



Fundação Universidade Federal do ABC

Pró reitoria de pesquisa

Av. dos Estados, 5001, Santa Terezinha, Santo André/SP, CEP 09210-580

Bloco L, 3ºAndar, Fone (11) 3356-7617

iniciacao@ufabc.edu.br

Projeto de Iniciação Científica submetido  
para avaliação no Edital 04/2022

**Título do projeto:** Simulação dos transitórios elétricos em Turbinas Eólicas

**Palavras-chave do projeto:** energia eólica, FAST, simulação de aerogeradores

**Área do conhecimento do projeto:** Engenharia

## Sumário

<b>1 Resumo</b>	<b>2</b>
2 Introdução e Justificativa	2
3 Objetivos	3
4 Metodologia	4
5 Viabilidade	4
6 Cronograma de atividades	5
Referências	6

## 1 Resumo

O consumo de energia elétrica no Brasil, de acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), estatal vinculada ao Ministério de Minas e Energia, apresentou um crescimento considerável nos últimos anos, principalmente em função do progresso econômico e tecnológico. Em contrapartida surgem as fontes de energias renováveis, como a solar, eólica e hidrelétrica, que promovem a sustentabilidade e possuem potencial para atender a demanda energética. Compreender e modelar a conversão de energia eólica (energia cinética dos ventos) em energia elétrica é de extrema importância para prever e avaliar a potência que pode ser gerada num parque eólico. Há modelos matemáticos, implementados em recursos computacionais, para o estudo desta conversão, entre eles o FAST, gratuito, disponibilizado pelo NREL.

O presente estudo visa avaliar o uso de modelos para estudar a dinâmica eletromecânica desta conversão de energia, agregando conhecimento acerca da história da geração eólica, sua expansão, tecnologias e obstáculos, tipos de aerogeradores e suas propriedades, conversão e qualidade de energia e desafios da integração da mesma na rede elétrica. Fundado nisso será feita, por meio de revisão bibliográfica e estudo do FAST, uma análise desses transitórios por meio da simulação de aerogeradores.

## 2 Introdução e Justificativa

O interesse no uso de combustíveis fósseis teve seu auge no século XIX e XX com a Revolução Industrial, entretanto atualmente, no século XXI, com problemas de abastecimento, escassez de reservatórios e mais recentemente a preocupação com a emissão de gases poluentes na atmosfera, surgiu a necessidade de ampliar e diversificar a matriz energética considerando os princípios da sustentabilidade ambiental nacional e planetária. Além de questões geopolíticas, vale salientar que o petróleo é um recurso não renovável e gerador de gases que produzem o efeito estufa. Por isso, já há um consenso de grande parte dos países

pela substituição dessa fonte de energia por alternativas mais amigáveis ao meio ambiente (VILAR, 2021).

As fontes de energia renovável, a princípio, são inesgotáveis, ou seja, possuem a capacidade de se regenerar continuamente. As fontes renováveis, em comparação com as fontes de energia fóssil, como petróleo e carvão mineral, são capazes de reduzir significativamente o nível de emissões de gases poluentes na atmosfera. O potencial hidráulico, a radiação solar, a força dos ventos, a energia das marés e das ondas, e a temperatura do centro da Terra são exemplos de fontes de energia renovável (GOLDEMBERG et al, 2007).

No presente, segundo dados do Ministério de Minas e Energia, cerca de 50% da matriz energética brasileira é renovável, em sua maioria provinda das grandes hidrelétricas. Além disso, de acordo com dados do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), desses quase 50%, 10,9% são oriundos de energia eólica. A expansão da geração eólica nas últimas décadas foi fortemente sentida em diversos países como o Brasil, que terminou 2020 em quinto lugar na lista de países, divulgada pelo Conselho Global de Energia Eólica (GWEC, na sigla em inglês), com a maior capacidade eólica instalada no mundo e em primeiro lugar na América do Sul (ENERGIA, 2021; REVE, 2021).

