



PROPOSTA DE TRABALHO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

1- IDENTIFICAÇÃO

Aluno candidato: Maria Luisa Barreto de Gois

CPF: 701.624.674-43

Professor orientador: Prof. Alex Maurício Araújo, D.Sc.

Professor coorientador: Prof. César Augusto Salhua Moreno, D.Sc.

Centro/Departamento: Centro de Tecnologia e Geociências (CTG)/Departamento de Engenharia Mecânica

Título do Trabalho Proposto: Estudo da Viabilidade Econômica de uma Usina Eólica Offshore para suprir a Demanda Energética da ilha de Itamaracá

2- INTRODUÇÃO:

Atualmente a matriz energética mundial depende fortemente do petróleo e seus derivados. Porém estas substâncias produzem sérios problemas ambientais como o aquecimento global e a poluição do meio ambiente. Estes problemas foram se tornando maiores ao longo das décadas devido à crescente demanda energética produzida pelo incremento da população mundial e a industrialização, OLIVEIRA FILHO(2011).

Para solucionar esta problemática, é preciso o desenvolvimento sustentável de fontes de energia limpas. Dentre as quais encontra-se a energia eólica, esta vem crescendo de forma notável nas últimas décadas, atualmente respondem por quase 10% da produção mundial de energia elétrica e 9% da produção brasileira, sendo o Brasil o 5º país com maior capacidade de geração eolielétrica instalada no mundo (BELTRÃO, 2021).

2.1- Caracterização do Problema

Em Pernambuco, a principal fonte de energia elétrica são as usinas termelétricas, que funcionam a partir da queima de combustível, e fornecem ao redor de 50% da energia do estado. Porém, a constância dos ventos e a boa intensidade da luz do sol em praticamente todo o estado são um grande atrativo para a implementação de usina eólicas e/ou solares. As usinas eólicas geram ao redor de 14% e as solares ao redor de 0,5% de toda a energia limpa de Pernambuco (ATLAS EÓLICO E SOLAR DE PERNAMBUCO, 2021) e essas porcentagens continuam crescendo cada ano.

As usinas solares e eólicas apresentam algumas semelhanças, como o custo para a compra e a instalação dos painéis e das turbinas, respectivamente. Entretanto, o rendimento dessas formas de geração de energia elétrica deve ser levado em conta diante da oferta da fonte de energia no local a ser estudado. Para o caso da Ilha de Itamaracá, os ventos são fortes e constantes, devido ao espaço insuficiente dentro da ilha para instalação de uma usina eólica ou solar, se fez necessário a instalação no mar. Sendo que o espaço necessário para a instalação de turbinas eólicas é menor, configura vantagens da energia eólica em relação à energia solar para este caso.

2.2- Justificativa

Segundo OLIVEIRA FILHO (2011), devido a qualidade dos ventos numa região offshore localizada a 5,5km da costa da Ilha de Itamaracá é possível abastecer a demanda energética desta com a produção anual de energia de 3 turbinas de 3MW. Porém, nesse trabalho não foi abordado um estudo de viabilidade econômica, principalmente porque no

Brasil ainda não existe regulamentação para a instalação de usinas eólicas offshore. Adicionalmente, a demanda energética da ilha cresceu de 28.667 MWh em 2010 para 36.989 MWh em 2020 (BASE DE DADOS DO ESTADO, 2021) e incrementa-se cada ano. Portanto, se faz necessária uma complementação ao estudo mencionado anteriormente. O presente trabalho propõe realizar uma análise de viabilidade econômica desta implementação, considerando a nova demanda energética atual e uma estimativa de incremento energético dentro da vida útil da fazenda eólica. Se utilizará as ferramentas numéricas para o projeto de fazendas eólicas PySAM e PyWake da NREL (2021) e se determinará o custo de energia mínimo que deveria ser ofertado num leilão de energia. Desta forma o presente estudo servirá como referência quando a legislação para este tipo de empreendimento esteja pronta.

2.3- Objetivos

- Fazer uma revisão bibliográfica exaustiva da metodologia aplicada para determinar a viabilidade econômica de fazendas eólicas, assim como os aspectos legais para sua instalação e produção.
- Dimensionar as turbinas da fazenda eólica.
- Encontrar o melhor local de instalação.
- Determinar o custo nivelado da energia produzida por uma fazenda eólica offshore.
- Determinar se a produção de energia eólica é economicamente viável.
- Determinar o custo de energia que viabilizaria o empreendimento.

3- FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1- Turbinas eólicas

As turbinas eólicas são equipamentos de conversão da energia dos ventos em energia elétrica. A velocidade de rotação das pás é transmitida e multiplicada dentro da turbina para ativar um gerador e fazê-lo produzir eletricidade. As grandes turbinas eólicas são ligadas a uma rede elétrica convencional ou a outros sistemas elétricos para a redistribuição da energia gerada. Este tipo de geração de energia é conhecido como uma das formas de energia renovável, as quais vêm crescendo mundialmente e sendo cada vez mais adotadas.

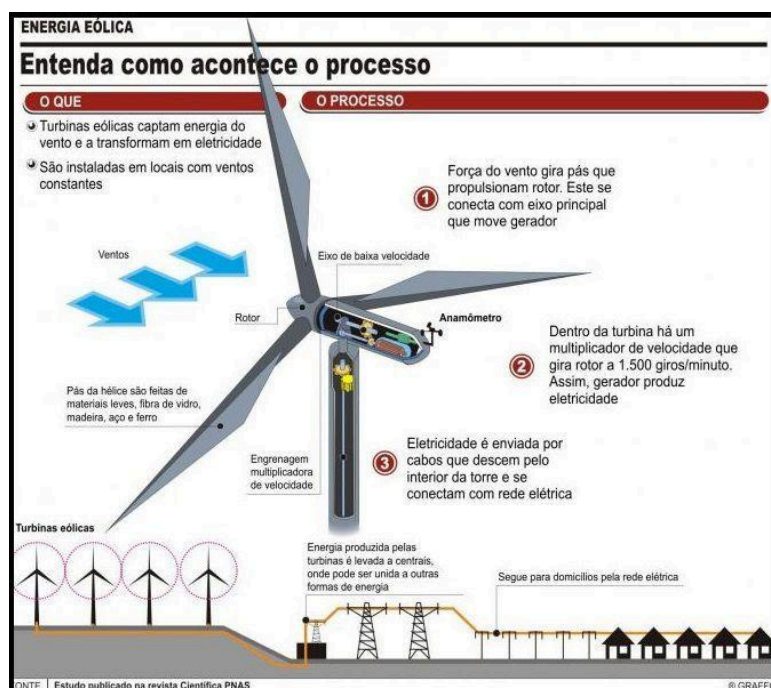


Figura 1 - Funcionamento de uma turbina eólica

a) Tipos de Turbinas Eólicas

As turbinas eólicas podem ser classificadas de acordo com o eixo direcional da rotação das pás. Elas podem ser de eixo horizontal ou vertical, sendo o primeiro tipo o mais comum e mais eficiente em termos de densidade de potência, e o segundo tipo, o que apresenta vantagens em relação à direção do vento (PINTO, 2017).

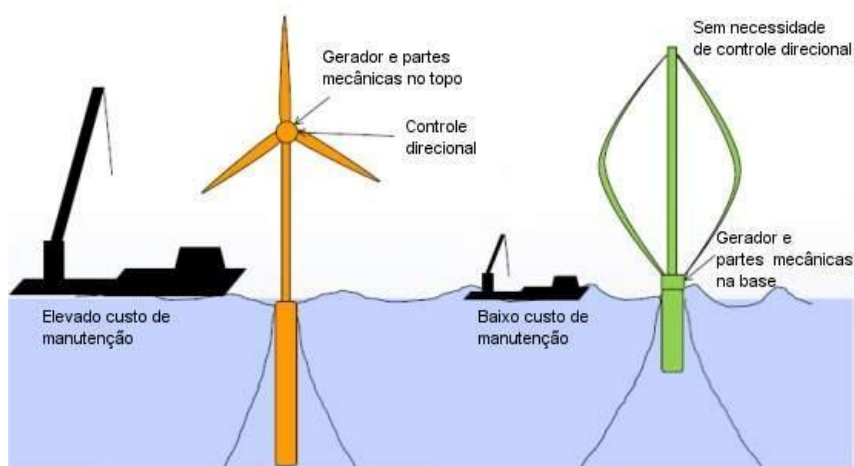


Figura 2 - Tipos de turbinas eólicas

b) Torque e Forças de Sustentação e Arrasto

A potência gerada pela rotação das pás de uma turbina eólica em razão do vento deve ser transmitida ao gerador através de um eixo, gerando um torque, que segue a formulação abaixo.

$$T = \frac{P}{\omega_t} \quad (1)$$

onde:

P: potência extraída do vento (W);

ω_t : velocidade angular do rotor (rad/s).

