

***SISTEMAS EÓLICOS DE VELOCIDADE FIXA E VARIÁVEL:  
UM ESTUDO COMPARATIVO***

***FIXED AND VARIABLE SPEED WIND SYSTEMS: A  
COMPARATIVE STUDY***

***NATÁLIA CORNÉLIA SILVA CAMPOS, HÉLIO OLIVEIRA FERRARI***

**RESUMO**

O Brasil possui uma das mais renováveis matrizes energéticas do mundo, mas o desafio de reduzir a dependência de energias não renováveis requer pesquisa e o desenvolvimento de novas tecnologias que possibilitem a utilização de fontes limpas e sustentáveis de energia, como é a energia eólica. A energia eólica é considerada, entre as alternativas renováveis existentes, a mais viável no mercado de energia, apresentando um crescimento ao longo dos anos. Os principais sistemas eólicos classificam-se de acordo com sua operação em dois tipos: sistemas com operação a velocidade fixa e sistemas com operação a velocidade variável. Ao longo dos anos, utilizou-se no mercado os geradores que operam a velocidade fixa, sendo a máquina mais usada o gerador de indução de rotor em gaiola (FSIG). A partir do ano 2000, o domínio no mercado passou a ser para o gerador de velocidade variável (DFIG). Hoje, tem-se dois tipos de geradores amplamente utilizados em sistemas eólicos que operam a velocidade variável: o gerador síncrono e o gerador de indução com rotor bobinado. Esse artigo apresentará uma análise teórica sobre o desempenho de sistemas de geração eólica. A análise permite verificar as diferenças entre os ganhos obtidos do gerador tipo DFIG com frente ao gerador tipo FSIG e a partir de análise comparativa de um sistema de geração utilizando máquinas do tipo DFIG conclui-se este trabalho apresentando um de diagramas de blocos a ser utilizado em simulações computacionais.

**Palavras-Chave:** Energia Eólica, DFIG, FSIG.

**ABSTRACT**

Brazil has one of the most renewable energy matrices in the world, but the challenge of reducing dependence on non-renewable energy requires research and development of new technologies that enable the use of clean and sustainable

energy sources, such as wind energy. Wind energy is considered, among the existing renewable alternatives, the most viable in the energy market, showing growth over the years. The main wind systems are classified according to their operation into two types: systems with fixed speed operation and systems with variable speed operation. Over the years, generators operating at fixed speed have been used in the market, with the most widely used machine being the cage rotor induction generator (FSIG). From the year 2000, the market dominance became the variable speed generator (DFIG). Today, there are two types of generators widely used in wind systems that operate at variable speed: the synchronous generator and the induction generator with wound rotor. This article will present a theoretical analysis on the performance of wind generation systems. The analysis allows to verify the differences between the gains obtained from the DFIG type generator against the FSIG type generator and from a comparative analysis of a generation system using DFIG type machines, this work is concluded by presenting one of block diagrams to be used in computer simulations.

**Keywords:** Wind Energy, DFIG, FSIG.

## 1 INTRODUÇÃO

A atenção mundial voltada às mudanças climáticas motivou, recentemente, a busca pelo desenvolvimento de fontes alternativas de energia limpa, de modo a reduzir a emissão de poluentes proporcionada pelas fontes convencionais. Nesse cenário destaca-se a fonte eólica, que perde apenas para a fonte hidráulica em termos de capacidade instalada renovável mundial.

A pressão dos agentes de diversos ramos da sociedade, pela mitigação de danos ambientais, afeta diretamente o tipo, tamanho e localização das centrais geradoras. É imperativo que as fontes de energia sejam limpas, renováveis e de baixo impacto para o meio ambiente (BAINY, 2015).

A solução apontada para atender às necessidades de desenvolvimento sustentável e mitigara crise energética que a comete os sistemas elétricos em todo o mundo, é a utilização de fontes de energias renováveis. Dentre elas, a energia eólica tem alcançado protagonismo, por apresentar uma boa relação de custo-benefício para a geração de eletricidade e considerável capacidade de potência (TRUONG & RO, 2012).

