 2005), soldagem elétrica (ALVES, 2013), acionamentos à velocidade ajustável, sistemas HVDC (BARBI, 2006; ALVES, 2013; AHMED, 1998; REHG e SARTORI, 2005; PETRY, 2012; REIS, 2006), fontes de uso geral e ininterruptas, sistemas no-break, motores de acionamento contínuo.

## 5 CONVERSORES CC-CA

Um inversor/conversor é um dispositivo elétrico ou eletromecânico capaz de converter sinais elétricos CC em CA, como mostra a Figura 14, e esse tipo de conversor fornece em sua saída tensão alternada, com frequência, forma e amplitude definidas por algum sistema de controle. Os tipos de chaves estáticas utilizadas são: TBJ, MOSFET, GTO ou SCR (GRAHAM, 2002).

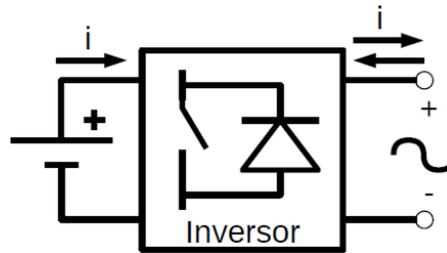


Figura 14. Circuito representativo do conversor CC-CA  
Fonte: (REHG e SARTORI, 2005).

Devido a importância e aplicações desses conversores, também chamados de inversores de frequência porque convertem tensões contínuas em alternadas pode-se elencar diversas características e aplicações dos mesmos que podem ser monofásicos, trifásicos ou n-fásicos.

Em princípio, a saída desse tipo de conversor deve ser independente de: alterações limitadas na tensão (ou corrente) presente no barramento CC; nas cargas alimentadas pela rede CA (situação de operação ilhada) ou na própria rede CA (mudanças na tensão e, em menor escala, na frequência) (GRAHAM, 2002).

O inversor deve ser capaz de fornecer uma tensão de qualidade aceitável, ou seja, em conformidade com as normas pertinentes. Quando estiver conectado a uma rede CA, dado que a tensão é definida pelo sistema, o conversor é responsável pela injeção (ou absorção) de corrente e, conseqüentemente, de potência na rede.

A principal aplicação dos inversores nos sistemas de geração distribuída e de acumuladores de energia é entregar energia elétrica à rede de distribuição em corrente alternada, dentro de padrões de qualidade adequados. Isso requer, principalmente, que a forma de onda da corrente resultante na rede tenha mínima distorção, ou seja, que se aproxime da forma senoidal (GRAHAM, 2002).

Os principais tipos de conversores CC-CA são (GRAHAM, 2002):

- inversores em meia ponte;
- inversores em ponte completa;
- inversores Push-Pull (uso de transformadores);

As principais aplicações são:

- acionamento de máquinas CA;
- controle de velocidade de motores síncronos e de indução;
- controle de fornos de indução;
- sistemas de alimentação ininterrupta (UPS).

Os conversores/inversores são indicados apenas para alimentar pequenos equipamentos como lâmpadas fluorescentes em sistemas de emergência, computadores quando falta energia e ainda, é possível ser utilizado em sistemas HVDC e em fonte inversora para soldagem, mas nada impede de serem também aplicados em outros tipos de sistemas, como os de maior escala (GRAHAM, 2002). Como por exemplo agregado a algumas de suas características pode-se citar:

- Unidirecionais ou bidirecionais;
- Comandados em alta frequência;
- Modulação simples ou complexa;
- Dois níveis ou multiníveis;
- Podem ser isolados ou não-isolados;
- Podem operar em condução contínua ou descontínua;
- Controlados no modo tensão ou corrente;
- Comutação normal ou suave;
- Inversores de tensão ou corrente.

## 6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Ressalta-se que inversores de frequência ainda é uma área muito promissora de pesquisa, como por exemplo o trabalho (BAI, 2020) em aplicações de ar condicionados modernos, do tipo inverter.

Os conversores são imprescindíveis para transmissão de sinal e conversão de potência. A conversão é essencial, pois, a energia elétrica é gerada em altos níveis e não podendo ser aplicada diretamente nos componentes que a utilizam.

Há diversos tipos de conversores aplicados às conversões de corrente contínua em corrente contínua, corrente contínua para corrente alternada, corrente alternada em corrente contínua, corrente alternada para corrente alternada. Cada tipo de conversor se aplica a tipo de utilização e equipamento.

Os avanços na tecnologia proporcionaram um controle mais rigoroso dos conversores, permitindo análises a tempo real na qual geram maior confiabilidade e controle eficaz de transmissão. Neste cenário as redes elétricas inteligentes (REI) ou smart grids surgiram com o intuito de aplicar esses avanços tecnológicos.

Futuros trabalhos endereçam montar alguns desses protótipos e apresentar as características citadas e suas tensões e correntes.

## REFERÊNCIAS

AHMED, A. **Eletrônica de Potência**, Ed. PRENTICE HALL, 1998, ISBN 8587918036.

ALVES, P. H. **Desenvolvimento de Máquinas de Solda**, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

BAI, F.; YAN, R.; SAHA, T.; CUI, Y.; PAN, Z. Extraction of Dynamic Frequency Response Characteristics and Modelling of Modern Air Conditioners. **IEEE Transactions on Smart Grid**, 2020. PP. 1-1. 10.1109/TSG.2020.3009

BARBI, I. **Eletrônica de Potência**, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 6 ed., p. 23-114, 2006. Disponível em:  
<<http://www.ivobarbi.com/PDF/livros/PotI/PotI.pdf>>. Acesso em 01 jun. 2018.

GONÇALVES, B. C. **Impactos do tipo de Controle dos inversores da microgeração fotovoltaica na rede de distribuição**. 2018. 165 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

GRAHAM, J. **Aplicações do HVDC nos Sistemas de Energia**, ABB Utilities, 2002.

HART, DANIEL W. **Eletrônica de Potência: Análise e Projetos de Circuitos**. Belo Horizonte: MCGRAW HILL, 2011. ISBN 8580550459.

PETRY, C. A. **Introdução aos Conversores CA-CC: Semicondutores de Potência (diodos e tiristores)**, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

REHG, J. A.; SARTORI, G. J. **Industrial Electronics**, Ed. PRENTICE HALL, 2005, ISBN 0132064189.

REIS, A. S. **Estudo de Topologia, Projeto e Construção de uma Máquina de Soldagem Baseada em Inversor de Alta Frequência**, Universidade Federal de Minas Gerais, 2006.