

# CONVERSOR ESTÁTICO DE BAIXO CUSTO E ALTO RENDIMENTO PARA SISTEMAS EÓLICOS DE PEQUENO PORTE

**Amanda Rodrigues Rangel** – amandarangel7@gmail.com  
**Débora Lima Queiroz** – deboralq@gmail.com  
**Demercil de Souza Oliveira Júnior, Dr.** – demercil@dee.ufc.br  
**Eduardo Façanha de Oliveira** – edufacanha@yahoo.com.br  
**Gean Jacques Maia de Sousa** – geanjacques@hotmail.com  
**Luís Paulo Carvalho dos Santos** – lupacsengineer@yahoo.com.br  
**Luiz Fernando Almeida Fontenele** – luizfernando.fontenele@gmail.com  
**Pedro André Martins Bezerra** – pedro\_andré\_mb@hotmail.com  
Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Elétrica

Número 6203

**Resumo.** Este trabalho apresenta uma inovadora topologia para um sistema de conversão eólica com um eficiente controle da potência de saída para satisfazer as condições de carga da bateria, possuindo um baixo custo. O projeto atende as especificações requeridas na IFEC 2009 (the 2009 International Future Energy Challenge). As topologias clássicas são brevemente apresentadas, ressaltando-se suas vantagens e desvantagens. São apresentados o retificador trifásico não controlado associado a um conversor buck, a um boost e a um buck-boost. No âmbito do projeto, são discutidas duas possíveis topologias, um retificador trifásico semicontrolado em alta frequência em regime contínuo associado a um conversor buck e uma outra topologia semelhante, entretanto, em regime descontínuo. Essas duas topologias estão sendo concomitantemente desenvolvidas no laboratório de pesquisa e desenvolvimento do Grupo de Processamento de Energia e Controle (GPEC) do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará. O conversor escolhido é controlado por um sistema composto de três malhas, que limitam a corrente e a tensão máximas permitida pela bateria e a tensão sobre o barramento CC. Há também um algoritmo MPPT, que visa a maximização da potência extraída do conjunto turbina-gerador.

**Palavras-chave:** Energia Eólica, Retificador Semicontrolado, Carregamento de Bateria, Algoritmo de MPPT

## 1 INTRODUÇÃO

Desde a crise do petróleo, ocorrida na década de 70, diversos países têm investido fortemente na pesquisa de fontes alternativas de energia, visando à redução da dependência externa dos países exportadores de petróleo e atenuando, dessa forma, os efeitos econômicos das bruscas variações no preço do barril. Além disso, a indisponibilidade de energia hidráulica, a opinião pública contrária à utilização da energia nuclear, bem como os aspectos ambientais envolvendo a queima de combustíveis fósseis, levaram alguns países a optar por uma matriz energética baseada em fontes renováveis.

Em função do grande potencial hidráulico disponível, o Brasil só veio a perceber a importância de tais alternativas após o racionamento de energia ocorrido em 2001. Como consequência, percebe-se atualmente uma grande disposição governamental ao financiamento de pesquisas nestas áreas emergenciais.

Com a desregulamentação ocorrida no setor de energia elétrica, a filosofia de financiamento a novos projetos tem sido modificada. A revolução da indústria vem quebrando alguns paradigmas, onde pequenas unidades de geração têm competido com grandes centrais. Parte desta competitividade dá-se pela proximidade com os centros consumidores e também pela modularidade do investimento.

A geração descentralizada (GD) é parte importante nesse processo, uma vez que implica menor risco, não apenas pelo seu processo concessório, mas também pela implantação de sistemas de porte e complexidade reduzidos.

Nesse contexto, pode-se afirmar que as fontes alternativas de energia tornam-se importantes opções para o atendimento descentralizado de mercados de energia elétrica, sendo também fator relevante de incremento na competição na indústria. Deve-se ressaltar ainda que as regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste consistem em localidades estratégicas para o uso e o desenvolvimento da geração distribuída.

Uma vez que a energia elétrica gerada através de fontes alternativas não pode ser disponibilizada diretamente para a rede elétrica ou para as cargas convencionais, este interfaceamento surge como uma área de pesquisa extremamente promissora no que tange à Eletrônica de Potência.

Com o advento da eletrônica de potência, surgiram diversas topologias de conversores que podem realizar o aproveitamento da energia disponível no fluxo de ar (Daher,1997), (Reis, 2008). Desse modo, serão apresentadas algumas possíveis soluções, tendo em vista as especificações apresentadas no site do IEEE. A partir das análises apresentadas, será definida a solução proposta. Neste trabalho, serão abordadas as seguintes topologias: retificador trifásico não controlado associado a um conversor buck, retificador trifásico não controlado associado a um conversor boost, retificador trifásico não controlado associado a um conversor buck-boost, retificador trifásico semicontrolado em

alta frequência em regime contínuo associado a um conversor *buck*, retificador trifásico semicontrolado em alta frequência em regime descontinuo associado a um conversor *buck*.

## 2 ESPECIFICAÇÕES DO SISTEMA

As turbinas eólicas (Kato, 2007), (Machado,2007) têm um ponto ótimo de operação, o qual maximiza a potência de saída para uma dada velocidade do vento, como mostrado na Figura 1 - Curva de potência versus velocidade para uma. Para uma turbina em particular, esse ponto de operação é mantido de acordo com a variação da velocidade do vento se a turbina é controlada para operar com uma relação velocidade-pico (TSR) constante, ou seja, a relação da curva velocidade de pico por velocidade do vento.

