



**XX SNPTEE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

Versão 1.0  
22 a 25 Novembro de 2009  
Recife - PE

**GRUPO II**

**GRUPO DE ESTUDO DE PRODUÇÃO TÉRMICA E FONTES NÃO CONVENCIONAIS - GPT**

**ASPECTOS TÉCNICOS E OPERACIONAIS DO USO DE MICROTURBINAS CONECTADAS AOS SISTEMAS ELÉTRICOS PARA A GERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE ENERGIA ELÉTRICA E TÉRMICA**

**Dreifus Medeiros Costa(\*)  
UFSM**

**Luciane Neves Canha  
UFSM**

**Ricardo Quadros Machado  
USP-SC**

**RESUMO**

O aumento da demanda de energia elétrica tem influenciado o interesse pela participação de fontes alternativas de geração. A operação de sistemas desta natureza requer o aprimoramento da confiabilidade, qualidade e estabilidade dos sistemas elétricos. A conexão da geração distribuída (GD) pode ser utilizada como elemento estratégico para melhorar os níveis de tensão. As microturbinas (MT) apresentam algumas vantagens em relação a outros modelos de GD, como por exemplo, a possibilidade da utilização de vários tipos de combustíveis. Neste artigo serão apresentadas as principais considerações que devem ser observadas no uso de microturbinas como forma de GD.

**PALAVRAS-CHAVE**

Microturbina, Geração Distribuída, Inversor Multinível, Buck-boost

**1.0 - INTRODUÇÃO**

O crescimento da demanda de energia elétrica tem incrementado o interesse por diminuir custos, otimizar a confiabilidade dos sistemas de geração e distribuição de energia elétrica assim como procurar por formas de geração alternativa, especialmente na área de geração distribuída. Alguns dos principais tipos de tecnologias de geração distribuída são: motores stirling, motor alternativo de combustão interna, turbinas eólicas, células de combustível, painéis fotovoltaicos e microturbinas (7).

Neste artigo serão apresentadas as principais considerações que devem ser observadas no uso de microturbinas como forma de GD. Microturbinas são geradores de potência que, a partir da queima de gases ou combustíveis líquidos, fazem girar o rotor de um gerador elétrico. Estas pequenas turbinas são capazes de queimar uma gama muito grande de combustíveis em alto ou baixo nível de pressão (3).

As microturbinas apresentam algumas vantagens em comparação com outros modelos de geração distribuída, entre as quais é possível citar a flexibilidade de utilização de vários combustíveis, menor número de partes móveis, baixa manutenção e alta segurança. Nos dias de hoje, a maioria das aplicações para microturbinas a gás é em geração combinada de calor e potência. Outra importante aplicação a ser observada é como a geração isolada em áreas distantes onde não existe acesso para redes de potência, ou onde não é justificado o investimento em redes de transmissão e distribuição. As microturbinas também podem ser utilizadas como geração de emergência [8].

Existem essencialmente dois tipos de modelos de microturbinas. O modelo eixo-único possui alta velocidade com o compressor e a turbina montados no mesmo eixo do gerador síncrono de ímã permanente. O modelo de eixo-separado utiliza uma rotação de 3600 RPM e um gerador convencional (usualmente um gerador de indução) conectados via uma transmissão. Junto com a turbina existem sistemas de controle de aceleração e velocidade, controle de fluxo de combustível e controle de temperatura (2).

(\*) Endereço - Avenida Roraima, nº 1000 Cidade Universitária Bairro Camobi - Universidade Federal de Santa Maria - Centro de Tecnologia - Pavilhão de Laboratórios - CEP 97105-900 - Santa Maria - RS - Brasil  
Tel: (+55 55) 9154-6044 - Fax: (+55 55) 3025-2168 - Email: dreifuscosta@hotmail.com

A microturbina, como ilustrada na Figura 1 possui um motor a combustão integrado com um gerador. Este gerador produz uma potência elétrica operando em altas velocidades na faixa de 50.000 a 120.000 RPM e em faixas de potências em torno de 25 a 500 kW (1).

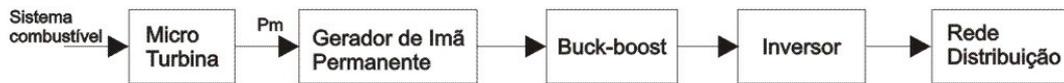


FIGURA 1 – Sistema da microturbina.

