

ESTUDO E ANÁLISE DE VIBRAÇÕES EM AEROGERADORES

Palavras-Chave: Turbinas Eólicas, Modelagem, Vibrações

Autores/as:

Lucca de Melo Pereira Miranda, FEM, Unicamp

Prof.^(a) Dr.^(a) Tiago Henrique Machado (orientador), FEM, Unicamp

INTRODUÇÃO:

Este trabalho, tem como objetivo analisar os esforços exercidos em aerogeradores em diferentes configurações, “*onshore*” e “*offshore*”. Através dessa análise, é possível estudar as vibrações em diferentes geometrias e configurações de turbinas.

METODOLOGIA:

Este trabalho utilizou como ferramenta principal o OpenFAST, um software “*open source*” desenvolvido pelo “National Renewable Energy Laboratory”.

Dentro do software, foram utilizados os casos base fornecidos pelo “NREL”, disponibilizados junto à instalação do programa. Existem diversos casos base de turbinas com eixo horizontal, mas focamos inicialmente em três casos que abrangem a maioria das geometrias encontradas no mercado atual de energia eólica.

O primeiro caso simulado foi o da turbina “5MW_Land_DLL_WTurb”, que se trata de uma turbina “*onshore*” de 5MW padrão.

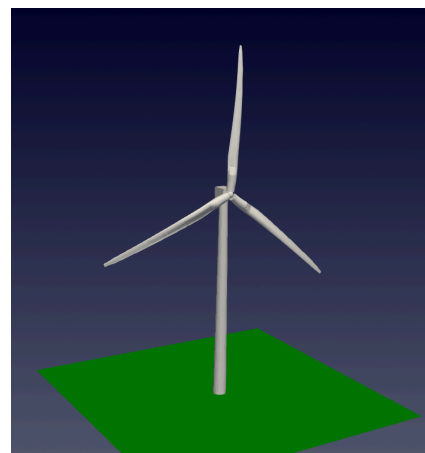


Ilustração 1 - 5MW_Land_DLL_WTurb

O segundo caso simulado foi o “5MW_OC3MnpI_DLL_WTurb_WavesIrr”, que se trata de uma turbina “*offshore*” de 5MW, fixada ao assoalho marítimo com uma estrutura monopilar.

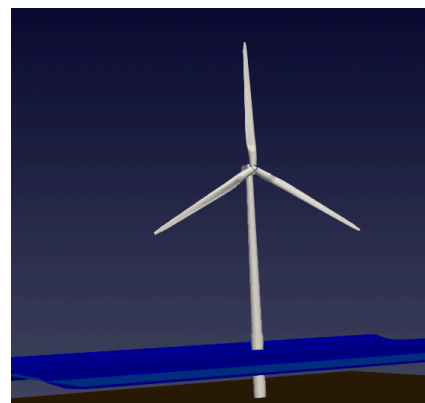


Ilustração 2 - 5MW_OC3MnpI_DLL_WTurb_WavesIrr

O terceiro caso simulado foi o “5MW_ITIBarge_DLL_WTurb_WavesIrr”, que é referente à turbina “offshore” de 5MW, ela é fixada em uma estrutura flutuante que é ligada ao assoalho marítimo por três cabos de aço.

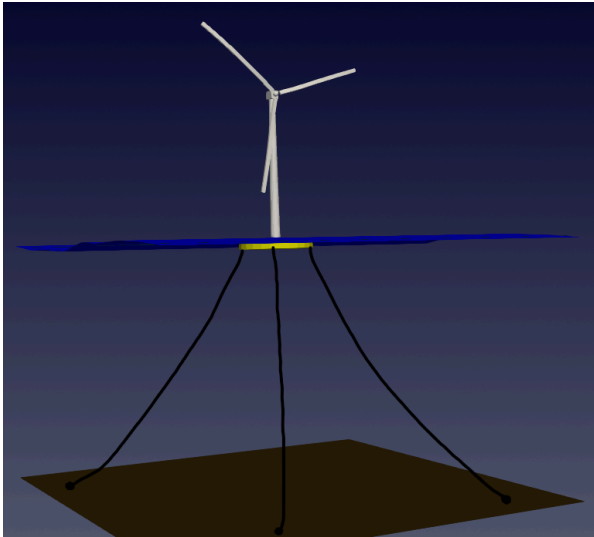


Ilustração 3 - 5MW_ITIBarge_DLL_WTurb_WavesIrr

As ilustrações fornecidas acima foram retiradas da simulação gerada pelo OpenFAST e montadas pelo software de visualização “Paraview”.

