

# Estágio Retificador Para Nobreaks

*Alexandre Saccol Martin, Gerson Gabiatti e Guilherme Bonan*

*Departamento de Pesquisa e Desenvolvimento - CP Eletrônica S.A.*

*Rua da Várzea 379 – CEP: 91040-600 – Porto Alegre – RS – Brasil*

*Fone: (51)2131-2407 – Fax: (51)2131-2469*

*engenharia@cp.com.br*

[www.cp.com.br](http://www.cp.com.br)

## 1. Introdução

O objetivo deste artigo é apresentar as principais configurações para o estágio de entrada de um sistema ininterrupto de energia – o Retificador.

Deve-se ter muito claro que a escolha da topologia do retificador possui um impacto muito grande na qualidade da energia da instalação elétrica na qual esse equipamento será conectado. Tal escolha deve relacionar o custo benefício de cada opção, pois elas impactam diretamente na confiabilidade, complexidade, robustez e consumo de energia reativa. Por esses motivos, os usuários destes sistemas cada vez mais devem conhecer os conceitos envolvidos a fim de obter argumentos sólidos para melhor optar entre os diferentes tipos de configurações disponíveis, pois certamente será uma decisão de forte impacto no valor da fatura mensal de energia.

## 2. O Retificador

O Retificador é o conversor de potência capaz de alterar a forma de tensão de entrada de alternada para contínua. Nos equipamentos que operam com dupla conversão de energia, de acordo com a NBR 15014:2003 [1], o retificador realiza a primeira conversão, de C.A. para C.C. sendo o inversor de saída responsável pela segunda conversão, de C.C. para C.A. Gera-se assim uma tensão com amplitude e frequência controladas, totalmente independente da entrada. Portanto o retificador funciona como um isolador aos efeitos indesejáveis da rede elétrica, pois o barramento C.C. absorve e transfere a potência da entrada para a saída, formando o que chamamos elemento “*tanque de energia*”.

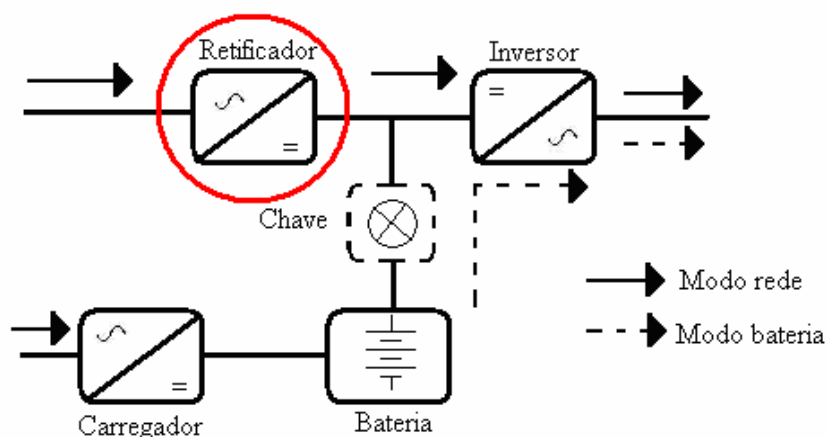


Fig. 1. Topologia on-line dupla conversão conforme NBR15014.

### 3. Topologias de Retificadores Utilizadas em Nobreaks

Os retificadores utilizados em nobreaks dividem-se em dois grupos principais: controlados e não controlados, sejam em aplicações monofásicas ou trifásicas. O grau de performance técnica exigida e os fatores de impacto econômico norteiam a escolha da topologia mais vantajosa.

Existem diversas topologias possíveis para a construção de um retificador, porém a seguir serão abordadas apenas as mais representativas topologias utilizadas em nobreaks, com suas principais características e respectivas formas de onda de corrente de entrada.

#### 3.1 Retificadores Não Controlados

Como o próprio nome sugere para esta topologia, o elemento utilizado para efetuar a retificação é o diodo. Sabe-se que este dispositivo eletrônico entra em condução quando é polarizado diretamente, não possuindo nenhum tipo de controle para comandar momento exato de condução ou bloqueio da corrente [2][3].