Para a conexão do gerador de ímã permanente com o inversor multinível é adotado um conversor buck-boost, que terá a função de controlar a tensão de saída do gerador, este controle é feito através da comparação do sinal da referência com o valor medido no capacitor de saída do conversor. O erro formado pela comparação passa por um controlador proporcional-integral (PI) para a tomada de decisão. A conexão do Buck-boost com a rede de distribuição é feita através de inversores multiníveis, mostrado na Figura 1. Esses inversores com células conectadas em série podem sintetizar formas de onda de tensão multiníveis ao somar as tensões de saída das células em série. Neste artigo, inversores monofásicos em ponte completa (H-bridge) são conectados em série para obter uma tensão de saída com uma forma de onda quase senoidal. Este inversor requer a implementação de fontes de tensão isoladas para a sua operação adequada. Ou seja, para explorar todos os estados de condução e, então, sintetizar o número de níveis desejados sem provocar curto-circuitos na fonte de entrada (13). Para a conexão do inversor com a rede é feito um controle de corrente do inversor multinível. A função desse controle é limitar o valor de corrente fornecida à rede pelo inversor multinível. Para este trabalho será adotado um inversor multiníveis operando em uma configuração assimétrica com as proporções de tensão de (1:3:9), visto que, no módulo de maior tensão, será inserida a microturbina, e para os outros dois módulos subsequentes serão adotadas tensões fixas que posteriormente poderão ser substituídas por outras fontes alternativas de energia.

## 2.0 - CARACTERÍSTICAS DAS MICROTURBINAS

O sistema de eixo simples com recuperação de calor está ilustrado na Figura 2. O funcionamento dá-se através do ar (na entrada) que é comprimido no compressor e depois direcionado ao trocador, onde ganha calor dos gases na saída da turbina antes de entrar na câmara de combustão. Na câmara de combustão o combustível é injetado a alta pressão e os gases, resultantes da combustão, são expandidos através das pás turbinas. A turbina recebe esta energia, em forma de vapor e a usa tanto para girar o compressor quanto o gerador elétrico montado no mesmo eixo. Nas microturbinas mais modernas o gás que sai da turbina passa através de um trocador de calor entregando calor ao ar que sai do compressor e assim incrementa sua eficiência.

A eficiência das microturbinas é mais baixa que a de sistemas concorrentes de geração elétrica. Porém, para determinadas aplicações como geração de emergência, onde o tempo de operação é relativamente curto, o custo do combustível é secundário. Além disso, outros fatores, tais como a facilidade de montagem e manutenção, propiciam a este tipo de geração uma utilização com uma grande gama de vantagens (7).

A turbina a gás é composta basicamente por três partes, como está descrita na Figura 2.

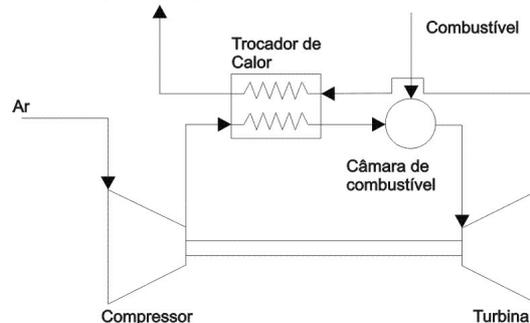


FIGURA 2 – Esquema da turbina a gás com trocador de calor [7].

**Compressor** – a função do compressor é elevar a pressão do ar utilizando parte da potência entregue pela turbina. Existem dois tipos de compressor: centrífugo e axial, sendo o primeiro o mais utilizado (7).

**Câmara de combustão** – tem a finalidade de queimar o combustível fornecido pelo bico injetor utilizando uma grande quantidade de ar proveniente do compressor e liberando calor para que o ar seja expandido e acelerado contra as paletas da turbina. O objetivo deste processo é obter máxima eficiência com a mínima perda de pressão. Para alimentar a câmara de combustão são utilizados diversos tipos de combustíveis, líquidos e gasosos e diversos sistemas de injeção (7).

**Turbina** – Existem dois tipos de turbinas, eixo-único em alta velocidade e eixo separado. Todas são pequenas turbinas a gás [11]. A turbina fornece potência para acionar o compressor e o gerador elétrico que está acoplado ao conjunto compressor - turbina, chamado comumente de *spool*. A microturbina extrai a energia dos gases quentes que deixam a câmara de combustão e os expande para uma pressão e temperatura mais baixa (7).

**Trocador de calor** – As microturbinas possuem um trocador de calor para aproveitar a energia térmica dos gases que saem da turbina e aquecer o ar antes de entrar na câmara de combustão. Isto incrementa a eficiência térmica do sistema ao diminuir a quantidade necessária de combustível no processo de geração (7).

*Controle e sistemas de comunicação* – O controle e os sistemas de comunicação incluem o controle completo da turbina, inversores de potência, instrumentação e condicionamento de sinais (11).

*Eletrônica de potência* – Na turbina de eixo-único, o gerador produz tensões em altas frequências, geralmente na faixa de 1500 a 4000 Hz. A tensão em alta frequência é primeiramente retificada e então invertida para tensão em 50 ou 60 Hz. Deve-se observar que nas microturbinas de eixo-separado não são necessários inversores (11).

*Alternador ou máquina convencional* – Nas turbinas de eixo-único um alternador é diretamente acoplado ao eixo-único da turbina. O rotor de ímã permanente pode ser de dois ou quatro pólos e o estator é um modelo convencional de fio de cobre enrolado. No modelo eixo-separado uma máquina indução convencional é acoplada na turbina via transmissão (11).