A operação da turbina do lado direito do TSR ótimo é uma posição estável de operação, uma vez que a redução da velocidade da turbina aumentará a potência gerada e restabelecerá as condições de equilíbrio. A operação da turbina do lado esquerdo do TSR é inerentemente instável e pode levar à parada da turbina durante a mudança nas condições de operação.

Para o IFEC, a máxima conversão é necessária para o controle da potência de saída para satisfazer as condições de carga da bateria, visto que as condições de carga da bateria e a velocidade do vento variam (Oliveira, 2007). Quando a bateria não está totalmente carregada, a estratégia utilizada consiste em extrair a máxima potência da turbina, desde que o limite da corrente de carga da bateria não seja excedido. Quando a bateria está completamente carregada, o conversor atua reduzindo a potência entregue à bateria, mudando o ponto de operação da turbina.

Ventos de alta velocidade devem ser considerados, pois podem causar danos à turbina por excesso de velocidade. Isso pode provocar uma alta tensão na saída do gerador, podendo danificar o conversor de interface. Além disso, velocidades extremas também podem gerar forças centrífugas tão elevadas que podem quebrar as pás do aerogerador. O controle utilizado no sistema detecta e previne esse risco.

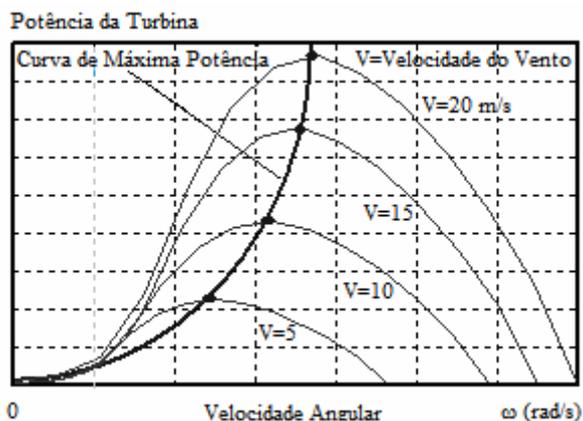


Figura 1 - Curva de potência versus velocidade para uma turbina eólica para diferentes velocidades do vento.

### 2.1 ESPECIFICAÇÕES DA TURBINA/GERADOR

O controlador deve ser projetado para interface com qualquer turbina eólica de classificação apropriada. A turbina a ser utilizada (Huang, 2001) nos testes finais da competição possui as especificações de acordo com a Tabela 1.

#### Parâmetros da turbina/gerador..

Tabela 1. Parâmetros da turbina/gerador.

Potência média de saída	200W para velocidade do vento de 8m/s
Máxima potência de saída permitida	300W
Velocidade máxima do vento suportada	40m/s
Tipo do gerador	ímã permanente, trifásico
Saída do gerador	tensão AC trifásica
Corrente de saída média	8.33A
Constante de tempo mecânica	10 segundos
Diâmetro do rotor	2.1m
Número de pás	3
Velocidade do vento de partida	menor que 3m/s

A turbina não provê nenhum tipo de sensor de velocidade separado para o controle.

### 3 ANÁLISE DAS SOLUÇÕES TRADICIONAIS

#### 3.1 RETIFICADOR TRIFÁSICO NÃO CONTROLADO ASSOCIADO A UM CONVERSOR BUCK

Essa topologia (Freitas *et al*, 2007) é composta por um retificador trifásico de diodos associado a um conversor *buck*. Suas principais vantagens são os baixos valores de esforços de tensão e corrente nos componentes e sua simplicidade. Entretanto, a operação no ponto de máxima potência só pode ser realizada quando a tensão na saída do estágio retificador for maior do que a do banco de baterias.

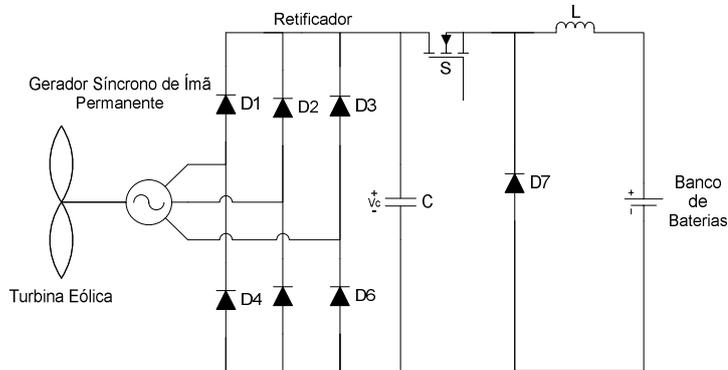


Figura 2 – Retificador trifásico não controlado associado a um conversor buck.

#### 3.2 RETIFICADOR TRIFÁSICO NÃO CONTROLADO ASSOCIADO A UM CONVERSOR BOOST

Essa topologia é composta por um retificador trifásico não controlado associado a um conversor *boost*. Por ser um conversor do tipo elevador de tensão, esse é capaz de fornecer energia mesmo em baixas velocidades do vento (Mohan *et al*, 1995) Não obstante, seus componentes apresentam menores esforços de corrente do que os da topologia *buck-boost*. Contudo, para se obter uma operação em uma ampla faixa de velocidades do vento, a tensão de saída deve ser maior do que a máxima tensão de entrada. Destarte, é necessário conectar várias baterias em série.