##### 3.1.1. Retificadores Não Controlados Monofásicos em Ponte Completa

As principais características desta topologia são a simplicidade e a robustez. Não são necessários circuitos de comando, controle ou sincronismo. O principal fator de demérito é o baixo fator de potência de entrada, entre 0,70 e 0,75 devido ao elevado conteúdo harmônico da corrente [4]. O fator de potência de entrada pode ser melhorado associando-se um indutor, porém essa sensível melhoria não atinge o valor desejado de 0,92 [5]. Na Figura 2 abaixo, podemos observar um retificador monofásico não controlado em ponte completa e a corrente de entrada desse circuito.

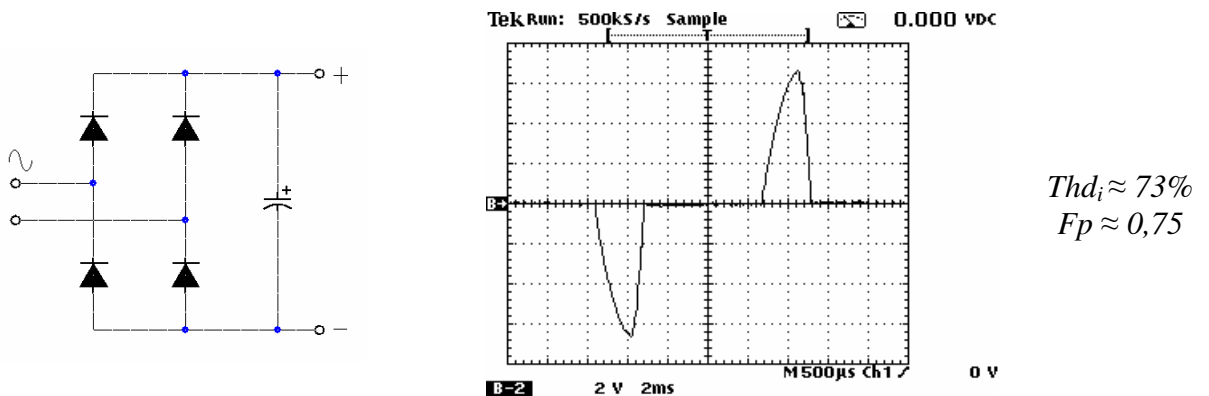


Fig. 2. Topologia e forma de onda da corrente de entrada.

##### 3.1.2. Retificadores Não Controlados Trifásicos em Ponte Completa

A simplicidade e robustez são similares às apresentadas no tópico anterior. Esta estrutura, apesar de não ter o barramento C.C. controlado, apresenta um avanço pois com algum investimento é possível obter um fator de potência acima de 0,92. Cabe lembrar que elevar o fator de potência de entrada implica em reduzir as correntes eficazes na entrada do sistema, reduzindo também os custos de instalação, perdas, etc.

As configurações não controladas recorrem à compensação passiva para que os parâmetros de entrada atinjam os requisitos exigidos pela legislação atual. Não são poucas as alternativas, tais como a utilização de indutâncias na entrada ou no barramento C.C., transformador Δ-Y, filtro LC, transformador de interfase (LIT). A seguir são apresentadas as principais estruturas trifásicas não controladas e as correntes de entrada obtidas.