Além disto, ao longo das últimas décadas, novas tecnologias de conjuntos

aerogeradores, conjuntamente com o aperfeiçoamento das antigas, foram consolidadas. Isto contribui para a melhoria das características operacionais necessárias às redes elétricas, maximização do aproveitamento da energia eólica e diminuição dos custos de implantação de novos parques (DA SILVA, 2014).

As principais tecnologias utilizadas no desenvolvimento e aplicação em aerogeradores, são classificadas segundo a sua velocidade de operação e de controle de potência. Apresentam-se basicamente em dois grupos: aerogeradores de velocidade fixa e velocidade variável.

Para a tecnologia de velocidade fixa, destaca-se o gerador de indução com rotor em gaiola, denominado FSIG (do inglês, *Fixed Speed Induction Generator*). Quanto à velocidade variável, são utilizados, o gerador de indução de dupla alimentação – DFIG (*Doubly Fed Induction Generator*), o gerador síncrono com rotor bobinado – WRSG (*Wound Rotor Synchronous Generator*) e o gerador síncrono de ímã permanente – PMSG (*Permanent Synchronous Generator*). (ACKERMANN, 2005).

Das tecnologias apresentadas, historicamente, a primeira a ter seu uso amplamente difundido para geração de energia conectada à rede elétrica foi o FSIG. Com o aumento da penetração da geração eólica nos sistemas elétricos, houve o aumento da exigência quanto ao cumprimento de novas funcionalidades dos aerogeradores, necessidades que o FSIG tem limitações em atender. Em consequência desta barreira tecnológica, diminui-se gradativamente a utilização do FSIG e inicia-se a aplicação de aerogeradores de velocidade variável nas novas instalações (TRUONG & RO, 2012).

Em razão das suas vantagens, o DFIG passou a ser utilizado no arranjo de grande parte dos novos parques eólicos. No entanto, os parques já construídos ainda sem antememoperação. A transição para tecnologias mais eficientes, por razões técnica e econômicas, é gradativa. Desta forma, os sistemas elétricos têm em sua constituição parques eólicos de diferentes tecnologias, bem como parques eólicos mistos, sendo portanto, importante o conhecimento da interação destas diferentes soluções de geração eólica – clássicas e modernas (HANSEN & HANSEN, 2007; FEIJÓO ET AL., 2013).

Segundo (BAINY,2015), em consonância com a busca de alternativas mais eficientes e renováveis, surge a possibilidade de aplicação de geração distribuída a partir do gerador duplamente alimentado. O conceito ao qual se motiva utilizara geração eólica, consiste em aproveitar a energia proveniente dos ventos. Alcançando assim, a exploração de uma fonte primária de energia, sem a necessidade de altos investimentos no sistema de transmissão, e ao mesmo tempo, atendendo o aumento da demanda de energia elétrica.

## **2 MATERIAIS E MÉTODOS**

O trabalho pode ser caracterizado pelos seus fins descritivo e exploratório e o desenvolvimento teórico do texto é conduzido mediante a pesquisa em material publica do por institutos de pesquisa, empresas do setor elétrico, agências de normatização e em periódicos disponíveis no Portal de Periódicos da CAPES, principalmente na Biblioteca Digital do IEEE – *Institute of Electrical and Electronic Engineers*.

### **2.1 GERADORES ELÉTRICOS**

Os geradores são dispositivos responsáveis por converter a energia mecânica obtida pela turbina eólica em energia elétrica e para tal finalidade várias tecnologias são empregadas. O gerador eólico, basicamente, é um sistema destinado a converter a energia cinética contida no fluxo de ar – chamada energia eólica – em energia elétrica (ACKERMANN, 2005; BURTON ET AL., 2001). Os aerogeradores de maior potência instalados no mundo são de eixo horizontal, com turbinas eólicas de três pás. Esta configuração proporciona equilíbrio entre desempenho aerodinâmico, esforços mecânicos e vida útil, conseqüentemente, leva a um menor custo global da energia gerada (BURTON ET AL., 2001).