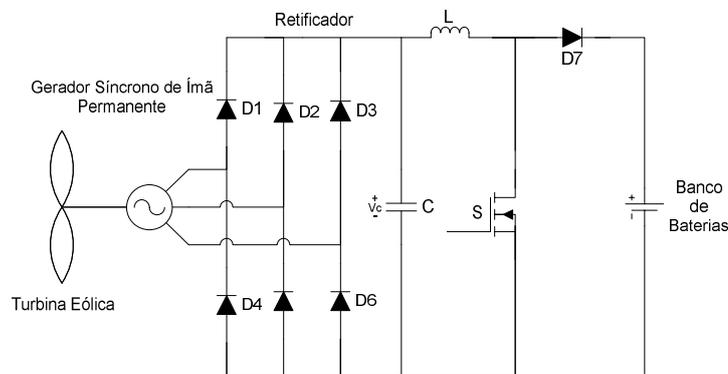


Figura 3 – Retificador trifásico não controlado associado a um conversor boost.

#### 3.3 RETIFICADOR TRIFÁSICO NÃO CONTROLADO ASSOCIADO A UM CONVERSOR BUCK-BOOST

Essa topologia (Mello, 1996) é composta por um retificador trifásico não controlado associado a um conversor *buck-boost*. As características elevadoras e redutoras de tensão desse conversor CC-CC permitem a operação no ponto de máxima potência da turbina e do aerogerador numa larga faixa de velocidade do vento. Entretanto, as seguintes desvantagens podem ser citadas: os componentes devem suportar elevados esforços de corrente e tensão, reduzindo, assim, a eficiência; as correntes de entrada e de saída são descontínuas, provocando o aumento do banco de capacitores; a tensão suportada no diodo e no transistor é a soma das tensões de entrada e saída.

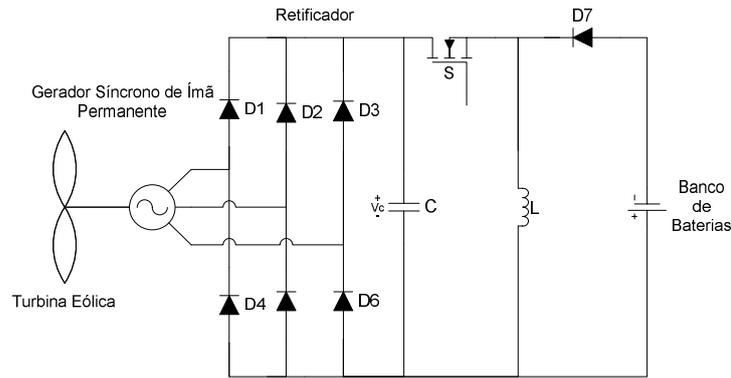


Figura 4 – Retificador trifásico não controlado associado a um conversor buck-boost.

## 4 SOLUÇÕES PROPOSTAS

### 4.1 RETIFICADOR TRIFÁSICO SEMICONTROLADO EM ALTA FREQUÊNCIA EM REGIME CONTÍNUO ASSOCIADO A UM CONVERSOR BUCK

Essa topologia é composta por um retificador trifásico semicontrolado em alta frequência associado a um conversor *buck*.

As vantagens resultantes dessa topologia são:

- Há a melhoria do fator de potência e da distorção harmônica, visto que a corrente em cada fase pode ser controlada independentemente uma da outra;
- O controle da tensão do barramento e as características elevadoras de tensão permitem uma operação tanto em baixas quanto em altas velocidades de rotação do aerogerador;
- O retificador semicontrolado em alta frequência não representa um estágio adicional, já que substitui o estágio retificador passivo, com as vantagens já mencionadas, o que aumenta a eficiência do sistema;
- As chaves controladas permitem o controle eletrônico da frenagem sem o uso de resistências adicionais ou relés. É preciso ser mencionado que o curto-circuito através das saídas dos diodos retificadores pode não ser suficiente para frear a turbina eólica devido à impedância interna do gerador.

As desvantagens dessa topologia são:

- Requer uma maior quantidade de componentes em relação às soluções tradicionais para reduzir a distorção harmônica de corrente em cada fase. Para isso, é necessário o uso de sensores de corrente em cada fase e de circuitos adicionais a fim de obter as referências das malhas a partir das tensões de fase do aerogerador. Entretanto, pode-se descartar parcialmente a correção do THD e o uso dos sensores de corrente, tendo em vista a redução do custo do sistema.

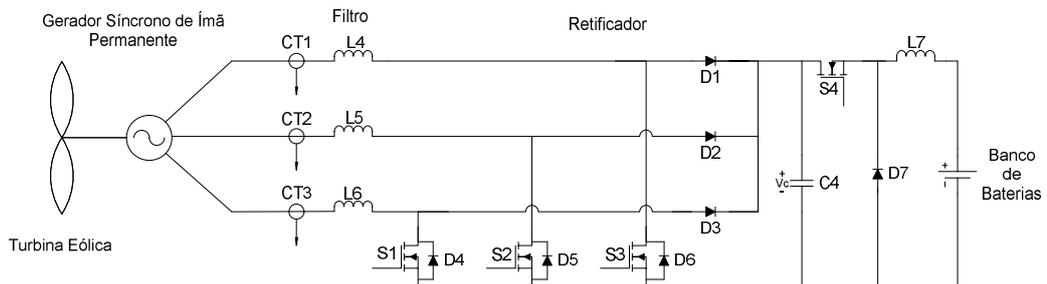


Figura 5 – Retificador trifásico semicontrolado em alta frequência associado em regime contínuo associado a um conversor buck.