Para todas as simulações, foi estabelecida uma velocidade de corrente livre para o ar de 12 m/s, sendo solicitado para o programa uma simulação de escoamento turbulento do ar nas pás da tubina. Portanto, para as três simulações geradas o regime de escoamento é semelhante. A seguir serão fornecidos os gráficos da velocidade do vento nas pás nas direções x, y e z.

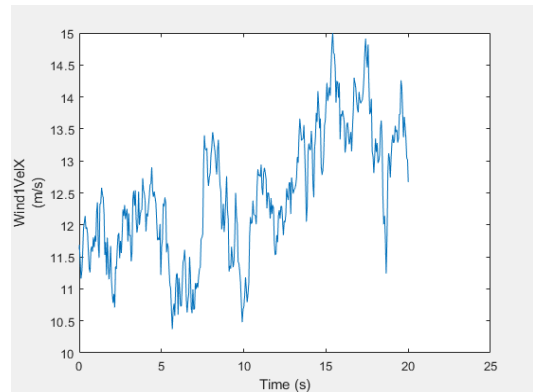


Gráfico 1 - Velocidade do Vento (direção x)

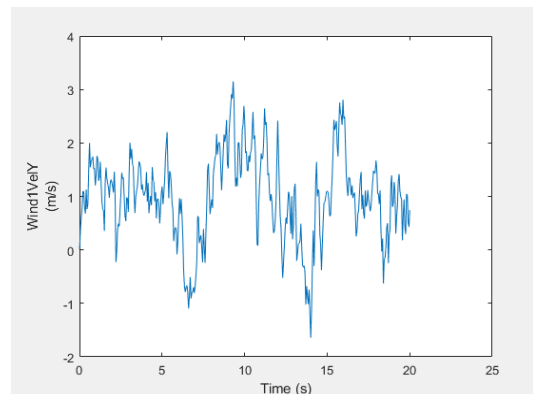


Gráfico 2 - Velocidade do Vento (direção y)

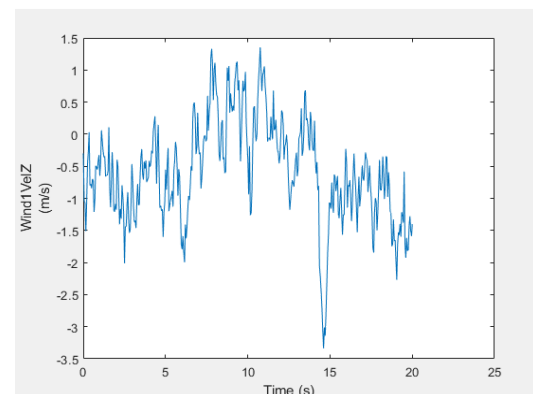


Gráfico 3 - Velocidade do Vento (direção z)

Como resultados relevantes para a análise de vibrações, foram analisadas as forças e momentos em diferentes regiões da estrutura das turbinas, sendo elas na raiz das pás e na base da torre. Ilustramos a seguir o sistema de coordenadas estabelecidos pelo software para essas estruturas estudadas. As imagens utilizadas a seguir foram retiradas do manual do usuário fornecido pelo NREL.

Torre (Base)

Este sistema de coordenadas é fixado no suporte da plataforma, logo, ele translaciona e rotaciona juntamente com a plataforma.



Figura 1 - Sistema de Coordenadas Torre (Base)

Coordenadas Cônicas

É um sistema de coordenadas cônico que gira junto com o rotor. Ele é definido para cada uma das pás. Esse sistema não inclina junto às pás. Sua origem é centrada no “Hub”.

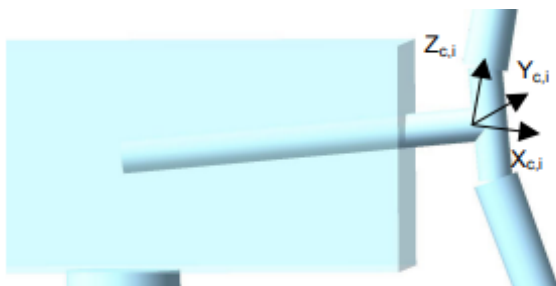


Figura 2 - Sistema de Coordenadas Cônicas

Coordenadas das Pás

Este sistema de coordenadas é semelhante ao sistema de coordenadas cônicas, a principal diferença é que este sistema inclina junto às pás e sua origem é centrada na raiz das pás.