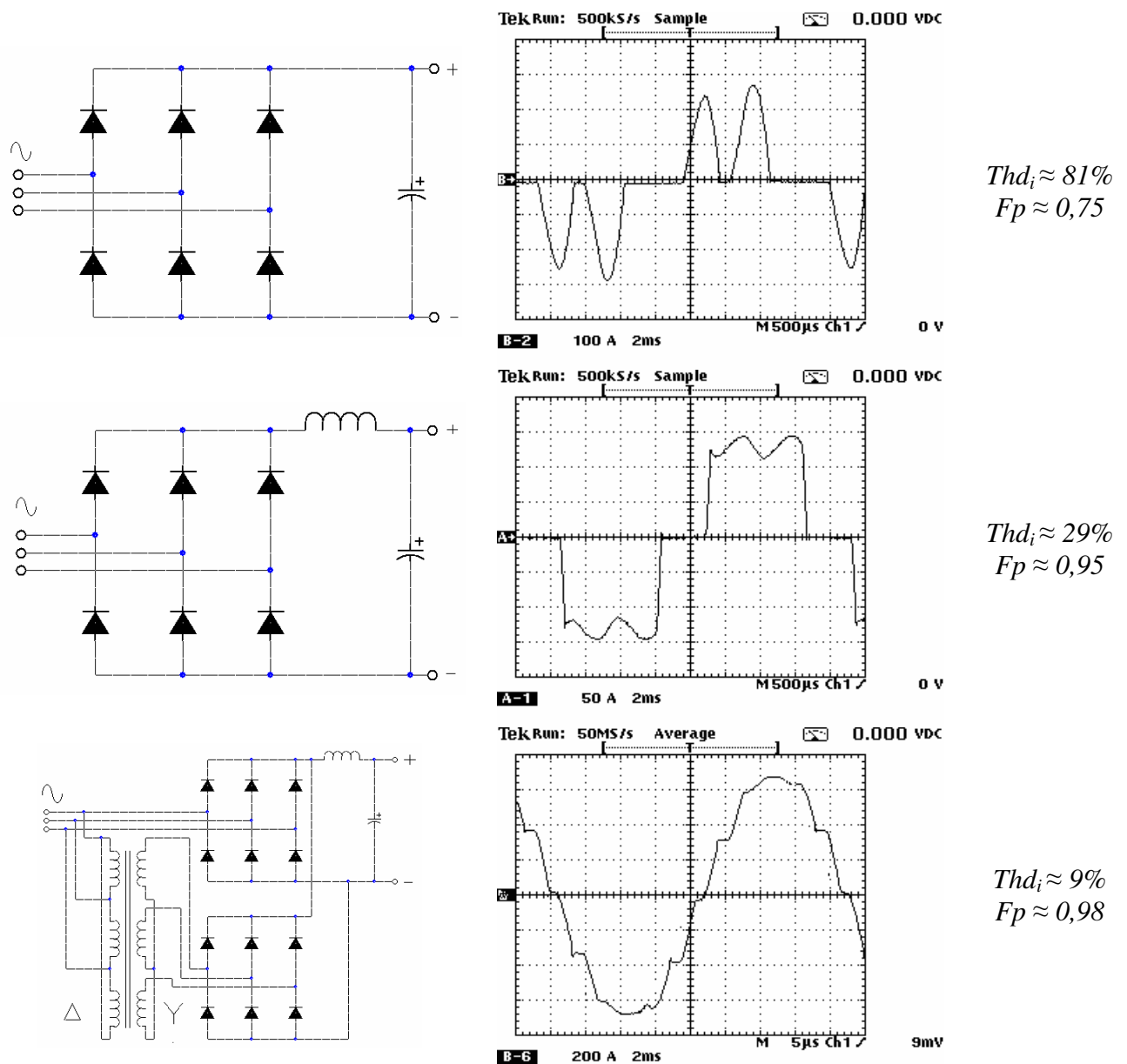


Fig. 3. Topologias, forma de onda, THD e fator de potência das principais topologias trifásicas não controladas.

Fica evidente que incluindo um indutor entre a ponte trifásica de 6 pulsos e o banco de capacitores é gerada a característica de fonte de corrente C.C., necessária para que cada fase conduza corrente sem descontinuidade nos 60 graus de cada semi-ciclo da rede.

A “fonte de corrente” diminui a ondulação da tensão no barramento C.C., impactando em menores esforços de corrente nos componentes. Esta solução é vastamente utilizada em nobreaks trifásicos que atendem potências de até algumas centenas de kVAs.

Esta topologia trifásica com um indutor no barramento C.C. tem fator de potência de entrada 0,95 e a maior confiabilidade dentre todas as topologias. Podemos também distribuir essa indutância nas três fases de entrada, obtendo resultado similar.