A geração de potência ocorre pelo uso das forças hidrodinâmicas resultantes da incidência do vento nas pás da turbina. Dependendo do tipo de turbina, a geração de potência ocorre pelo uso da força de sustentação (caso das turbinas de eixo horizontal) ou da força de arrasto. Estas forças são dependentes da velocidade de incidência e do ângulo de ataque do vento nas pás, como pode ser observado nas seguintes formulações para a força de sustentação (L) e de arrasto (D).

$$L = C_L * \frac{\rho}{2} * A * v^2 \quad (2)$$

$$D = C_D * \frac{\rho}{2} * A * v^2 \quad (3)$$

onde:

C_L : coeficiente de sustentação (depende do ângulo de ataque);

C_D : coeficiente de arrasto (depende do ângulo de ataque);

ρ : densidade do ar (kg/m³);

A: área da pá (m²);

v: velocidade de incidência do vento (m/s).

c) Curva de Potência de uma Turbina

O processo de geração de energia elétrica a partir do vento é irregular, pois depende de condições meteorológicas no local onde as turbinas estão instaladas, entre outros fatores. Para se estimar a potência gerada por uma turbina eólica, deve-se obter a curva de potências desta turbina, que é uma relação entre a potência gerada e a velocidade do vento. A curva identifica três pontos importantes da velocidade do vento na geração de energia: a velocidade necessária para que a turbina comece a produzir energia (cut-in), a velocidade na qual a turbina atinge a sua potência nominal e a velocidade em que a turbina deve ser desligada para evitar problemas estruturais (cut-out). Esta curva é necessária para determinar a produção anual de energia que uma fazenda eólica consegue gerar.

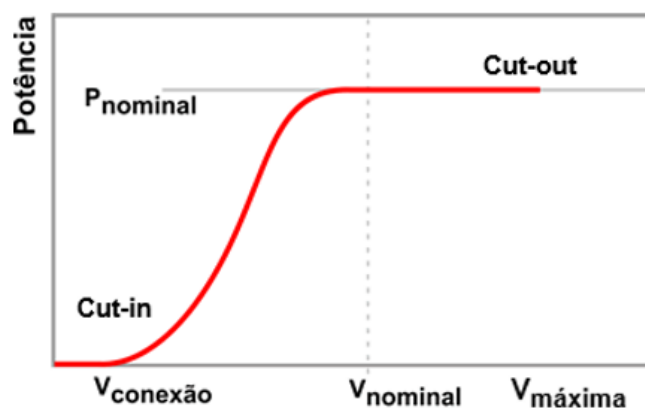


Figura 3 - Curva de potência de uma turbina

3.2- Análise da Viabilidade Econômica de uma Fazenda Eólica

O custo imediato de se adotar a energia eólica como fonte de energia elétrica é alto, porém, a longo prazo, este custo pode ser pago em um período menor do que a vida útil das turbinas eólicas instaladas e, a partir disso, gerar lucros em relação ao investimento. Esta análise leva em conta aspectos econômicos através de um estudo financeiro do custo de instalação, dos equipamentos e da manutenção destes, e como esse valor pode ser estimado para o período de atuação da usina como forma de analisar a compensação do investimento. Para este trabalho, esses resultados a serem obtidos vão indicar a viabilidade econômica do projeto mediante a demanda energética da Ilha de Itamaracá.

3.3- Ilha de Itamaracá

A Ilha de Itamaracá é um município do estado de Pernambuco. Ela é conhecida pelas suas praias, mas a sua localização geográfica pode oferecer mais à comunidade local além do atrativo turístico. A região possui ventos de altas velocidades que podem ser utilizados na geração de energia elétrica para suprir a demanda do município através da construção de turbinas eólicas.