Uma característica importante é o tipo de gerador a ser utilizado, visto que é esse elemento que realiza a conversão da energia obtida com a rotação do eixo em energia elétrica utilizável no sistema elétrico. O gerador eólico, basicamente, é um sistema destinado a converter a energia cinética contida no fluxo de ar – chamada energia eólica – em energia elétrica (ACKERMANN, 2005; BURTON ET

AL., 2001).

Os principais sistema eólicos classificam-se quanto à forma de operação em dois tipos (HEIER, 1998): sistema com operação de velocidade fixa ou velocidade variável. Os aerogeradores que operam a velocidade fixa caracterizam-se pelo funcionamento em velocidade constante, independente da velocidade do vento. A configuração mais usada para tal operação consiste de um gerador de indução de rotor em gaiola conectado ao eixo da turbina por meio de uma caixa de transmissão mecânica (FSIG) (TIPO A). Neste tipo de tecnologia, o estator é diretamente conectado na rede, dispensando assim a utilização de eletrônica de potência, proporcionando baixo custo inicial de instalação e facilidade operacional (NUNES, 2003). Porém, devido à falta de controle do consumo de potência reativa e à necessidade de maior manutenção pelo estresse dinâmico presente nas partes mecânicas da caixa de transmissão, este tipo de tecnologia foi substituída ao longo dos anos por sistema eólicos que operam a velocidade variável. Esta tendência foi apresentada por Hansen e Hansen (2006) e Wang e Gerber(2012).

Os aerogeradores que operam a velocidade variável apresentam muitas vantagens em comparação com os aerogeradores que operam a velocidade fixa (MANWELL et al., 2009). Primeiramente, os sistemas a velocidade variável apresentam investimentos iniciais mais elevados, mas tem possibilidade de controle da potência ativa e reativa fornecida para a rede elétrica (TANG; XU, 1995). Adicionalmente, tem-se a redução do estresse dinâmico nas partes mecânicas da caixa de transmissão, implicando menor manutenção (TAPIA; TAPIA, 2005).

Este tipo de aerogerador também apresenta uma melhor regulação da potência fornecida para a rede, para velocidades de vento acima da velocidade nominal (NUNES,2003).

No mundo, existem dois tipos de geradores amplamente usados em sistemas eólicos que operam a velocidade variável: gerador de indução com rotor bobinado e o gerador síncrono (HANSEN; HANSEN, 2006; WANG; GERBER, 2012).

Duas diferentes tecnologias com operação a velocidade variável utilizam geradores de indução com rotor bobinado (TIPO B e TIPO C). A primeira delas é conhecida na literatura por gerador de indução de dupla saída (DOIG) (ÇADIRCI; ERMIS, 1992) ou gerador de indução controlado com resistência externa no rotor (HANSEN; HANSEN, 2006). Nesta tecnologia, a presença de resistências externas no rotor, dinamicamente controladas, resulta numa variação de velocidade rotacional reduzida acima da velocidade síncrona, variando normalmente de 0 a 10%. (AKHMATOV, 2003).

A segunda tecnologia é conhecida na literatura por gerador de indução com dupla alimentação (DFIG) (NUNES et al., 2007; VIEIRA; NUNES; BEZERRA). 2009; VIEIRA; NUNES et al., 2004). Nesta tecnologia, o gerador é projetado para trabalhar com variação de velocidade em um intervalo restrito (normalmente,  $\pm 30\%$  em relação à velocidade síncrona), buscando operar com máxima eficiência para conversão de energia (TARNOWSKI, 2006).