A performance do retificador pode ser ainda melhorada, sob o ponto de vista da Taxa de Distorção Harmônica (THD) da corrente de entrada, se a escolha recair por uma topologia que utilize retificador de 12 pulsos. Os retificadores são alimentados por tensões que têm entre si uma defasagem de 60 graus. Tal defasagem pode ser obtida através do uso de um transformador Δ-Y. Estas são soluções são extremamente robustas e atendem a uma gama de aplicações de nobreaks trifásicos onde não se exige o controle da tensão do barramento C.C.

### 3.2 Retificadores Controlados

A escolha por barramento C.C. controlado passa necessariamente pela utilização de chaves ativas de potência (tiristores, mosfets ou IGBTs) no circuito retificador. Alguns benefícios são obtidos ao controlar a tensão, dentre eles podemos citar:

- Adaptar o valor da tensão C.C. conforme a necessidade da aplicação;
- Barramento C.C. estável;
- Algumas topologias corrigem o fator de potência;
- Limitação da corrente de entrada;
- Melhora na resposta dinâmica da saída do equipamento (inversor).

Os retificadores dotados de controle podem ter ação de abaixadores ou elevadores de tensão. O primeiro normalmente é constituído de ponte a tiristores totalmente ou semi-controlada. Na segunda são utilizados IGBTs, sendo chamado de conversor Boost.

#### 3.2.1. Retificadores Controlados Monofásicos

A estrutura abaixadora, constituída por uma ponte de tiristores, pode ser utilizada quando se deseja alimentar o barramento C.C. e carregar o banco de baterias conjuntamente. Esta topologia, conhecida por Ponte Completa a Tiristor, teve severa perda de espaço na utilização em fontes ininterruptas de energia em função de não permitir a correção do fator de potência de entrada e causar degradação e ruídos na rede elétrica onde está instalada.

Existem variações desta topologia, podemos citar a Ponte Mista, que utiliza 2 tiristores e 2 diodos. Abaixo podemos observar a Ponte Completa a Tiristor.

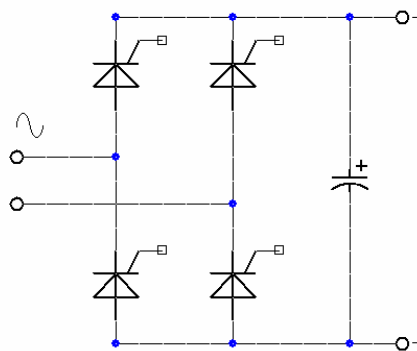


Fig. 4. Ponte Completa a Tiristor.

A tendência mundial em retificadores controlados para nobreaks monofásicos aponta para a configuração elevadora de tensão. Trabalhando com uma tensão no barramento C.C. mais elevada, a corrente é reduzida nos componentes do inversor além de corrigir o fator de potência de entrada. Tais benefícios são desejáveis ou, em alguns casos, indispensáveis.

O Conversor Boost, operando em alta frequência, possui as características ideais para esta condição de operação, pois tem no estágio de saída uma tensão C.C. controlada e “absorve” uma corrente de entrada no formato senoidal, podendo ser configurado de diversas maneiras e modos de operação.

A seguir é apresentada a configuração clássica deste conversor operando como Estágio Corretor do Fator de Potência (CFP) no modo contínuo de condução de corrente, também conhecido como o Pré-Regulador Boost.