Por outro lado, é de extrema importância que a energia que chega nas casas dos brasileiros seja segura e de qualidade. Para classificar a energia elétrica de acordo com sua qualidade, tem-se que tratar de vários problemas que afetam os consumidores, sejam eles diretos ou indiretos. Esses problemas vão desde os incômodos visuais provocados pela variação luminosa devido à má regulação da tensão, até a interferência em equipamentos eletrônicos sensíveis, causada por interrupções no fornecimento de energia ou por fenômenos de mais alta frequência. Dentre esses distúrbios está a distorção harmônica que caracteriza-se pela distorção na forma senoidal do sinal de tensão ou corrente alternada (DECKMANN, 2018).

Dessa maneira, essa pesquisa faz-se relevante para que futuramente, no Brasil, o uso de fontes renováveis de energia possuam uma relevância cada vez maior na matriz energética brasileira. O uso das ferramentas de simulação escolhidas permitirá à discente não apenas compreender com mais objetividade o problema estudado como a capacitará para um uso cada vez mais comum na indústria do FAST.

### 3 Objetivos

O objetivo desta pesquisa é entender e avaliar os impactos que a geração de energia eólica estabelece, sejam eles econômicos, sociais ou ambientais, e demonstrar como o uso de softwares e tecnologias podem auxiliar na instauração de parques eólicos, analisando sua viabilidade e riscos, favorecendo, desse modo, a diminuição de erros e despesas, com o intuito de facilitar a implementação desse tipo de energia na matriz energética brasileira e contribuir, futuramente, com a mitigação desses impactos. Para isso será utilizado o programa TurbSim para gerar campos de velocidade turbulenta espaço-temporais em conjunto com o programa FAST, desenvolvido pela NREL, empregado na modelagem de aerogeradores.

## 4 Metodologia

Para este estudo foi escolhido o método de pesquisa de simulação com a finalidade de analisar impactos da rede elétrica no comportamento de aerogeradores, partindo de uma revisão bibliográfica composta por teses, dissertações, livros e artigos científicos sobre o tema. Para isso, a pesquisa será baseada na compreensão dos conceitos de fontes renováveis de energia (etapa 1), com enfoque em geração de energia eólica, parques eólicos, potencial energético brasileiro, dinâmica de aerogeradores, conversão de energia, distorções harmônicas, entre outros tópicos relacionados ao assunto. Entretanto, é importante salientar que a bibliografia tende a aumentar na medida em que a leitura for sendo desenvolvida. Também será necessária uma investigação sobre o software de simulação escolhido, suas principais ferramentas, ambiente de trabalho, linguagem de programação utilizada, etc. para que, assim, seu ambiente se torne habitual e de fácil manejo.

Partindo dos conceitos que serão estudados, será escolhido um problema central (etapa 2) e, partindo disso, o trabalho analisará como esse problema afeta o funcionamento de aerogeradores e vice-versa, assim como a importância da mitigação desse problema. Fundado nisso, serão simuladas situações que representem este problema (etapa 3) em aerogeradores com características específicas submetidos às condições que levam ao problema encontrado a partir da pesquisa. Em seguida, esses dados passarão por uma análise descritiva baseando-se no que foi aprendido durante a revisão bibliográfica.

O estudo terá caráter essencialmente qualitativo, com ênfase na observação e estudo documental, ao mesmo tempo que será necessário o cruzamento dos levantamentos com toda a pesquisa bibliográfica já feita. Em seguida, os dados obtidos serão analisados com o auxílio computacional para projeção desses dados.

## 5 Viabilidade

Por se tratar de uso de software gratuito, não há custos envolvidos que impeçam a realização do trabalho. Entretanto, o uso dos softwares TurbSim e do FAST exige sua instalação no computador do aluno. Apesar de serem softwares livres de referência no mercado e da existência de um número muito grande de informações sobre sua instalação, há dificuldades neste processo. O software já foi instalado pela discente no seu computador pessoal e passou por alguns testes iniciais, como descrito nos próximos parágrafos. Estes fatos garantem a viabilidade do uso da ferramenta.