Duas diferentes tecnologias com operação a velocidade variável utilizam geradores síncronos (TIPO D). Uma delas tem o rotor alimentado eletricamente (WRSG ou WRIG) e outra por ímãs permanentes (PMSG) (HANSEN; HANSEN, 2006). O uso deste tipo de gerador é justificado pela possibilidade de aplicação de retificadores a comutação natural consideravelmente mais baratos (GRAUERS, 1996), bem como pelo alto número de polos, o que permite operação com uma baixa velocidade rotacional mecânica (CHEN; SPOONER, 1995), implicando na eliminação da caixa de transmissão (PINHEIRO, 2004). Nas seguintes figuras, são apresentadas as duas tecnologias de aerogeradores mencionadas anteriormente, o de velocidade fixa e variável:

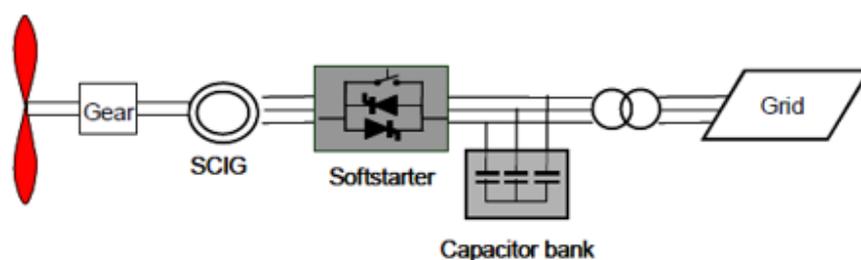


Figura 1: Aerogerador de velocidade fixa, equipado com gerador de indução de

rotor em gaiola, diretamente conectado na rede elétrica-Tipo A.Fonte: (HANSEN; HANSEN, 2006; WANG; GERBER, 2013).

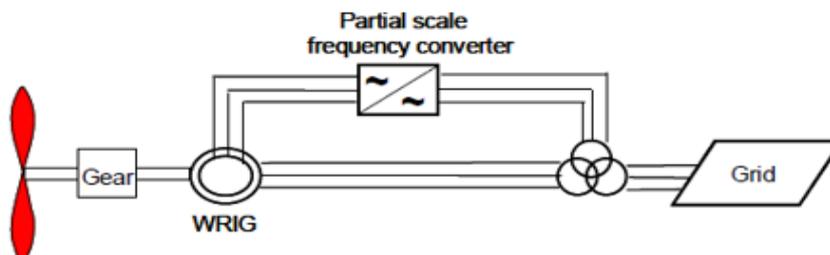


Figura 2: Aerogerador de velocidade variável, equipado com gerador excitado eletricamente ou excitado por ímã permanente -Tipo D.Fonte: (HANSEN; HANSEN, 2006; WANG; GERBER, 2013).

Observa-se que, durante muitos anos, a tecnologia TIPO A (FSIG) foi a principal tecnologia utilizada em turbinas eólicas por se tratarem de máquinas robustas, mas a utilização desta tecnologia teve um declínio pelo aumento de aerogeradores que operam a velocidade variável. A partir do ano 2000, a preferência do mercado eólico foi para o DFIG, com uma tendência de crescimento muito forte.

Esse fato está diretamente relacionado com a flexibilidade do controle oferecido pelos conversores estáticos, que possibilitam manter a tensão terminal constante quando a máquina opera em velocidade variável, permitindo o controle independente da potência ativa e reativa que a máquina troca com a rede elétrica, com a máxima eficiência no aproveitamento da energia eólica (VIEIRA; NUNES, 2006).

O controle implementado no conversor do DFIG é projetado por controladores PI (NUNES; VIERIA; BEZERRA, 2008; NUNES et al, 2007; QIAO; HARLEY, 2008; HOLDSWORTH et al., 2003; ANAYA et al., 2006; TAPIA; TAPIA, 2005). Diferentes estratégias de controle têm sido estudadas: Controle da velocidade de rotação e tensão nos terminais (NUNES et al, 2007; NUNES et al., 2004), Controle da velocidade de rotação e potência reativa (HOLDSWORTH et al., 2003), Controle da potência ativa e velocidade de rotação (QIAO; HARLEY, 2008),

Controle da potência reativa e tensão nos terminais (QIAO; HARLEY, 2008), Controle do torque eletromagnético e velocidade de rotação (HOLDSWORTH et al., 2003), Controle da potência reativa e torque eletromagnético (WONG; HO; CHENG, 2008), Controle do fator de potência e tensão nos terminais (HOLDSWORTH et al., 2003), Controle de potência ativa e tensão nos terminais (NUNES; VIEIRA; BEZERRA, 2008).