## 2.1 Modelagem da Microturbina

O sistema microturbina apresentado neste tópico é baseado no modelo apresentado por Rowen, o qual foi de certa forma bem sucedido e adaptado para modelagem da microturbina por diversos autores (1), (3), (5), (11). Os componentes da modelagem da turbina a gás incluem: controle de velocidade, controle de temperatura, controle de aceleração e o controle do sistema de combustível. O controle de velocidade atua sob as condições de carga. O controle de temperatura atua como limitador da potência de saída e o controle de aceleração tem a função de prevenir a sobre velocidade no rotor. Uma destas três saídas dos controles será selecionada pelo do bloco de seletor de valor mínimo. A saída do bloco de seleção de valor mínimo identificará o menor valor entre os três controles e resultará na mínima quantidade de combustível necessária para o funcionamento da turbina-compressor. A Figura 3 apresenta a representação em p.u. da microturbina, junto com o sistema de controle (3). Cada subsistema será discutido nos próximos tópicos.

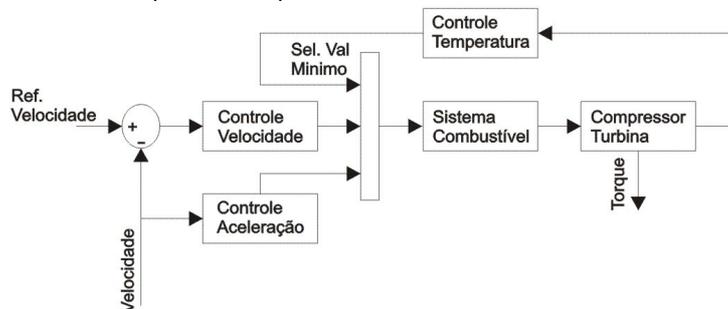


FIGURA 3 – Diagrama em blocos do funcionamento da microturbina.

### 2.1.1 Controle de Velocidade

O sistema de controle para microturbinas pode ser dividido em “*droop regulation*” e “*non-droop regulation*”, o qual é utilizado e projetado no intuito de se adaptar os diferentes tipos de carga. Para microturbinas em paralelo com a rede de distribuição, o sistema de controle deve ser “*droop regulation*” para regular a saída de acordo com a mudança de carga evitando a oscilação de potência ou instabilidade da regulação (16).

Este controle é usualmente modelado por uma função de transferência de avanço e atraso ou por um controlador PID, sendo o principal meio de controle da microturbina sobre as condições de carga do sistema. O sinal da saída atuará no bloco de seleção de valor mínimo. A Figura. 4 apresenta o diagrama em blocos do controle de velocidade, onde  $K$  está representando o ganho do controlador.  $T_1$  e  $T_2$  são as constantes de avanço e atraso do regulador, respectivamente e  $Z$  representa o modo regulador. Um regulador operando modo “*droop regulation*” a saída é proporcional ao erro da velocidade  $Z=1$ . No “*non-droop regulation*”  $Z=0$  (3).

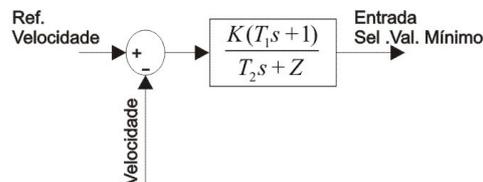


FIGURA 4 – Controle de velocidade da microturbina.

### 2.1.2 Controle de Aceleração

O controle de aceleração é usado para limitar a razão de aceleração do rotor, diminuindo os esforços mecânicos durante o arranque, reduzindo a vazão de combustível e limitando a tendência à sobre velocidade. O sinal da entrada é a velocidade do rotor enquanto que a saída atuará no bloco seletor de valor mínimo. O controle de aceleração é ilustrado na Figura 5. Em regime permanente este controle pode ser suprimido da modelagem (3).

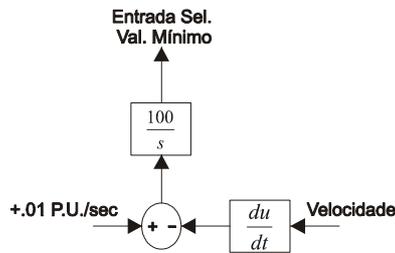


FIGURA 5 – Controle de aceleração da Microturbina.

### 2.1.3 Controle de Temperatura

O controle de temperatura é o meio de se limitar a potência de saída da microturbina em uma pré-determinada temperatura de combustível, independentemente da temperatura ambiente ou do tipo de combustível. O combustível que é queimando no combustor resulta em torque da turbina e na temperatura de exaustão do gás. A temperatura de exaustão do gás é medida usando uma série de termopares como ilustrado no diagrama em bloco da Figura 6. Nesta figura  $T_i$  é a taxa de integração do controle de temperatura;  $T_3$  e  $T_4$  são constantes de tempos associadas ao campo de radiação e termopar, respectivamente;  $K_4$  e  $K_5$  são constantes associadas ao campo de radiação;  $T_5$  é uma constante associada ao controle de temperatura. A saída do termopar é comparada com a temperatura de referência, a qual é normalmente maior que a saída do termopar. Isto força a saída do controle de temperatura a ficar no limite máximo permitindo a dominância do controle de velocidade no seletor de valor mínimo. Quando a saída do termopar excede o valor da temperatura de referência, a diferença fica negativa e o controle de temperatura limita o fluxo de combustível, limitando também a potência da microturbina. A entrada no controle de temperatura é a temperatura de exaustão e a saída atuará no seletor de valor mínimo (3).