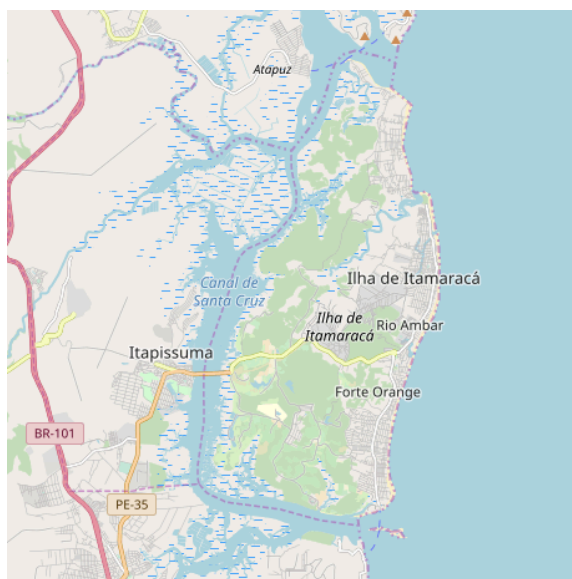


Figura 4 - Mapa da Ilha de Itamaracá

Em 2020, a Base de Dados do Estado divulgou que o consumo de energia elétrica da Ilha de Itamaracá nesse ano havia sido de 36.989 MWh. Estudos em regiões semelhantes vêm sendo realizados e apresentam resultados positivos para a adoção da energia eólica como suprimento da demanda elétrica do local estudado.

Analisando a geografia da Ilha de Itamaracá, pode-se observar a grande oferta de recursos necessários ao uso da energia eólica. A vasta área marítima disponível e os ventos de alta velocidade (de 12 a 14 m/s) no SE da ilha podem ser aproveitados para a implantação de uma usina eólica offshore para atender a demanda elétrica do município.

4- METODOLOGIA

A metodologia adotada é modular e composta pelas seguintes partes:

4.1- Atividade 1: Revisão bibliográfica

A aluna deverá estudar o tema através de pesquisas e armazenamento de referências bibliográficas para identificar as análises realizadas referentes ao tema e se familiarizar com o estudo da energia eólica como suprimento de demandas energéticas.

4.2- Atividade 2: Estudo das partes de uma turbina eólica e seu funcionamento

Deverá ser realizado um aprofundamento no funcionamento de uma turbina eólica e um detalhamento de suas partes para o dimensionamento das turbinas da usina eólica.

4.3- Atividade 3: Estudos das técnicas de avaliação da viabilidade econômica de uma fazenda eólica

Deverá ser realizada uma análise das técnicas de avaliação de viabilidade econômica disponíveis na literatura especializada, assim como dos principais fatores que a influenciam, como a Produção Anual de Energia (AEP), Custo Nivelado de Energia (LCOE), Período de

Operação (P), Taxa de Desconto, fluxo de caixa, entre outros, para sua aplicação no estudo para a Ilha de Itamaracá.

4.4- Atividade 4: Estudo da linguagem de programação Python

A linguagem de programação deverá ser estudada pela aluna para ser aplicada ao tema através da utilização dos softwares, baseados em Python, PySam e PyWake, desenvolvidos pela National Renewable Energy Laboratory (NREL).

4.5- Atividade 5: Elaboração do Relatório Parcial

A aluna de IC escreverá o relatório parcial, descrevendo as atividades executadas e os conhecimentos obtidos.

4.6- Atividade 6: Avaliação da produção de energia da Ilha de Itamaracá

Para estudar a viabilidade da aplicação de energia eólica na Ilha de Itamaracá, deverá ser analisado o histórico de demanda de energia elétrica da ilha, incluindo as suas variações anuais e as variações climáticas locais, a fim de se estimar a produção necessária para a usina eólica, mediante o software PyWake.

4.7- Atividade 7: Avaliação da viabilidade econômica da ilha de Itamaracá

Deverá ser avaliado o custo para a aplicação de energia eólica na geração de energia elétrica para atender a demanda da população, analisando o histórico do consumo elétrico da Ilha de Itamaracá e o custo atual da rede elétrica, para o qual será desenvolvido um código computacional baseado em Python e seus resultados comparados com o software PySam.