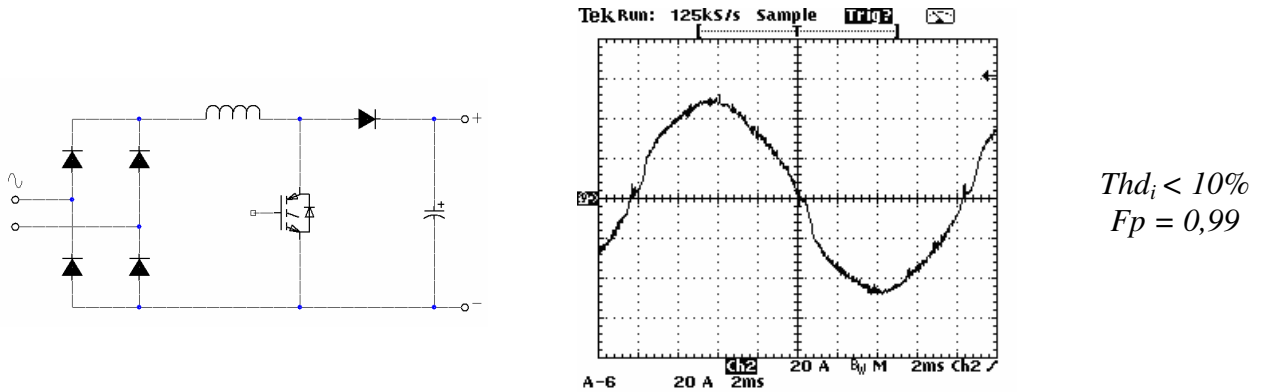


Fig. 5. Topologia de Retificador Controlado Monofásico com Estágio CFP.

O controle do Conversor Boost como CFP é realizada de forma analógica com circuitos integrados específicos [6] ou digitalmente utilizando microcontroladores DSP [7]. O resultado de ambos os modos de implementação é um barramento C.C. controlado, extremamente estável com um fator de potência praticamente unitário na entrada. Tais características já são assimiladas e exigidas pelo mercado de nobreaks monofásicos com dupla conversão energia.

### 3.2.2. Retificadores Controlados Trifásicos

De forma similar ao apresentado para os monofásicos, as topologias para retificadores controlados trifásicos dividem-se em abaixadores e elevadores.

O espaço para o uso dos retificadores trifásicos controlados abaixadores (Ponte de Graetz a Tiristor) vem sendo reduzido ao passar do tempo para aplicações em nobreak, apesar disto é uma opção viável quando o banco de baterias é conectado ao barramento C.C., tendo o conversor também a função de carregador de baterias.

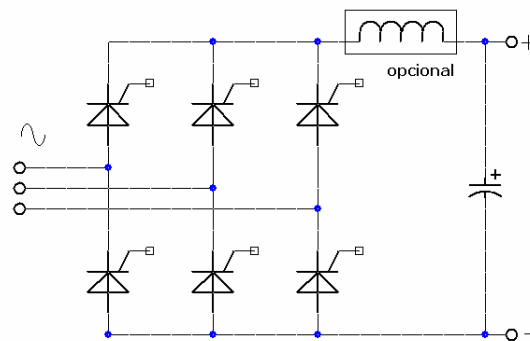


Fig. 6. Ponte de Graetz a Tiristor.

Esta topologia também pode utilizar um filtro indutivo para melhorar o fator de potência. Este, por sua vez, possui valor máximo de 0,95 quando os tiristores conduzem com ângulo de disparo  $\alpha = 0^\circ$ . Porém esta é uma situação particular, sendo o fator de potência degradado na medida em que  $\alpha$  aumenta ou, em termos práticos, na medida em que a tensão C.C. reduz. Porém, em função do nível de tensão da rede e da tensão necessária no barramento C.C., essa topologia opera com fator de potência abaixo de 0,92.

Tratando das estruturas elevadoras, deve-se lançar mão da Topologia Boost, seja ela operando em um único estágio ou com três conversores operando em dois quadrantes. Estas estruturas têm um fator de potência mínimo de 0,96, podendo atingir 0,99 dependendo da configuração.

Acrescentando a célula Boost à topologia não controlada, temos elevado fator de potência de entrada e controle do nível de tensão do barramento C.C., sendo apresentada na Figura 7.

A estrutura ganha espaço quando se faz necessário controlar também a carga das baterias. Porém, neste caso, o número de baterias utilizadas torna-se maior do que na topologia de barramento não controlado o que, em muitas vezes, limita a sua utilização. Outro fator delicado é o processamento de toda a potência através do conversor Boost. Pode ser impeditivo na medida em que nobreaks trifásicos são utilizados em até centenas de kVAs e isto pode reduzir a confiabilidade do sistema.