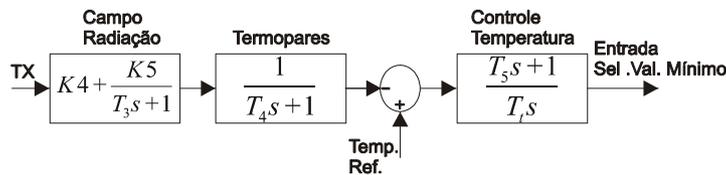


FIGURA 6 – Controle de temperatura da microturbina.

### 2.1.4 Controle de Combustível

O sistema de combustível consiste na válvula de combustível e do atuador. A vazão de combustível do sistema resulta da inércia do atuador e da posição da válvula.

A função de transferência do posicionamento da válvula é representada por (2).

$$E_1 = \frac{K_v}{T_v s + c} F_d \quad (2)$$

E a função de transferência do atuador do sistema de combustível é representada por (3).

$$W_f = \frac{K_f}{T_f s + c} E_1 \quad (3)$$

Onde  $K_f$  são os ganhos do posicionamento da válvula e do atuador respectivamente;  $T_v$  e  $T_f$  são constantes de tempo da válvula e do atuador respectivamente;  $F_d$  e  $E_1$  representam a entrada e a saída do posicionamento da válvula;  $W_f$  é o sinal de demanda de combustível em p.u.

A saída do bloco do seletor de valor mínimo, VCE, representa a mínima quantidade de combustível necessária para um ponto de operação particular e é uma das entradas do sistema de combustível. Um outro ponto de ingresso para o sistema de combustível é o valor em p.u. da velocidade do rotor (limitado pelo controle de aceleração). O valor em p.u. do VCE corresponde diretamente ao valor em p.u. da potência mecânica da turbina em regime permanente, Figura 7.

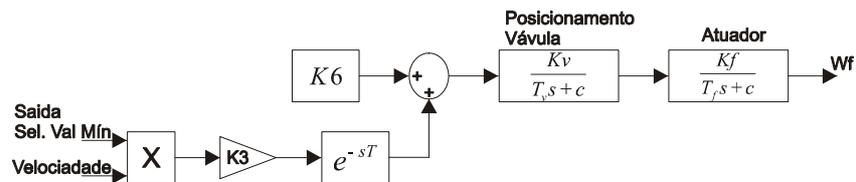


FIGURA 7 – Controle de combustível da microturbina.

O valor de VCE é escalonado por um ganho  $K_3$  ( $K_3=(1-K_6)$ ) e depois atrasado e compensado por uma mínima quantidade de combustível  $K_6$  para alimentar continuamente o processo de combustão na câmara de combustão.  $K_6$  é essencialmente a mínima quantidade de fluxo de combustível quando a turbina trabalha sem carga (3).

### 2.1.5 Dinâmica da microturbina

O compressor-turbina é a principal elemento da microturbina sendo essencialmente linear (com exceção da constante de tempo do rotor). Existe um pequeno atraso no transporte TCR, que está associado com o tempo de reação da combustão. Além disso, há um tempo de atraso TCD associado com o volume de descarga do compressor e um atraso TTD associado com o transporte do gás do sistema de combustão através da turbina. O diagrama em blocos do compressor-turbina descrito na Figura 8 mostra que a característica do torque e da temperatura de exaustão de uma turbina a gás de eixo-único são essencialmente lineares em relação ao fluxo de combustível.

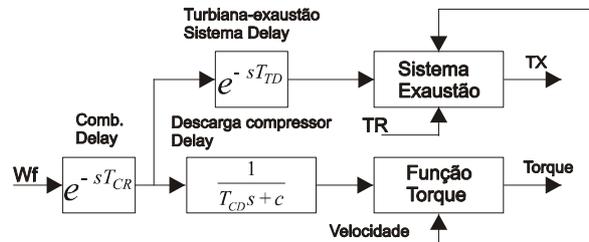


FIGURA 8 – Dinâmica da microturbina.

A velocidade da turbina e temperatura de exaustão é apresentada a seguir.

$$Torque = K_{HHV}(W_{f2} - 0.23) + 0.5(1 - N)(Nm) \quad (4)$$

$$TX = TR - 700(1 - W_{f1}) + 550(1 - N)(F) \quad (5)$$

Onde  $K_{HHV}$  é uma constante que depende da entalpia ou do maior valor de aquecimento do gás na câmara de combustão e  $TR$  é a temperatura de referência. Deste modo, a entrada desde sistema é o sinal em p.u. da demanda de combustível  $Wf$ , e as saídas são o torque da microturbina e temperatura de exaustão do gás (3).