O FAST na versão 8 pode ser executado por meio do prompt de comandos do Windows 11 (sistema operacional empregado), a partir dele é possível simular um aerogerador submetido a um regime de ventos gerados pelo TurbSim. O software disponibiliza uma biblioteca de modelos prontos, através deles é possível editar as propriedades do aerogerador como quantidade de pás, localização da turbina (onshore ou offshore), condições iniciais de rotação, entre outras. Então é gerado um arquivo que mostra o comportamento da turbina em relação aos ventos gerados em formato de tabela, cada coluna é um parâmetro da turbina que pode ser utilizado neste estudo (Imagem 1).

Predictions were generated on 30-May-2022 at 16:25:13 using FAST (v8.16.00a-bjj, 27-Jul-2016), compiled as a 32-bit application using single precision linked with NWTCT Subroutine Library (v2.09.00, 23-Jul-2016); ElastoDyn (v1.04.00a-bjj, 26-Jul-2016); InflowWind (v3.03.00, 26-Jul-2016); AeroDyn14 (v14.05.01a-bjj, 2

Description from the FAST input file: FAST Certification Test #01: AWT-27CR2 with many DOFs with fixed yaw error and steady wind

Time (s)	Wind1VelX (m/s)	Wind1VelY (m/s)	Wind1VelZ (m/s)	LSSGagVxa (rpm)	LSSGagPxa (deg)	TeetDef1 (deg)	TipDxb2 (m)	TipDyb2 (m)	TipALxb2 (m/s^2)	TipALyb2 (m/s^2)	Spn2ALxb1 (m/s^2)	Spn2ALyb1 (m/s^2)	YawBrRDxt (deg)
10.0000	1.039E+01	-6.000E+00	0.000E+00	5.428E+01	1.830E+01	9.530E-01	1.622E-01	-2.519E-02	7.221E+01	-6.392E-01	2.749E+01	2.372E+00	3.381E-02
10.0200	1.039E+01	-6.000E+00	0.000E+00	5.428E+01	2.482E+01	8.770E-01	1.590E-01	-2.498E-02	7.226E+01	1.296E+00	2.816E+01	2.163E+00	3.373E-02
10.0400	1.039E+01	-6.000E+00	0.000E+00	5.429E+01	3.133E+01	7.891E-01	1.592E-01	-2.419E-02	6.886E+01	1.769E+00	2.958E+01	2.305E+00	3.358E-02
10.0600	1.039E+01	-6.000E+00	0.000E+00	5.429E+01	3.784E+01	6.903E-01	1.613E-01	-2.288E-02	6.490E+01	8.834E-01	3.038E+01	2.563E+00	3.337E-02
10.0800	1.039E+01	-6.000E+00	0.000E+00	5.429E+01	4.436E+01	5.834E-01	1.642E-01	-2.157E-02	6.362E+01	-4.656E-01	3.017E+01	2.708E+00	3.313E-02
10.1000	1.039E+01	-6.000E+00	0.000E+00	5.429E+01	5.087E+01	4.697E-01	1.670E-01	-2.086E-02	6.443E+01	-9.727E-01	2.934E+01	2.631E+00	3.285E-02
10.1200	1.039E+01	-6.000E+00	0.000E+00	5.428E+01	5.739E+01	3.498E-01	1.698E-01	-2.093E-02	6.523E+01	-1.834E-01	2.871E+01	2.386E+00	3.251E-02
10.1400	1.039E+01	-6.000E+00	0.000E+00	5.428E+01	6.390E+01	2.249E-01	1.727E-01	-2.146E-02	6.491E+01	1.239E+00	2.874E+01	2.122E+00	3.211E-02
10.1600	1.039E+01	-6.000E+00	0.000E+00	5.429E+01	7.042E+01	9.619E-02	1.754E-01	-2.192E-02	6.375E+01	2.268E+00	2.922E+01	1.971E+00	3.164E-02
10.1800	1.039E+01	-6.000E+00	0.000E+00	5.429E+01	7.693E+01	-3.497E-02	1.772E-01	-2.194E-02	6.279E+01	2.296E+00	2.966E+01	1.978E+00	3.117E-02
10.2000	1.039E+01	-6.000E+00	0.000E+00	5.430E+01	8.345E+01	-1.667E-01	1.779E-01	-2.153E-02	6.281E+01	1.461E+00	2.978E+01	2.112E+00	3.074E-02