4.8- Atividade 8: Verificação do regulamento e leis para instalação de fazendas eólicas offshore

Para a análise final da viabilidade da aplicação de uma usina energia eólica na Ilha de Itamaracá, a aluna deverá averiguar os regulamentos e as leis para esta aplicação, assim como os alcances dos leilões para compra de energia de empreendimentos eólicos, organizados pelo Ministério de Energia e Minas (MME).

4.9- Atividade 9: Elaboração de Relatório Final

A aluna de IC escreverá o relatório final, descrevendo as atividades executadas, os resultados obtidos, as dificuldades encontradas, além de propor melhorias.

5- Resultados Esperados:

- Capacitação da aluna na área de viabilidade econômica e de aplicação de energia eólica;
- Contribuir com o desenvolvimento da metodologia para a análise da viabilidade econômica da implantação de uma usina de turbinas eólicas como suprimento de demanda energética;

- Dimensionamento de turbinas eólicas que atendam a demanda elétrica da Ilha de Itamaracá;
- Fornecer dados quantitativos que sirvam de base para uma possível produção de energia eólica na Ilha de Itamaracá;
- Publicações dos resultados obtidos em congressos e, possivelmente, em revistas científicas;
- Elaboração do relatório parcial e do relatório final.

6- Viabilidade de execução:

6.1- Infraestrutura

Os softwares, livros e documentos necessários para desenvolver as atividades que constam neste projeto encontram-se no **Laboratório de Mecânica dos Fluidos (LABMECFLU)** da UFPE (<https://www.ufpe.br/mecfluamb>). Da mesma forma, o acesso virtual a um dos computadores do laboratório será fornecido através da plataforma TeamViewer.

6.2- Auxílio técnico

A aluna será auxiliada pelos professores orientador e coorientador, assim como pelos professores e alunos integrantes do **LABMECFLU**.

7- Cronograma de atividades:

As atividades a serem realizadas são as seguintes:

Atividades	Mês											
	2021					2022						
	Set 1	Out 2	Nov 3	Dec 4	Jan 5	Fev 6	Mar 7	Abr 8	Mai 9	Jun 10	Jul 11	Ago 12
Atividade 1	X	X										
Atividade 2	X	X										
Atividade 3		X	X									
Atividade 4				X	X	X						
Atividade 5						X						
Atividade 6					X	X	X					
Atividade 7							X	X	X			
Atividade 8									X	X		
Atividade 9							X	X	X	X	X	X

Bibliografia



Universidade Federal de Pernambuco

Departamento de Engenharia Mecânica



- [1] ALBUQUERQUE, J. L. de. Caracterização Morfodinâmica e Vulnerabilidade À Erosão do Litoral Leste da Ilha de Itamaracá – PE, 2009. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade Federal de Pernambuco, 2009.
- [2] ATLAS EÓLICO E SOLAR DE PERNAMBUCO. Disponível em: <http://www.atlaseolicosolar.pe.gov.br/>. Acesso em 10/05/2021.
- [3] BASE DE DADOS DO ESTADO. Disponível em: http://www.bde.pe.gov.br/visualizacao/Visualizacao_formato2.aspx?CodInformacao=416&Cod=3. Acesso em 9 mai. 2021.
- [4] BELTRÃO, A. Incentivo à energia limpa em Pernambuco. Diário de Pernambuco, Pernambuco, 22 mar. 2021.
- [5] NREL, National Renewable Energy Laboratory: System Advisor Model (SAM). Disponível em: <https://sam.nrel.gov/>. Acesso em 10 mai. 2021.
- [6] OLIVEIRA FILHO, O. D. Q. de. Uma Metodologia Simplificada para Estimativa do Aproveitamento Eólico Offshore no Litoral Brasileiro, Estudo de Caso: a Ilha de Itamaracá/PE, 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Pernambuco, 2011.
- [7] OPENSTREETMAP. Disponível em: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/94/Mapa_do_Canal_de_Santa_Cruz.png. Acesso em 9 mai. 2021.
- [8] PINTO, M. O. Estudo Estimativo Básico para Implantação de Turbinas Eólicas Offshore no Litoral do Estado do Rio Grande do Norte, 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2017.

Maria Luisa Gois

Alex Mauricio Araújo
Professor orientador

Maria Luisa Barreto de Gois
Aluna candidata