### 3.0 – CONVERSOR BUCK-BOOST

Como a microturbina gera uma tensão alternada em alta frequência (833 Hz – 50.000 rpm) e o inversor multinível necessita de uma tensão contínua isolada, será necessária a utilização de conversores CC-CC para fazer o condicionamento de tensões, de acordo com a Figura 9. Na saída do gerador é utilizado um retificador trifásico não controlado junto com um capacitor para a formação do barramento DC. Os conversores CC-CC são utilizados para fornecer tensões contínuas reguladas a partir de uma fonte de tensão contínua não regulada. Dentre as diversas topologias que atendem essa definição existe o conversor *Buck-boost* (14). Esse conversor apresenta como característica principal a inversão de polaridade da tensão de entrada utilizando uma mesma referência. A função do conversor CC-CC no sistema é controlar a tensão de saída em um valor pré-estabelecido de tensão (450 V). O controle de tensão acontece por meio de um controlador proporcional integral, ou seja, é medida a sua tensão de saída e depois comparada com o seu sinal de referência. O erro formado pela comparação passa por um controlador proporcional-integral (PI), executando a ação, esse sinal é comparado com uma onda triangular gerando um sinal PWM para o acionamento da chave semicondutora do conversor. A frequência da onda triangular é de 24 kHz.

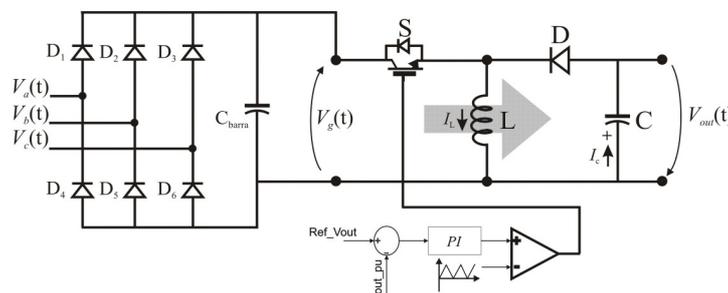


FIGURA 9 – Conversor Buck-boost – controle de tensão

A função de transferência do conversor buck-boost (6).

$$\frac{V_{out}}{D} = \left( -\frac{V_g - V_{out}}{(1-D)} \right) \frac{\left( R // \frac{1}{sC} \right)}{\frac{sL}{(1-D)^2} + \left( R // \frac{1}{sC} \right)} \quad (6)$$

#### 4.0 – INVERSOR MULTINÍVEL

A Figura 10 ilustra o sistema proposto para a conexão da microturbina com a rede de distribuição. O sistema é composto por três células *H-bridge* conectadas em série, em uma configuração (1:3:9), ou seja, 50 V no módulo de menor tensão, 150 V no módulo intermediário e 450 V no módulo de maior tensão, onde a microturbina estará conectada. O módulo de menor tensão e menor potência  $V_{n1}$  (50 V) operará com uma modulação PWM. A escolha do inversor multinível assimétrico se deve ao fato dele poder assumir em suas células outros tipos de geração distribuída, como por exemplo, painéis fotovoltaicos, células combustíveis e aero geradores. Para a simulação deste sistema foram adotadas fontes de tensão nos dois primeiros níveis, representando outras formas de geração distribuída. No módulo de maior tensão e potência é inserida a microturbina.

Os inversores multiníveis têm recebido crescente atenção, pois é possível diminuir o número de células em série para um determinado número de níveis, ou minimizar a THD das tensões de saída e, portanto, reduzir ou até mesmo eliminar filtros de saída para um determinado número de células (13).