Imagem 1: tabela de parâmetros gerada a partir de Test01

Para o recorte da pesquisa da segunda etapa do projeto, os estudos teóricos iniciais vão dar a segurança necessária para que a discente possa participar ativamente neste processo de seleção. Entre os recortes de efeitos da rede na turbina possíveis de ocorrer em sistemas elétricos, um que já está previsto para ser avaliado é o transitório de rejeição de carga, pois é relativamente simples de ser simulado e ainda mais simples de ser compreendido pela discente em formação.

## 6 Cronograma de atividades

1. Etapa 1: Revisão bibliográfica
  - a. Etapa 1.a. – Levantamento Bibliográfico Preliminar
  - b. Etapa 1.b. – Levantamento do aspecto de qualidade de energia representável pelo aluno no software
  - c. Etapa 1.c. – Estudo do software escolhido
2. Etapa 2: Preparação do problema a ser simulado
  - a. Etapa 2.a. – Identificação do Problema
  - b. Etapa 2.b. – Formulação de Hipóteses de simulação
  - c. Etapa 2.c. – Aplicação do Modelo
3. Etapa 3: Simulações
  - a. Etapa 3.a. – Resultados Obtidos
  - b. Etapa 3.b. – Interpretação e análise dos resultados
  - c. Etapa 3.c. – Redação do Trabalho (será simultânea a todas as etapas)

Tabela 1 – cronograma de atividades previstas

Etapa	Mês											
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
1.a.	X	X	X									
1.b.		X	X	X								
1.c.			X	X	X							
2.a.		X	X	X	X	X						
2.b.					X	X	X					
2.c.						X	X	X				
3.a.				X	X	X	X	X	X			
3.b.							X	X	X	X		
3.c.									X	X	X	X

## Referências

ENERGIA renovável chega a quase 50% da matriz energética brasileira. 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2021/08/energia-renovavel-chega-a-quase-50-da-matriz-eletrica-brasileira-1>>. Acesso em: 24 mar. 2022.

Empresa de Pesquisa Energética (EPE); ANUÁRIO ESTATÍSTICO DE ENERGIA ELÉTRICA 2020. Junho, 2020. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/EPEFactSheetAnuario.pdf>>.

VILAR, J. W. C. Dos Combustíveis Fósseis às Energias Limpas. 2021. Disponível em: <[https://cesad.ufs.br/ORBI/public/uploadCatalogo/15400216022012Geografia\\_da\\_Producao\\_Circulacao\\_e\\_Consumo\\_Aula\\_10.pdf](https://cesad.ufs.br/ORBI/public/uploadCatalogo/15400216022012Geografia_da_Producao_Circulacao_e_Consumo_Aula_10.pdf)>.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O.; *Energias renováveis: um futuro sustentável*. Revista Usp, n. 72, p. 6-15, 2007.

REVE; Top 10 countries in wind energy capacity. Espanha, 2021. Disponível em: <<https://www.evwind.es/2021/05/24/top-10-countries-in-wind-energy-capacity/80896>>.

DECKMANN, S. M.; POMILIO, J. A.; Avaliação da Qualidade da Energia Elétrica. UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS. FEEC, p.4, 2018 Disponível em: <<https://www.drb-m.org/av1/a1avaliacaodaqualidadedaenergia.pdf>>.

GIORDANI, D. S; Métodos de Pesquisa. USP, São Paulo. Disponível em: <<https://sistemas.eel.usp.br/docentes/arquivos/198273/LOQ4047/Aula2.MetodosdePesquisa.pdf>>.