#### 4.2 RETIFICADOR TRIFÁSICO SEMICONTROLADO EM ALTA FREQUÊNCIA EM REGIME DESCONTÍNUO ASSOCIADO A UM CONVERSOR BUCK

Essa topologia é praticamente idêntica à anterior, no entanto é necessária a inclusão, em cada fase, de um filtro LC antes do retificador. As vantagens resultantes desta topologia em relação a anterior são:

- Pode ser utilizado o mesmo sinal de entrada para controlar as três chaves do estágio retificador;
- As chaves podem comutar a partir de um mesmo sinal de disparo e com razão cíclica constante, provendo uma considerável redução do THD, sem a necessidade de sensores de corrente em cada fase.

A **Figura 6 – Retificador trifásico semicontrolado em alta frequência** mostra a topologia proposta e a **Figura 7 – Tensão em uma das fases e** representa a tensão em uma das fases do gerador e a corrente através do indutor  $L_4$ .

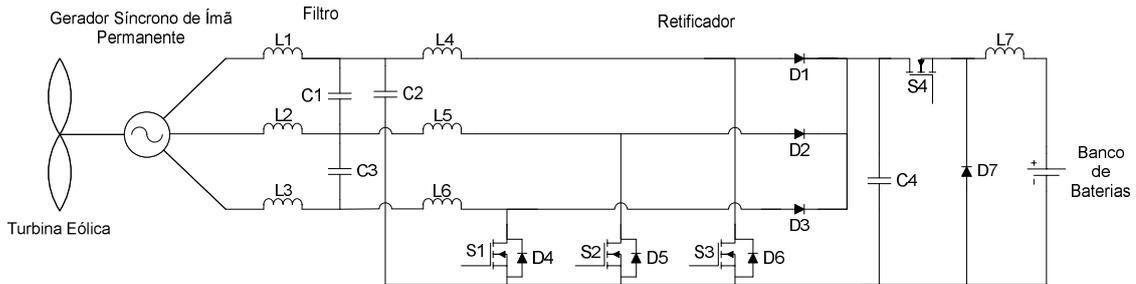


Figura 6 – Retificador trifásico semicontrolado em alta frequência em regime descontínuo associado a um conversor buck.

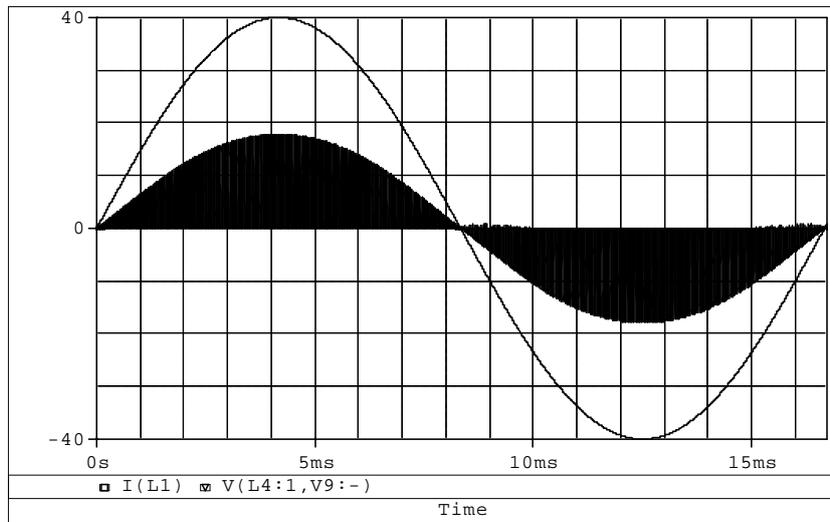


Figura 7 – Tensão em uma das fases e corrente através dos indutores  $L_4$ ,  $L_5$  e  $L_6$ .

É possível notar que a chave é ligada em modo ZCS e o diodo é desligado na mesma condição. Esse fato decrece as perdas de comutação, mas como os picos da corrente na chave são mais altos, as perdas por condução são maiores quando comparadas com as do circuito anterior. Uma vez que a corrente no indutor é pulsada, é necessário fazer o uso dos filtros LC. A corrente através de um dos geradores de fase é mostrada na **Figura 8 – Corrente de fase**, e THD é menor que 20%.

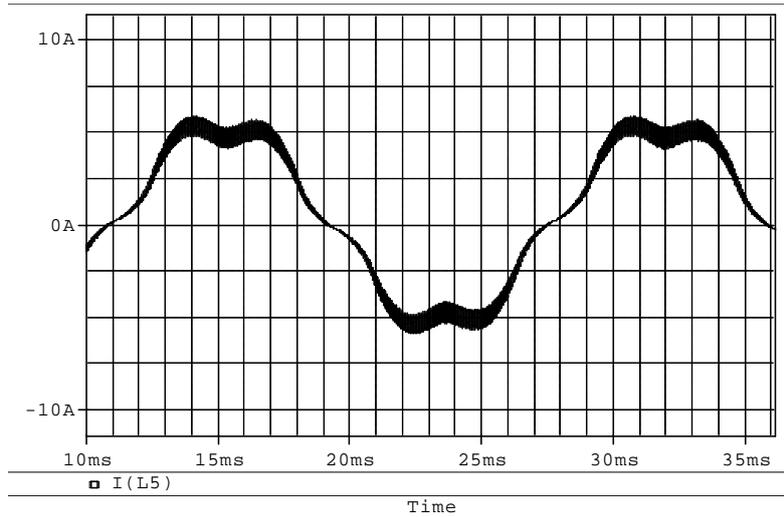


Figura 8 – Corrente de fase.