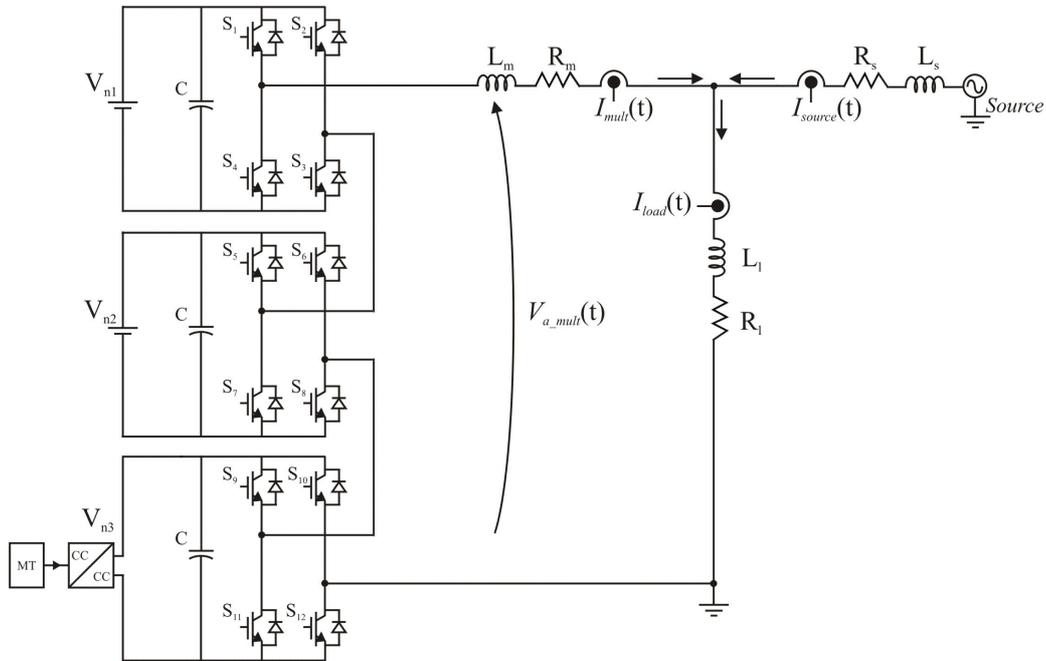


FIGURA 10 – Inversor Multinível.

#### 4.1 Controle de Corrente do inversor multinível

O controle de corrente do inversor multinível híbrido assimétrico é ilustrado na Figura 11. O controle opera a partir do erro formado entre um sinal de referência senoidal de corrente, que estabelece a corrente máxima que o conversor multinível irá disponibilizar ao sistema, e a corrente medida em p.u. do multinível. O erro formado por essa comparação passa por um controlador Proporcional-integral. O sinal da ação de controle e somada com o valor em p.u. da tensão do sistema de distribuição, gerando assim a referência,  $v_{conv}^*$ , de tensão do conversor multinível assimétrico.

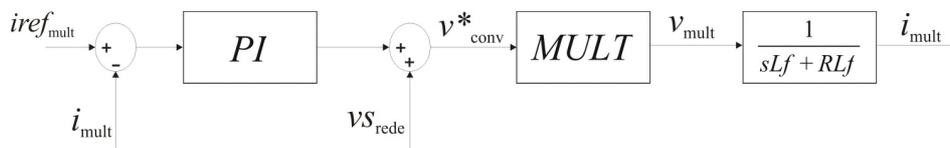
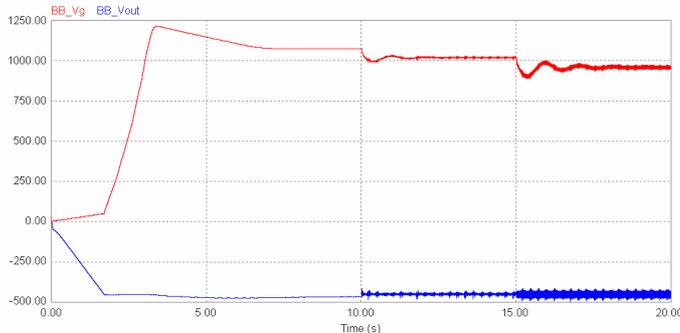


FIGURA 11 – Estratégia de controle de corrente do inversor multinível.

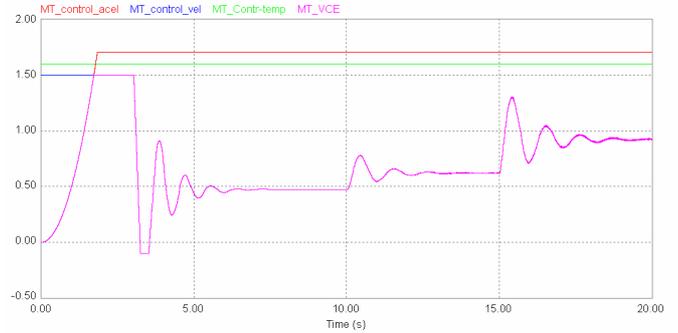
#### 5.0 - RESULTADOS SIMULADOS

Inicialmente o sistema está operando a 202 W. Em  $t=10$  segundos uma carga de 15 kW é aplicada, e em  $t=15$  segundos a carga é aumentada até 30 kW. A Figura 12 – (a) ilustra as tensões de entrada e saída no conversor buck-boost, mostrando a variação de tensão de entrada do conversor,  $V_g$ , conforme o aumento de carga. Aumentando-se a carga aumenta também o ripple de tensão da saída do conversor. A Figura 12 – (b) mostra a a prioridade de funcionamento de controles da microturbina. Em um primeiro momento atua o controle de aceleração, limitando a sobrevelocidade do rotor diminuindo, assim, o estresse da máquina. Depois atua o controle de velocidade sendo esse o mínimo valor entre todos os controles. Esse controle varia conforme o aumento de carga. Não atua o controle de temperatura nessa simulação, pois não ocorre um aumento de potência acima da potência nominal da microturbina. A Figura 12 – (c) ilustra o comportamento do torque da microturbina e a vazão de combustível, mostrando o aumento de ambos conforme o aumento de carga. Nota-se também que os