### **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1 FUNCIONAMENTO DE UM AEROGERADOR**

O funcionamento de um aerogerador começa pelo do sentido do fluxo da energia. Inicialmente o vento colide com as pás da turbina, aplicando nelas uma força, que devido a configuração física das pás, faz com que ocorra a rotação do conjunto.

As pás da turbina estão conectadas ao gerador elétrico por meio do eixo da turbina e de uma caixa de acoplamento. Esta caixa tem por finalidade elevar a velocidade rotacional recebida da turbina, para uma velocidade maior, necessária para o melhor funcionamento do gerador elétrico. Ao ocorrer o movimento relativo entre o campo e a armadura do gerador elétrico, induz-se um campo eletromagnético, responsável por propiciar a transformação da energiarotacional em energia elétrica. A energia elétrica, por sua vez, é condicionada por transformadores e conversores e ao final, entregue ao sistema elétrico de potência (ANAYA-LARA ET AL., 2009; BAINY, 2015).

As tecnologias de sistemas eólicos podem ser classificadas por sua regulação de velocidade, seu conjunto de acionamento ou por sua velocidade de rotação. Quanto à velocidade de rotação, os aerogeradores agrupam-se em dois: Aerogeradores de Velocidade Fixa (AVF) e Aerogeradores de Velocidade Variável (AVV).

Dentre estes aerogeradores, os mais populares e aderidos por fabricantes são os sistemas de velocidade fixa com gerador de indução com rotor em gaiola e sistemas de velocidade variável com gerador de indução duplamente alimentado.

Sendo o de velocidade fixa o primeiro a ser utilizado, por sua robustez e boa estabilidade de velocidade em condições normais de operação (ACKERMANN, 2005).

Com o desenvolvimento e inclusão das tecnologias de eletrônica de potência, aumento da penetração da geração eólica e evolução dos códigos de rede, os aerogeradores de velocidade variável passaram a ter maior utilização. Sua facilidade de adequação aos desafios impostos pelo setor elétrico, propiciaram sua aplicação como forma de melhorar e controlar a qualidade da energia gerada pelos novos parques (DA SILVA, 2014).

### **3.2 TOPOLOGIA DOS AEROGERADORES FSIG E DFIG**

Com o desenvolvimento e inclusão das tecnologias de eletrônica de potência, aumento da penetração da geração eólica e evolução dos códigos de rede, os aerogeradores de velocidade variável passaram a ter maior utilização. Sua facilidade de adequação aos desafios impostos pelo setor elétrico, propiciaram sua aplicação como forma de melhorar e controlar a qualidade da energia gerada pelos novos parques (DA SILVA, 2014). Atualmente, utiliza-se de aerogeradores de velocidade variável com geradores síncronos – convencionais e com rotores de ímã permanente.

#### **3.2.3 SISTEMA DE VELOCIDADE FIXA**

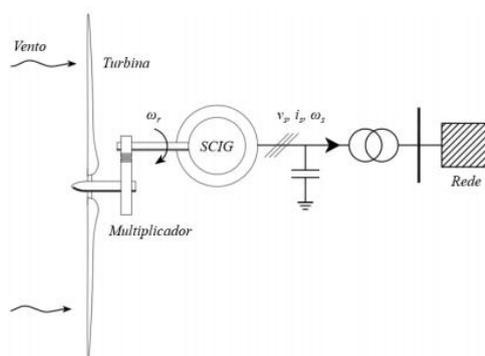
Este sistema, também conhecido por Fixed Speed Induction Generation (FSIG), utiliza-se de um gerador de indução com rotor em gaiola.