## 5 ESCOLHA DA TOPOLOGIA

A topologia ideal para geração eólica com o objetivo de carregar baterias deve operar em uma larga faixa de velocidades do aerogerador com um custo relativamente baixo.

Devido às exigências do projeto, pode-se descartar a utilização do retificador trifásico não controlado associado ao conversor *buck*, pois não apresenta uma boa eficiência em baixas velocidades. Já o retificador trifásico não controlado associado ao conversor *boost* deve operar com uma tensão de saída relativamente elevada e por isso seria necessário configurar várias baterias em série na saída, o que não atende as especificações dadas.

As outras duas configurações restantes (retificador trifásico não controlado associado a um conversor *buck-boost* e retificador semicontrolado em alta frequência associado a um conversor *buck*) atendem às especificações de projeto. Entretanto, a solução com o conversor *buck-boost* envolve maiores valores de esforços nos semicondutores, o que compromete o rendimento do sistema. Tendo em vista as características citadas anteriormente e o elevado rendimento (Oliveira *et al*, 2008), a escolha da topologia a ser utilizada foi o retificador semicontrolado em alta frequência associado a um conversor *buck*, pois apresenta um melhor desempenho geral para a aplicação. Fica a ser definido durante a execução do projeto o uso do modo contínuo ou descontínuo.

### 5.1 CONTROLE DO SISTEMA

O conversor será controlado por um sistema composto de três malhas e um algoritmo de MPPT. Uma das malhas é responsável pela corrente na bateria e será usada em todos os modos de operação. A segunda malha controla a tensão na bateria e é usada no modo 1, para manter a tensão de flutuação constante. A terceira malha é responsável por manter constante a tensão no barramento e pela frenagem do aerogerador. O circuito de controle será composto por um microcontrolador de baixo custo que executará o algoritmo de MPPT (Nakamura *et al*, 2002) e será responsável pela supervisão dos modos de operação, como mostrado na Figura 9 – **Fluxograma de funcionamento do sistema.**

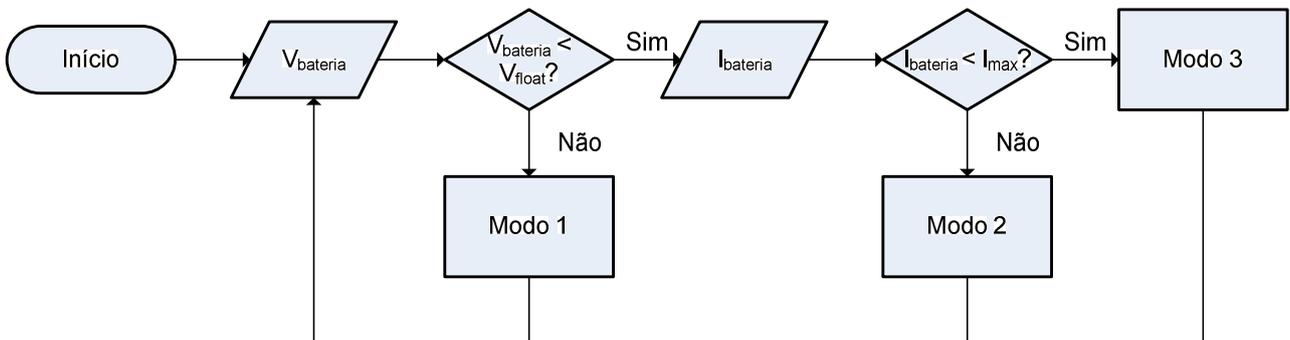


Figura 9 – Fluxograma de funcionamento do sistema.

**Modo 1.** Esse modo é ativado quando a bateria não estiver totalmente carregada, isto é, a tensão da bateria for menor que a tensão de flutuação. Nesse modo, o circuito controla a tensão na bateria, mantendo-a constante e de valor igual à tensão de flutuação. A malha de tensão define a referência para a malha de corrente, como mostrado na Figura 10 – **Malha de controle da tensão na bateria.**

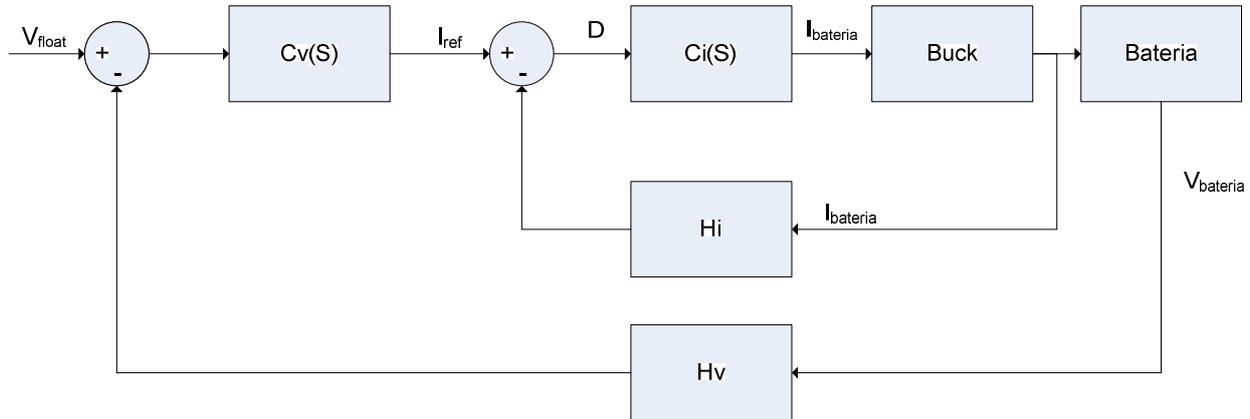


Figura 10 – Malha de controle da tensão na bateria.