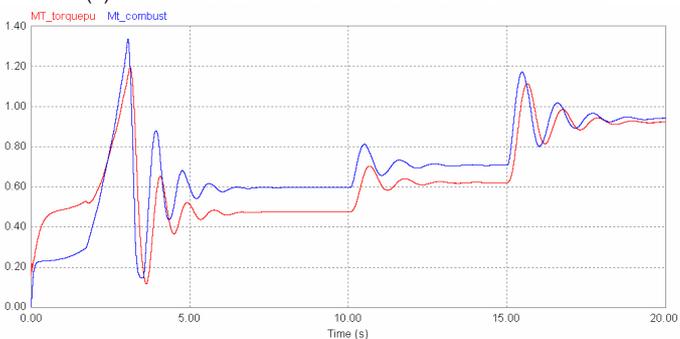
dois sinais são diretamente proporcionais. Na Figura 12 – (d) se visualiza o comportamento da velocidade, em rpm, da microturbina onde se nota a frequência de 833 Hz (50,000 rpm). Ocorrem pequenas oscilações na velocidade conforme o aumento de carga. A Figura 12 – (e) ilustra os comportamentos da corrente do inversor multinível, corrente de carga e corrente fornecida pela fonte. O controle regula a corrente do multinível em um pré-determinado valor de corrente, quando a corrente do multinível é maior que a corrente de carga, o excedente passa para a rede, quando a corrente de carga é maior que a corrente do multinível o que falta para alimentar a carga a fonte fornece. A Figura 12 – (f) mostra a tensão de saída de inversor multinível, esta tensão tem um valor de pico de 550 V e uma frequência de 60 Hz.



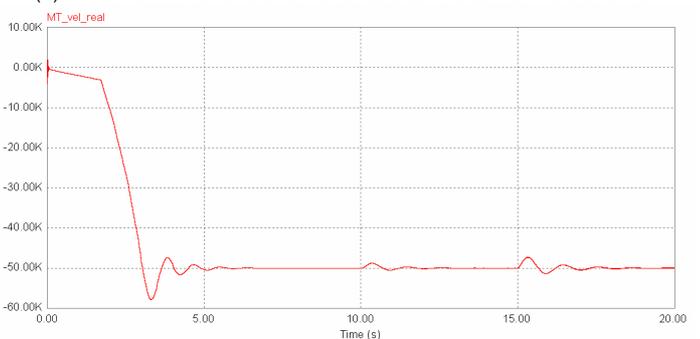
(a) – Tensão de entrada e saída conversor buck-boost.



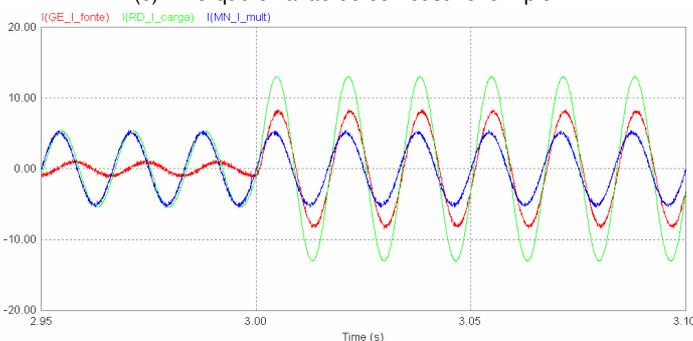
(b) – Prioridade de funcionamento dos controles da microturbina.



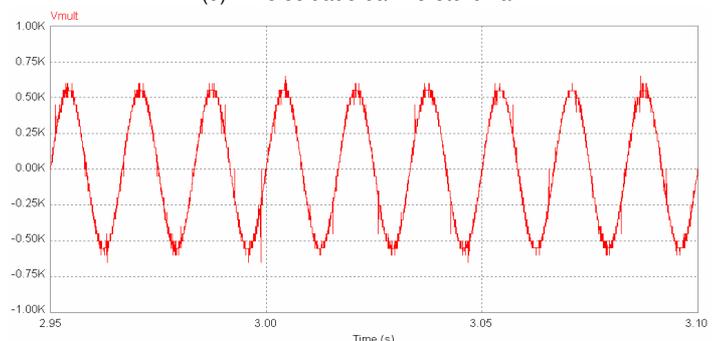
(c) – Torque e vazão de combustível em p.u.



(d) – Velocidade da microturbina.



(e) – Corrente na carga x fonte x multinível



(f) – tensão de saída do conversor multinível.

Figura 12 – Formas de onda do sistema microturbina.