Os terminais de seu estator são conectados à rede elétrica de forma direta, ou por meio de soft-starter. O soft-starter é responsável pela criação do fluxo magnético de forma suave e controlada, reduzindo significativamente os elevados transitórios de corrente durante o procedimento de partida (ANAYA-LARA ET AL., 2009).

As principais vantagens do FSIG são a simplicidade, o custo de implantação, operação e manutenção reduzidos, robustez e confiabilidade (ACKERMANN, 2005).

As desvantagens estão relacionadas à eficiência, desde seu baixo desempenho aerodinâmico para um regime de vento variado, até a ausência de um sistema de controle eficiente. Como efeito, as rápidas oscilações da intensidade do vento – turbulências e rajadas – podem ocasionar oscilações mecânicas e variações da potência elétrica gerada (TARNOWSKI, 2006; AGUILAR, 2016). Estas características podem ser observadas na Figura 8 (TARNOWSKI, 2006).

Figura 3: Diagrama simplificado do aerogerador de velocidade fixa com gerador de



indução de rotor em gaiola (FSIG). Fonte: (TARNOWSKI, 2006).

Acrescenta-se que o conjunto pode ser acoplado ao sistema elétrico de potência por um transformador de interligação. Em razão do gerador de indução ter consumo de potência reativa relevante, também se utiliza de um banco de capacitores para corrigir o fator de potência. O acoplamento mecânico entre turbina e gerador é feito através de um multiplicador de velocidade.

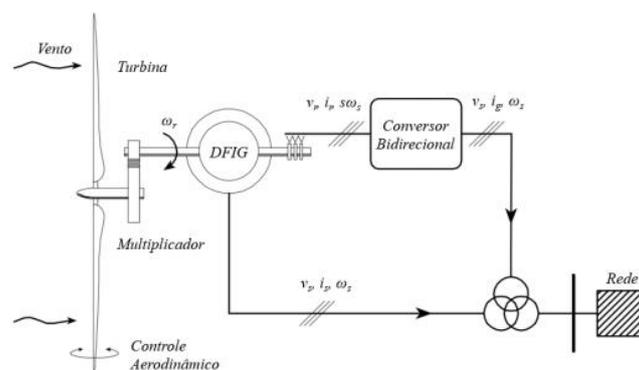
### 3.2.4 SISTEMA DE VELOCIDADE VARIÁVEL

Este sistema, utilizando o gerador de indução com rotor bobinado duplamente alimentado, é conhecido por Doubly Fed Induction Generation (DFIG). Os aerogeradores DFIG são unidades de geração eólica, cujo estator e rotor estão conectados à rede elétrica. O estator é conectado de forma direta, enquanto o rotor é conectado via um conversor bidirecional, normalmente do tipo back-to-back. Assim como FSIG, esta configuração necessita da caixa de engrenagens para multiplicação de velocidade entre os eixos da turbina e gerador. (ANAYA-LARA ET

AL., 2009).

Os aerogeradores DFIG, bem como as demais arquiteturas que trabalham em múltiplas velocidades, têm um melhor aproveitamento da energia do vento, além de permitir que os parques atendam requisitos das concessionárias de sustentação durante a ocorrência de faltas (LIMA ET AL., 2012; BAINY, 2015).

Figura 4: Diagrama simplificado do aerogerador de velocidade variável com gerador de indução de dupla alimentação (DFIG) . Fonte:(TARNOWSKI, 2006).



O sistema de controle do DFIG implementado no conversor bidirecional, controla as variáveis de saída do aerogerador. O inversor conectado do lado do rotor, tem função de controlar a potência ativa e reativa gerada pelo aerogerador. Já o inversor conectado do lado da rede é responsável pelo controle da tensão do elo em corrente contínua e do conversor do lado da rede (TARNOWSKI, 2006). Outras vantagens desta configuração são a possibilidade de suporte de energia e tensão.