Juntamente com essa malha, funcionará a malha que controla o retificador semicontrolado. O controle agirá no sentido de frear o aerogerador caso haja excesso da energia advinda do gerador, deslocando o ponto de operação na curva  $C_p$  versus  $\lambda$  de modo a diminuir o valor de  $C_p$ . Essa malha é apresentada na Figura 11 – **Malha de controle de tensão do barramento CC.**

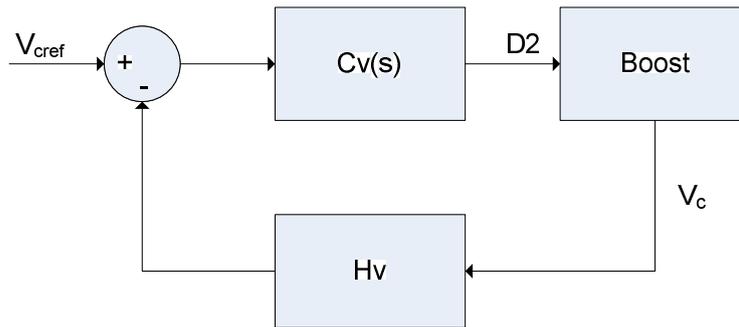


Figura 11 – Malha de controle de tensão do barramento CC.

**Modo 2.** O modo 2 é ativado quando a bateria estiver carregada e sua corrente for maior que a corrente máxima suportada por ela. Neste modo, a corrente é limitada no valor máximo especificado pela bateria. Isso pode ser implementado através da imposição do sinal  $I_{ref} = I_{max}$  no diagrama de blocos da Figura 10 – **Malha de controle da tensão na bateria.** Para que não haja sobrecarga no capacitor, a malha de tensão do barramento continua atuando.

**Modo 3.** O modo 3 é ativado quando a tensão na bateria for menor que e a tensão de flutuação e a potência fornecida pelo aerogerador não for suficiente para forçar a corrente e a tensão máximas na bateria. Então, o algoritmo de MPPT é executado (Nakamura *et al*, 2002), (Tan *et al*, 2004).

## 5.2 SIMULAÇÕES

### 5.2.1 Simulação do conversor buck no modo corrente e modelo médio

O conversor buck com os parâmetros da topologia escolhida foi simulado no programa OrCAD. O principal objetivo da simulação é comprovar o funcionamento da malha de corrente utilizada em todos os métodos de operação. O controlador utilizado é do tipo PI analógico. O circuito foi projetado de modo que o zero do compensador estivesse localizado a 5% da frequência de chaveamento do conversor. A frequência de cruzamento (0dB de ganho) do sistema

em malha aberta está em torno de 10 kHz. A Figura 12 – **Resposta à um degrau na referência** mostra a resposta do sistema à um degrau na referência do controlador correspondente a 10 A (de 20 A para 30 A).

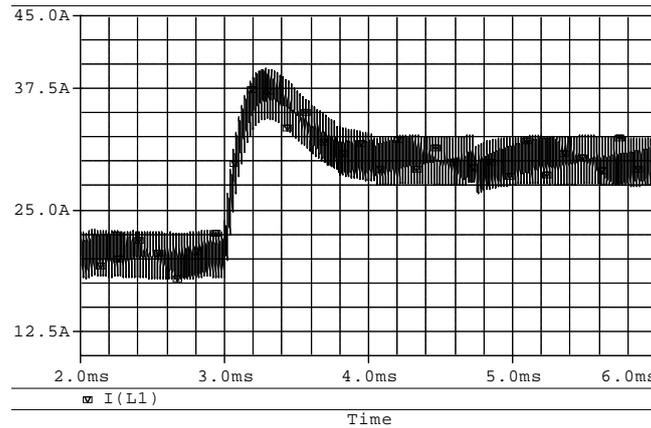


Figura 12 – Resposta à um degrau na referência correspondente à 10 A (de 20 A para 30 A).

A simulação das malhas de tensão de entrada e tensão de saída foi realizada utilizando-se o programa MATLAB/Simulink. Para isso foi desenvolvido um modelo médio para o conversor buck, o qual é derivado da seguinte equação:

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_i - V_o}{L} d(t) - \frac{V_o}{L} d(t) \tag{1}$$

Onde  $i_L$  é corrente no indutor,  $V_i$  é a tensão de entrada do conversor *buck* e  $V_o$  é a tensão de saída do conversor. Integrando a expressão acima, é possível obter a corrente de saída do conversor de acordo com o ciclo de trabalho e os parâmetros do circuito. O circuito simulado no OrCAD é mostrado na Figura 13 – **Circuito do conversor buck.**, enquanto o modelo médio do conversor desenvolvido no MATLAB/Simulink é mostrado na Figura 14 – **Modelo médio do conversor buck.**

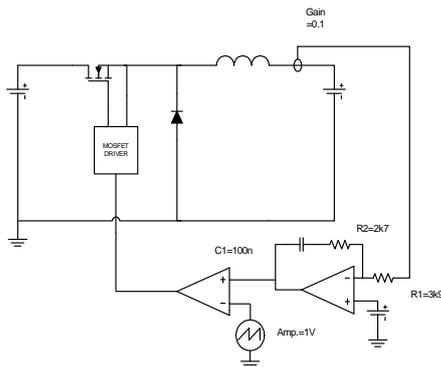


Figura 13 – Circuito do conversor buck.