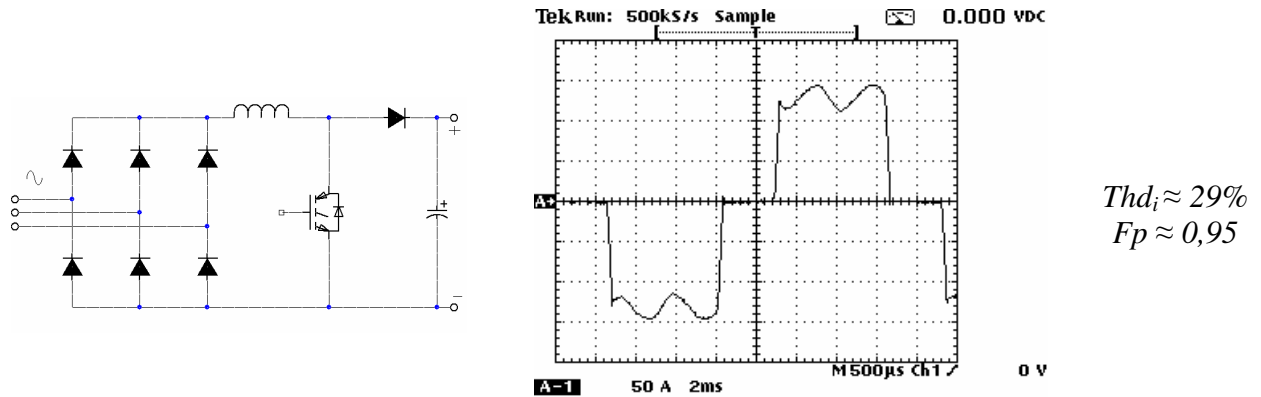


Fig. 7. Topologia Trifásica Controlada 6 pulsos com Conversor Boost..

Se houver necessidade de melhorar o THD da corrente de entrada para torná-la inferior a 10% e também elevar o barramento C.C., pode ser utilizada a mesma estrutura com transformação  $\Delta$ -Y apresentada anteriormente e agregando-se novamente a célula Boost.

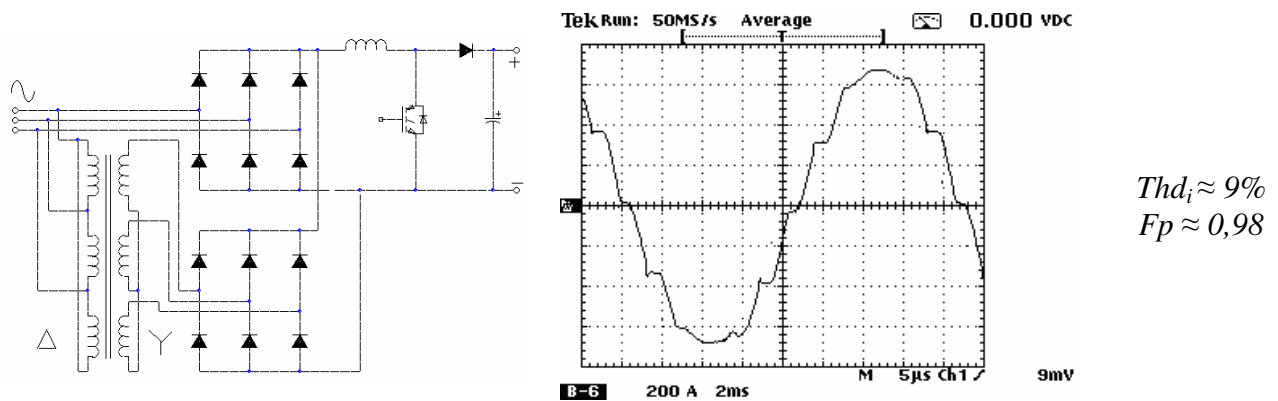


Fig. 8. Topologia Trifásica Controlada 12 pulsos com Conversor Boost.

Mantendo-se os requisitos de fator de potencia de entrada próximo da unidade e baixa distorção harmônica na corrente, a abordagem pode ser alterada para atingir tais objetivos. Para isso a topologia com três braços Boost, operando simultaneamente e compartilhando uma única malha de controle da tensão do barramento C.C. produz tais efeitos.