As principais desvantagens tem relação com os custos adicionais devido ao conversor bidirecional e aos sistemas de controle, a necessidade de sistema de proteção para o conversor e por fim, ao nível de complexidade para a modelagem do sistema (SOHN, 2014).

O conversor bidirecional utilizado nos aerogeradores DFIG é seu grande diferencial. Em consequência do desenvolvimento dos acionamentos de eletrônica de potência e das técnicas de controle vetorial, possibilita-se a geração da energia elétrica com frequência constante e velocidade de rotação variável, buscando o

máximo aproveitamento do vento disponível (PENA ET AL., 1996). Além disso, até 30% da energia elétrica gerada flui através dos terminais do rotor (dependendo da velocidade do conjunto).

No estudo do comportamento dos sistemas de geração eólica, seja ele em abordagem mecânica, aerodinâmica ou elétrica, faz-se necessário o conhecimento dos componentes envolvidos e que eles sejam retratados de forma que representem satisfatoriamente os fenômenos ao qual se deseja realizar a análise. Para melhor visualizar os elementos do aerogerador com DFIG e suas inter-relações, o sistema é disposto em blocos.

As variáveis às quais os blocos interagem são representadas por meio de setas direcionais. Tal diagrama é disposto na Figura 10. O bloco com a principal entrada é o vento. Neste bloco é gerado o comportamento da velocidade do vento –  $V_v$  ao longo do tempo de simulação e enviado para o bloco Turbina Eólica.

Em estudos de estabilidade transitória indica-se a utilização da velocidade do vento como constante, pois ponderar a energia eólica poderia conduzir a respostas irrealistas (KAYIKÇI & MILANOVIĆ, 2008). Diante disso, neste trabalho a velocidade do vento é considerada constante.

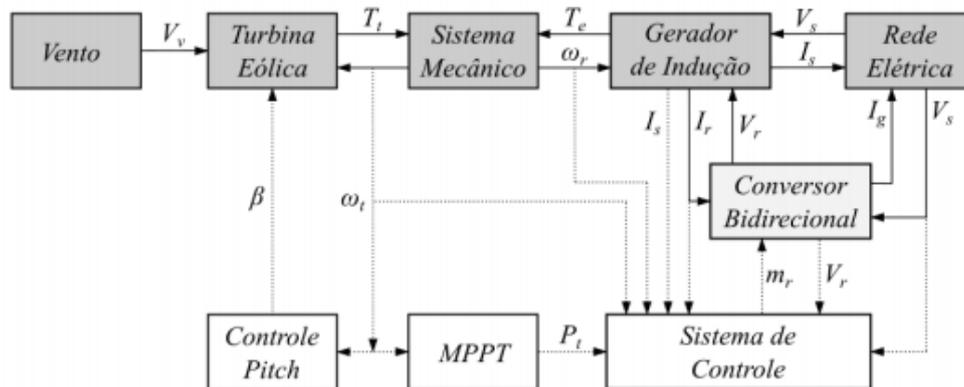


Figura 5: Estrutura do DFIG em diagrama de blocos. Fonte: (RHODE, 2019).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho analisou-se teoricamente as diferenças entre os ganhos obtidos do gerador tipo DFIG com frente ao gerador tipo FSIG e a partir de análise comparativa de um sistema de geração utilizando máquinas do tipo DFIG e suas simulações apresentadas.

As turbinas com geradores DFIG representam a tecnologia mais utilizada atualmente em plantas eólicas. Em relação às turbinas de velocidade fixa, apresentam como vantagens a possibilidade de controlar separadamente os valores de potência ativa e reativa, além de possibilitar melhor aproveitamento da energia eólica disponível. Em relação a outras tecnologias de velocidade variável, possui como uma das principais vantagens o fato de utilizarem conversor eletrônico não dimensionado para suportar a potência nominal do gerador.