## 6.0 - CONCLUSÃO

Este artigo apresenta no primeiro momento uma breve introdução sobre a inserção da microturbina como geração distribuída, realizando um levantamento das suas características de funcionamento e, analisando seus aspectos tanto elétricos como mecânicos. Em seguida foi mostrada uma abordagem simplificada da modelagem de uma microturbina, analisando a dinâmica de funcionamento dos seguintes controles da microturbina: controle de velocidade, temperatura, velocidade e combustível: A partir dos resultados obtidos dos controles, pode-se ter um conhecimento mais aprofundado sobre a hierarquia de funcionamento dos controles de uma microturbina. Verificou-se ainda que os controles atuam dentro de um sincronismo que foi descrito na literatura. Para fazer a conexão da microturbina com o inversor foi adotado o conversor Buck-boost o qual teve analisadas suas características, levantamento da função de transferência e seu controle de tensão. A conexão da turbina com a rede está a cargo do inversor multinível, que dentro de suas características pode, entre suas células, adicionar outras formas de geração, como por exemplo, painéis fotovoltaicos, células combustíveis, entre outras tecnologias. Estes estudos são importantes, pois as microturbinas podem ser utilizadas como fonte de geração distribuída em sistemas de distribuição atendidos em médias e baixas tensões. É o caso, por exemplo, de sistemas que utilizam a biomassa para a produção de biogás. O calor produzido pela microturbina pode ser reutilizado para aquecimento

doméstico ou para produção de mais energia elétrica. Em todos os casos, a eficiência do processo aumenta, tornando mais atrativo o uso das microturbinas.

## 7.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1)Al-Hinai, A.; Feliachi, A., (2002). Dynamic model of a microturbine used as a distributed generator, *System Theory, 2002, Proceedigs of the 34<sup>th</sup> southeastern symposium*, pp. 209–213.
- (2)Gaonkar, D. N.; Patel R. N., (2006). Modeling and Simulation of microturbine based distributed generation system, *Power India conference, 2006 IEEE*.
- (3)Guda, S. R., Wang, C.; Nehrir, M. H. (2005). A simulink-based microturbine model for distributed generation studies, *Power symposium, 2005 Proceedings of the 37<sup>th</sup> annual north american*, pp. 269–274.
- (4)Hajagos, L. M.; Berubé, G. R., (2001). Utility experience with gas turbine testing and modeling, *Kestrel Power Engineering, Canada* pp. 671–677.
- (5)Hannet L. N.; Khan, A., (1992). Combustion Turbine Dynamic model validation from testes, *IEEE transactions on power systems, vol. 8, No. 1 February 1993*, pp. 152–158.
- (6)Nikkhajoei H.; Iravani M. R., (2002). Modeling and Analysis of a Micro-Turbine generation system, *Power Engineering society summer meeting*, pp. 167–274.
- (7)Rendón, M. A. (2005). Modelagem e simulação do sistema de controle de uma micro-turbina a gás, *Dissertação de mestrado apresentanda Itajubá, Itajubá*.
- (8)Rendón, M. A.; Nascimento M. A. R.; Mendes, P. P. C., (2006). Load current control model for a gas micro-turbine in isolated operation, *IEEE*, pp. 1139–1149.
- (9)Rowen W.I., (1983). Simplified mathematical representations of heavy duty gas turbines, *Journal of engineering for power. Transactions ASME, Vol 105, n<sup>o</sup>4*, pp 865-869, oct.
- (10)Scott W. G., (1998). Micro-turbine generators for distribution system, *IEEE industry applications magazine*. pp. 57–62.
- (11)Zhu, Y.; Tomsovic K., (2002). Development of models for analyzing the load-following performance of microturbines and fuel cells, *School of EECS Washington State University Pullman – electric Power System Research, 2002*
- (12)Working Group on prime mover and energy supply models for system dynamic performance studies, *Dynamic models for combined cycle plants in power system studies, IEEE transactions on power systems, vol. 9, No. 3 August 1994*, pp. 1698–1708.
- (13) Rech, Cassino. (2005) – *Análise, Projeto e desenvolvimento de sistemas multiníveis híbridos. Tese doutorado.*
- (14) Tomaselli C. Luis – *Estudo de um conversor buck-boost – INEP – SC*
- (15) Erickson R. W. – *Fundamentals of Power Eletronics*
- (16) Wei H.; Jianhua Z.; Ziping Wu., *Dynamic modeling and simulation of a micro-turbine generation system in the microgrid, ICSET 2008 IEEE.*

## 8.0 – DADOS BIBLIOGRÁFICOS

Dreifus Medeiros Costa

Natural de Bagé, RS.

Engenheiro Eletricista formado pela Universidade Federal de Santa Maria em 2007

Mestrando do programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da UFSM.

Membro do Centro de Estudos em Energia e Meio Ambiente (CEEMA/UFSM)

Ricardo Quadros Machado

Natural de Santa Maria, RS.

Engenheiro Eletricista formado pela Universidade Federal de Santa Maria em 1997

Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade de Campinas em 2005.

Professor do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade de São Paulo/São Carlos

Luciane Neves Canha

Natural de Santa Maria, RS.

Engenheira Eletricista formada pela Universidade Federal de Santa Maria em 1994

Doutora em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Maria em 2004.

Pesquisadora do Centro de Estudos em Energia e Meio Ambiente (CEEMA/UFSM)