Em termos práticos, trocamos o elemento transformador  $\Delta$ -Y por um conjunto de potência baseado em Transístores IGBT. Nesta escolha recaem alguns aspectos como a redução de volume e peso, redução da confiabilidade e robustez do retificador e aumento da sua complexidade. A seguir é apresentada essa topologia e os resultados obtidos.

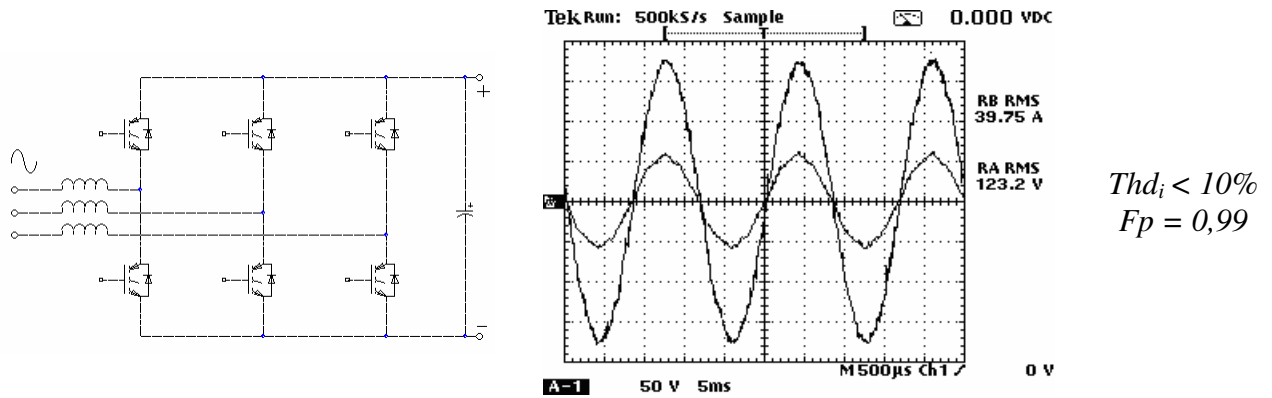


Fig. 9. Configuração Totalmente controlada e formas de onda da tensão e corrente da fase R.

## 4. Conclusão

Foi apresentada neste artigo uma visão geral e comparativa das topologias principais para o estágio retificador utilizado em fontes ininterruptas de energia. Deve ficar claro que não existe uma solução única para um determinado produto. Cabe ao projetista fazer as escolhas que agreguem o maior número de benefícios ao equipamento.

As informações contidas nesta publicação ajudam a distinguir os diferentes modos de construção destas topologias e os impactos de cada uma. Quanto mais confiável a topologia do estágio retificador, maior será o tempo médio entre falhas do conjunto (MTBF).

Por tudo que foi apresentado, o desafio principal é o de conciliar confiabilidade e performance técnica, fornecendo benefícios que tragam ao usuário, tais como: alto MTBF, elevado fator de potência de entrada ( $>0,92$ ) e um custo competitivo.

## 5. Referências

- [1] NBR 15014:2003 – *Conversor e semicondutor – Sistema de alimentação de potência ininterrupta, com saída em corrente alternada (nobreak) – Terminologia.*
- [2] BARBI, I., *Eletrônica de Potência – Florianópolis – Edição do Autor*
- [3] POMÍLIO, J. A., *Eletrônica de Potência – cap.3-*  
<http://www.dsce.fee.unicamp.br/~antenor/pdf/eltpot/cap3.pdf>
- [4] BONAN, G., GABIATTI, G. e MARTINS, A. S., *Entendendo o Fator de Potência*  
[http://www.cp.com.br/artigos/fator\\_de\\_potencia.pdf](http://www.cp.com.br/artigos/fator_de_potencia.pdf)
- [5] GABIATTI, G. e MARTINS, A. S., *Tarifação de Reativos*  
[http://www.cp.com.br/artigos/tarifacao\\_de\\_reativos.pdf](http://www.cp.com.br/artigos/tarifacao_de_reativos.pdf)
- [6] Unitrode; *Product & Applications Handbook 1995-96, pp. 10/303-10/322*
- [7] *Texas Instruments Home Page*  
<http://www.ti.com>