Estudou-se também teoricamente as diferenças entre os ganhos obtidos do gerador tipo DFIG com frente ao gerador tipo FSIG e a partir de análise comparativa de um sistema de geração utilizando máquinas do tipo DFIG e suas simulações apresentadas por meio de diagramas de blocos.

Após o levantamento teórico que embasa este trabalho é possível notar os aspectos físicos para modelagem de uma turbina acoplada em um gerador eólico. Essa base de conhecimentos teóricos é apresentada com o intuito de capacitar a leitura, e a análise dos resultados.

## REFERÊNCIAS

ACKERMANN, T. (2005). **Wind Power in Power Systems**, 1.ed., John Wiley & Sons, Ltd, UK.

ANAYA-LARA, O., Jenkins, N., Ekanayake, J., Cartwright, P., Hughes, M. (2009). **Wind Energy Generation: Modelling and Control**, 1.ed., Wiley, UK.

BAINY, R.G. (2015). **Análise do comportamento transitório de geradores distribuídos eólicos e fotovoltaicos conectados num mesmo alimentador**. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Foz do Iguaçu-PR.

BURTON, T., Sharpe, D., Jenkins, N., Bossanyo, E. (2001). **Wind Energy Handbook**, John Wiley & Sons, Chichester, UK.

DA SILVA, H.J.B. (2014). **Análise estática e dinâmica de parques eólicos mistos compostos por aerogeradores de velocidade fixa e variável**, Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Pará, Belém-PA.

FEIJOÓ, A., Cidrás, J., Carrillo, C. (2000). **A third order model for the doubly-fed induction machine**, Electric Power Systems Research 56(2): 121–127.

HANSEN, D.A., HANSEN, L.H. (2007). **Market penetration of wind turbine concepts over the years**, EWEA 07, Milan, Italy, p. 81–97.

HOLDSWORTH, L., Wu, X.G., Ekanayake, J., Jenkins, N. (2003). **Direct solution method for initialising doubly-fed induction wind turbines in power system dynamic models**, IEE Proceedings - Generation, Transmission and Distribution.

NAKATA, Bruno Hideki. **Análise do controle de aerogeradores de indução duplamente alimentados e do perfil de tensão em redes de subtransmissão**. São Paulo, 2018.

NUNES, M. V. A. et al. **Novas estratégias de controle fuzzy aplicadas ao conversor do DFIG para melhoria da estabilidade transitória em sistema eólicos**. IEEE America transactions,[s.l.],v.5, n.3, 2003.

RHODE, Thiago. **Interação dinâmica de aerogeradores de indução DFIG e FSIG conectados em um mesmo alimentador de distribuição**. Dissertação (mestrado), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2019.

TARNOWSKI, G.C. (2006). **Metodologia da regulação da potência ativa para operação de sistemas de geração eólica com aerogeradores de velocidade variável**, Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS.

TANG,Y.; XU, L. **A Flexible active and reactive power control strategy for avariable speed constant frequency generating system**. IEEE Transactions on Power Electronics, [s.l.],v.10,n.4, p.472-478, 1995.

TAPIA, G.; TAPIA, A. **Wind generation optimization algorithm for a doubly fed induction generator**. IEE Proceedings Generation, Transmission and Distribution, [s.l.], v.152, n.2,p.253-263,2005.

## **AUTORES**

**Natália Cornélia Silva Campos**, graduanda do Curso de Engenharia Elétrica na Universidade do Estado de Minas Gerais - UEMG /Unidade Ituiutaba, estudante do Grupo de Pesquisa em Engenharia, Tecnologia e Ciências Exatas – GPETEX.  
nataliacornelia@hotmail.com

**Hélio Oliveira Ferrari**, bacharel em engenharia elétrica pela Faculdade de Engenharia de Barretos, doutor em engenharia elétrica pela Universidade Federal de Uberlândia, Professor do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica, UEMG/Unidade Ituiutaba, pesquisador do Grupo de Pesquisa em Engenharia, Tecnologia e Ciências Exatas –GPETEX  
helio.ferrari@uemg.br