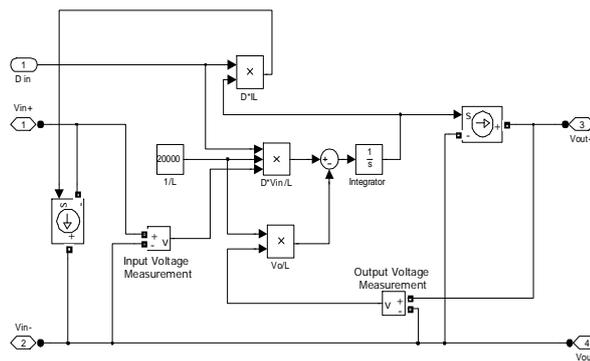


Figura 14 – Modelo médio do conversor buck.

### 5.2.2 Simulação da malha de tensão de saída

A malha da tensão de saída é responsável por manter constante a tensão na saída do conversor, consequentemente na bateria, quando o sistema estiver operando no modo 1. A tensão de saída é ajustada para o valor de flutuação recomendado pelo fabricante. Foi usado o modelo do conversor *buck* descrito no item anterior para simular essa malha. A referência da malha de corrente que controla esse conversor é conectada à saída da malha de tensão. A Figura 15 – **Diagrama de blocos da malha de controle da tensão de saída.** mostra a resposta do sistema para um degrau na corrente de saída de 10 A (de 10 A para 20 A).

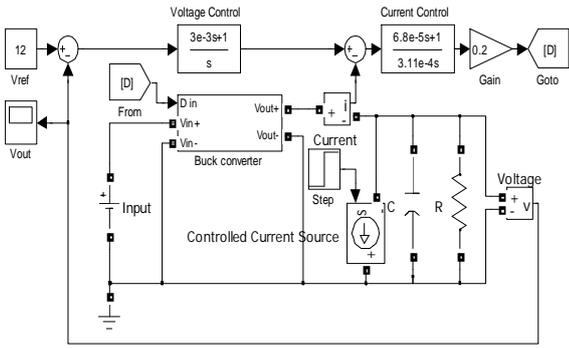


Figura 15 – Diagrama de blocos da malha de controle da tensão de saída.

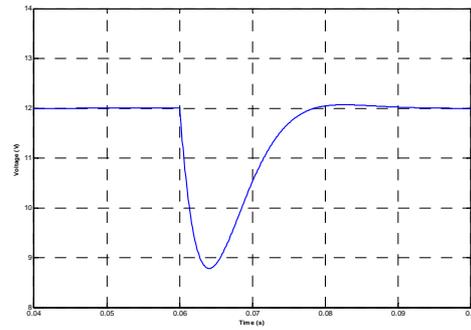


Figura 16 – Resposta a um degrau de corrente de 10 A (de 10 A para 20 A).

### 5.2.3 Simulação da malha de tensão de entrada

A malha de controle da tensão de entrada é responsável por manter a tensão do barramento CC constante quando o modo 3 estiver ativado, já que a turbina fornece energia variável para o conversor *buck*. Esse controle faz a corrente média drenada ser igual à corrente média do retificador. O diagrama de blocos desse controle é mostrado na Figura 17 – **Diagrama de blocos da malha de controle da tensão de entrada.**, com um a resposta a um degrau de corrente de 3 A na entrada (de 1 A para 4 A) como mostrado na Figura 18 – **Resposta do sistema a um degrau de corrente (de 1 A para 3 A).**, demonstrando a estabilidade e o bom comportamento dinâmico do sistema. É importante salientar que, para isso, foi utilizado novamente o modelo médio do conversor *buck* descrito outrora.

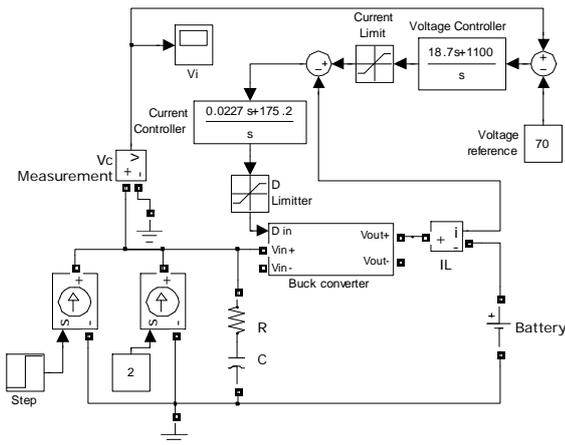


Figura 17 – Diagrama de blocos da malha de controle da tensão de entrada.

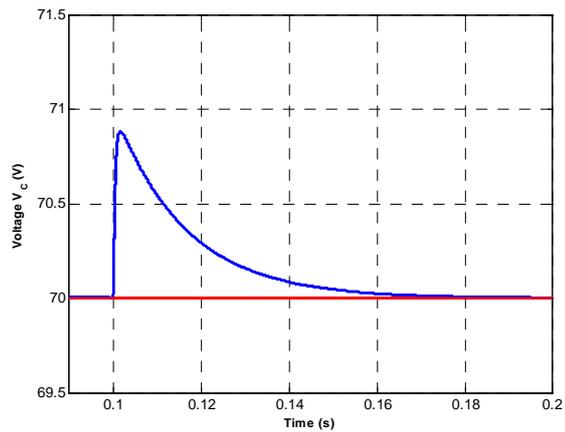


Figura 18 – Resposta do sistema a um degrau de corrente (de 1 A para 3 A).