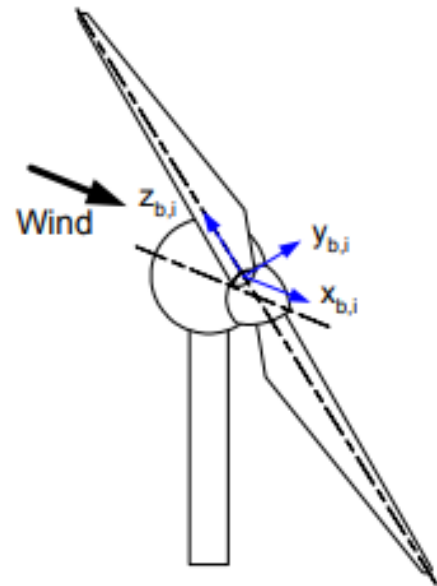


Figura 3 - Sistema de Coordenadas das pás

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Analizando inicialmente as forças e momentos exercidos na raiz das pás, encontramos os valores máximos semelhantes para as três configurações. Na turbina “onshore”, encontramos aproximadamente 770 kN e 14000 kN.m. Na turbina “offshore” com estrutura monopilha, encontramos aproximadamente 850 kN e 12500 kN.m. Na turbina “offshore” com estrutura flutuante, encontramos aproximadamente 940 kN e 14200 kN.m.

Através dos valores máximos encontrados, é plausível concluir que a estrutura ser “onshore” ou “offshore” não influencia tanto nos esforços sentidos pelas pás.

Dessa vez, analisando as forças e momentos exercidos na base da torre, encontramos certa discrepância entre os valores máximos obtidos para as três configurações. Na turbina “*onshore*”, encontramos aproximadamente 6840 *kN* e 115000 *kN.m*. Na turbina “*offshore*” com estrutura monopilha, encontramos aproximadamente 8550 *kN* e 175000 *kN.m*. Na turbina “*offshore*” com estrutura flutuante, encontramos aproximadamente 8250 *kN* e 250000 *kN.m*.

Apesar de os valores estarem em ordens de grandeza semelhantes, é possível visualizar que as estruturas “*offshore*” apresentam maiores valores de forças e momentos, isso é esperado, pois além da influência do vento existe a influência das ondas na estrutura.

CONCLUSÕES:

O desenvolvimento desse trabalho encontrou dificuldades na utilização do software de simulação, contudo, ao fim do desenvolvimento deste projeto, já é possível gerarmos análises mais profundas dos esforços submetidos às estruturas de um aerogerador em diferentes configurações. Os resultados aqui apresentados demonstram uma pequena porção da capacidade do programa de gerar dados.

Observando os valores obtidos, podemos observar uma pequena influência da configuração do aerogerador nos esforços sofridos pelas pás. Para o controle de vibrações nessa estrutura específica, é interessante realizar um novo estudo com a utilização das

tecnologias de controle ativo de “*pitch*” e “*yaw*”, a primeira regula a angulação das pás, alterando o ângulo de ataque do vento, assim regulando os esforços sofridos por ela. O controle ativo de “*yaw*” regula a orientação da turbina em relação à direção do vento, assim alterando também os esforços e a potência. A análise inicial deste projeto se limitou à região da raiz das pás, visto que foram encontrados maiores valores de forças e momentos naquela região, que por ser uma ligação entre as pás e o rotor sofre maiores riscos de falha.

Desta vez, observando os valores obtidos para a base da torre, que foi a região que encontramos maiores valores de forças e momentos na torre, observamos certa diferença entre os valores apresentados por cada configuração. A configuração de turbinas “*offshore*” apresentaram maiores valores comparadas com a sua versão “*onshore*”. Como mencionado anteriormente, isso é plausível, visto que elas sofrem influência das ondas junto ao vento. É interessante, para a configuração de estrutura flutuante uma maior atenção no controle das vibrações, visto que existe também o caso de vibração causada por oscilação de suporte. Possíveis formas de controle de vibrações para a torre dos aerogeradores são ferramentas de controle passivo, como os amortecedores de massa sintonizada e amortecedores de fluido viscoso.

Em uma possível continuação do estudo, seria interessante a compreensão e utilização da ferramenta de linearização do software, que permite uma análise mais profunda do controle das vibrações através das equações de movimento do sistema.

BIBLIOGRAFIA

NREL (National Renewable Energy Laboratory). *OpenFAST Documentation*.

Disponível em:

<<https://openfast.readthedocs.io/en/main/index.html>>.

JONKMAN, Jason M.; BUHL Jr., Marshall L.

FAST User's Guide. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory, 2005. Technical Report NREL/EL-500-38230. Disponível em:

<https://openfast.readthedocs.io/en/main/downloads/d8bd014121d6505cb25cf49bee5eaa80/Original_FAST6_UsersGuide.pdf>.

KARNOPP, Nicolas Rusch. Controle ativo de vibrações em torres de aerogeradores. 2019. 83 f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Porto Alegre, 2019.