

## Modelagem Simplificada de uma Turbina Eólica para Estudos Dinâmicos em um Sistema Elétrico de Potência<sup>1</sup>

Lucas Sinatra da Silva Camargo<sup>2</sup>, Fernando Buzzulini Prioste<sup>3</sup>

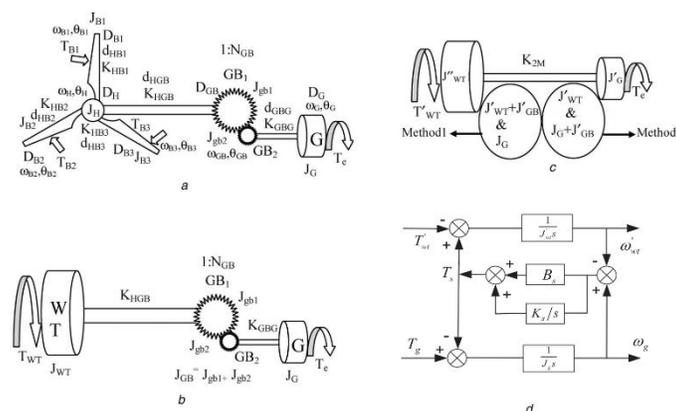
<sup>1</sup>Vinculado ao projeto “Modelagem e Controle Aplicados a Sistemas Elétricos de Potência”

<sup>2</sup>Acadêmico do Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica – CCT – Bolsista PROBIC/UDESC.

<sup>3</sup>Orientador, Departamento de Engenharia Elétrica – CCT – fernando.prioste@udesc.br

Este trabalho de pesquisa tem como objetivos efetuar a modelagem dinâmica de uma turbina eólica, inseri-lo em um programa de simulação de Sistemas Elétricos de Potência (SEP) e realizar análises de simulações. Para tal, o modelo dinâmico da turbina eólica escolhido para estudo consiste em um modelo de duas massas acopladas por um eixo não ideal, ou seja, o mesmo está sujeito a efeitos torcionais. Na maioria dos estudos dinâmicos realizados em SEP, é costume considerar as máquinas primárias e os geradores como sendo uma única massa concentrada. Este tipo de modelagem pode ocasionar em resultados não condizentes com a realidade, mascarando comportamentos dinâmicos que podem afetar não só a estabilidade transitória do sistema, mas também ocasionar problemas de qualidade de energia elétrica bem como a redução de vida útil de partes mecânicas da turbina eólica devido à fadiga.

Assim, este trabalho apresentará como as partes mecânicas de uma turbina eólica e gerador podem ser representadas e como se pode chegar em um modelo mecânico reduzido equivalente composto apenas por duas massas. Conforme pode se observar na Figura 1-a, uma turbina eólica pode ser representada por um modelo de seis massas (inércias - J), correspondentes às três inércias das pás, a inércia do Hub, a inércia da caixa de engrenagens e a inércia do gerador. Além disso, tem-se também as constantes de elasticidade (K) e de amortecimento (d ou B) que estão presentes no modelo. O processo de simplificação estudado consiste então em, a partir da configuração da Figura 1-a, chegar ao modelo apresentado na Figura 1-c passando pelo modelo intermediário da Figura 1-b.

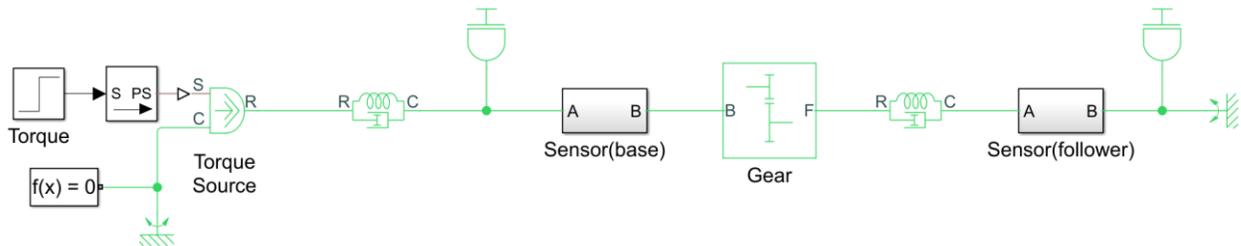


**Figura 1.** Processo de simplificação do eixo e esquema de blocos teórico. (a) Seis Massas – (b) Três massas – (c) Duas Massas – (d) Diagrama de blocos do modelo

A partir das leis de Newton aplicadas ao sistema da Figura 1-c, pode-se chegar ao modelo dinâmico (1) na forma de espaço de estados, representado na forma de diagrama de blocos da Figura 1-d.

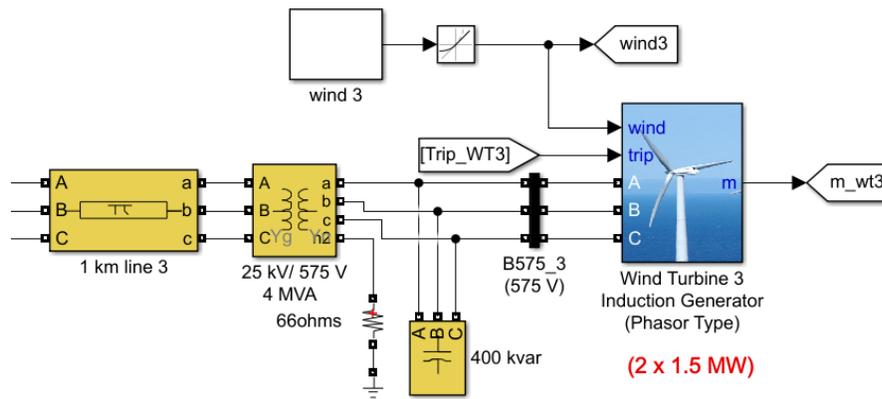
$$\begin{bmatrix} \dot{\theta}_s \\ \dot{\omega}'_{wt} \\ \dot{\omega}_g \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 1 \\ \frac{K_s}{J'_{wt}} & -\frac{B_s}{J'_{wt}} & \frac{B_s}{J'_{wt}} \\ -\frac{K_s}{J_g} & \frac{B_s}{J_g} & -\frac{B_s}{J_g} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta_s \\ \omega'_{wt} \\ \omega_g \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} T'_{wt} \quad (1)$$

O modelo matemático obtido pode ser usado para análise de autovalores e cálculo da frequência de torção do eixo, a partir do uso de parâmetros típicos de turbinas eólicas. Também é possível realizar a comparação de resultados do modelo dinâmico obtido com um modelo criado no *Simulink*, Figura 2, que consiste no modelo análogo ao da Figura 1-b.



**Figura 2.** Modelo equivalente de uma turbina eólica representado por duas massas, eixos e sistema de engrenagens.

A fim de analisar os efeitos da modelagem da turbina eólica considerando a torção do eixo de acoplamento turbina-gerador, espera-se ainda inserir tal modelo em um SEP similar ao apresentado na Figura 3.



**Figura 3.** Sistema elétrico de potência com geração eólica.

**Figura 3.** Modelo de um Sistema Elétrico de Potência com geração eólica.

**Palavras-chave:** Sistemas Elétricos de Potência. Turbinas eólicas. Modelagem matemática.