## 6 CONCLUSÃO

Este trabalho é baseado em topologias clássicas para carregamento de baterias aplicadas em sistemas de geração eólica (Oliveira *et al*, 2006). Considerando as especificações dadas e também as vantagens e desvantagens de soluções clássicas, uma nova topologia foi proposta. Essa topologia pode operar em um ponto de potência máxima do sistema aerogerador em uma larga faixa de velocidades do vento, e tensões de saída de 12V até 48V são possíveis. Além disso, é possível o controle eletrônico da frenagem do sistema mesmo em altas velocidades do vento e considerando a impedância interna do gerador. Para o protótipo final, uma análise teórica detalhada será desempenhada para otimizar o projeto. Mais especificações detalhadas, tais como a curva de potência da turbina eólica, as características do gerador e a capacidade da bateria deverão ser conhecidas no decorrer do desenvolvimento. Então, a escolha entre o modo contínuo e o descontínuo, bem como a simplificação da possível topologia para a redução do custo serão realizadas. A opinião do grupo é que a solução proposta pode alcançar todas as especificações exigidas, incluindo uma alta eficiência para uma ampla faixa de trabalho.

## 7 REFERÊNCIAS

- Daher, S. "Um Sistema Baseado em Gerador de Indução Trifásico para Aproveitamento da Energia Eólica". Universidade Federal do Ceará. 1997.
- Freitas, L.C.G.; Simoes, M.G.; Canesin, C.A.; de Freitas, L.C. "Performance Evaluation of a Novel Hybrid Multipulse Rectifier for Utility Interface of Power Electronic Converters". *Eletrônica de Potência - Vol.54*, issue 6, December, 2007, pp 3030-3041.
- Huang, Surong; Aydin, M. & Lipo, T. A. "TORUS Concept Machines: Pre-Prototyping Design Assessment for Two Major Topologies". Industry Applications Conference, 2001. Thirty-Sixth IAS Annual Meeting. Conference Record of the 2001 IEEE.
- Kato, S., Inui, Y. & Michihira, M. "A Comparative Study of Steady-State Characteristics of Permanent Magnet Synchronous Generator Systems". 2007, pp 1-10.
- Machado, I. Rocha. "Sistema Eólico de Pequeno Porte para Carregamento de Baterias". Universidade Federal do Ceará. 2007.
- Mello, Luiz Fernando Pereira. "Análise e projeto de fontes chaveadas". 1ª edição. São Paulo: Érica, 1996.
- Mohan, Ned; Undeland, Tore M. & Robbins, William P. "Power Electronics: Converters, Applications and Design". 2nd Edition. John Wiley and Sons, Inc. 1995.
- Nakamura, Tomohiko, Morimoto, Shigeo, Sanada, Masayuki, Takeda, Yoji, "Optimum Control of PMSG for Wind Generation System", Department of Electrical and Electronic Systems Osaka Prefecture University. (Presented PCC-Osaka 2002), pp. 1435-1440.
- Oliveira, D.; Bascopé, R.; Reis, M.; Barreto, L.; Soares, B.; Freitas, E. "A Variable Speed Wind Energy Conversion System Connected To The Grid For Small Wind Generator". The Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2008.
- Oliveira Jr., D. S.; Machado, I. R. ; Reis, M. M., Barreto, L. H. S. C.; Oliveira Filho; H. M., "A Small Size Wind Generation System For Battery Charging", in International Conference on Renewable Energies and Power Quality, ICREPQ'07, 2007 March, Number 303, 4 pages.
- Oliveira Júnior, D. de Souza ; Machado, I. R. ; Reis, Mônica Magalhães . "Avaliação da Energia Elétrica Gerada por um Sistema Eólico para Carregamento de Baterias". In: Simpósio Brasileiro de Sistemas elétricos SBSE, 2006, Campina Grande/PB. Simpósio Brasileiro de Sistemas elétricos, 2006, Art. no. 67, pp. 1 - 6.
- Reis, Mônica Magalhães. "Sistema Eólico de Pequeno Porte para Interligação à Rede Elétrica". Universidade Federal do Ceará. 2008.
- Tan, K., Islam, S., "Optimum Control Strategies in Energy Conversion of PMSG Wind Turbine System without Mechanical Sensors", in IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 19, No. 2, June 2004, pp. 392-399.

### LOW COST AND HIGH EFFICIENCE STATIC CONVERTER FOR SMALL WIND SYSTEMS

**Abstract.** *This work introduces an innovative low cost topology for a wind conversion system with an efficient output power control in order to satisfy the battery charge conditions. The project is in accord with the specifications required at IFEC 2009 (the 2009 International Future Energy Challenge). The classic topologies are briefly presented, emphasizing these advantages and disadvantages. The three-phase diode rectifier associated with buck converter, with a boost converter and with a buck-boost converter are explained. During the project two possible topologies are proposed, a high frequency continuous mode three-phase semi-controlled rectifier associated with buck converter and another similar topology operating in discontinuous mode. These two topologies are being developed at the same time in GPEC (Group of Energy Processing and Control) situated at the Electrical Engineering Department of Federal University of Ceará (UFC). The chosen converter is controlled by a system composed of three loops, which limit the current and the voltage to the maximum values allowed by the batteries and the voltage over the DC bus. There is also a MPPT algorithm that intends to maximize the power extracted from the turbine/generator association.*

**Key words:** *Wind Energy, Semi-Controlled Rectifier, Battery Charging, MPPT Algorithm*