

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE  
DARCY RIBEIRO

POLLYANA ROSA DOS SANTOS MARTINS NÓBREGA

LEVANTAMENTO DO POTENCIAL EÓLICO NO MAR PARA GERAÇÃO DE ENERGIA  
ELÉTRICA

Macaé, 06 de fevereiro de 2019.

POLLYANA ROSA DOS SANTOS MARTINS NÓBREGA

LEVANTAMENTO DO POTENCIAL EÓLICO NO MAR PARA GERAÇÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA

Monografia apresentada ao Laboratório de Meteorologia do Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para a conclusão do Curso de Pós-Graduação *Lato Sensu* em Ciências Atmosféricas para Engenheiros, Ambientalistas e Educadores.

Orientador: Prof. Dr. Isimar de Azevedo Santos

Macaé, 06 de fevereiro de 2019.

POLLYANA ROSA DOS SANTOS MARTINS NÓBREGA

LEVANTAMENTO DO POTENCIAL EÓLICO NO MAR PARA GERAÇÃO DE ENERGIA  
ELÉTRICA

Monografia apresentada ao Laboratório de Meteorologia do Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para a conclusão do Curso de Pós-Graduação *Lato Sensu* em Ciências Atmosféricas para Engenheiros, Ambientalistas e Educadores.

Aprovada em 06 de fevereiro de 2019.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof<sup>a</sup>. Maria Gertrudes Alvarez Justi da Silva, D.Sc., UENF

---

Prof. José Ricardo Siqueira, D.Sc., UENF

---

Prof. Isimar de Azevedo Santos, D.Sc., UENF  
(Orientador)

A Deus por ser Senhor Supremo,  
autor e consumidor da minha fé. Ao  
marido Ronan Nóbrega por sua  
compreensão, carinho e apoio.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus por mais essa conquista.

Agradeço ao meu esposo Ronan Nóbrega pelo amor, companheirismo e apoio sempre.

Ao meu orientador Professor Isimar, pela confiança, acompanhamento e compreensão.

A chefe do LAMET Maria Gertrudes Justi, pela maneira como conduziu o curso e aos demais professores pelo conhecimento compartilhado e disponibilidade em ajudar sempre que solicitados.

Aos colegas de classe pela companhia e amizade ao longo do curso.

## RESUMO

Nos últimos anos, a produção de energia eólica tem sido cada vez maior em nível mundial com base no conceito de desenvolvimento sustentável. Para tanto, buscou-se com este trabalho analisar o comportamento sazonal, mensal e horário da velocidade e da direção predominante do vento no mar em três localidades, sendo elas a Bacia de Campos, a Bacia de Santos e a localidade da ilha de Walney na Inglaterra, onde já se encontra um parque eólico em operação (Parque Eólico Walney). Com este estudo preliminar, espera-se avaliar o potencial eólico para produção de energia suplementar em sistemas essenciais em plataformas de exploração e produção de petróleo e gás. Foram utilizados banco de dados médios mensais da reanálise *Climate Forecast System Reanalysis* (CFSR-NCEP) às 0, 6, 12 e 18 UTC, que fornece campos de vento do período de janeiro de 1979 a dezembro de 2017 e dados diários de 1º de dezembro de 2017 a 28 de fevereiro de 2018. A metodologia utilizada foi baseada na interpretação das rosas dos ventos que permitem uma visão abrangente de como a velocidade e a direção do vento são normalmente distribuídas em determinado local. O vento nas localidades da Bacia de Campos e Bacia de Santos apresentou padrões relevantes em poucas direções, predominando ventos de nordeste ao longo do ano nos horários observados, sendo um fator favorável para o aproveitamento eólico. Sabe-se que a pouca variabilidade na direção dos ventos favorece a preservação de turbinas e rotores, que não precisam frequentemente mudar de posição, diminuindo a degradação nos equipamentos. As velocidades do vento para esses dois pontos permaneceram contínuas também ao longo do ano com médias de 5,7 a 8,8 m/s, sendo equivalentes às do ponto C (Parque eólico britânico) para o inverno. Os dados analisados mostraram que é viável a implantação de aerogeradores para a produção de energia em plataformas de exploração e produção de petróleo e gás nas localidades da Bacia de Campos e da Bacia de Santos, apesar de se tratar de um estudo preliminar sobre a sazonalidade do vento. Implantação de pequenas torres serviriam para alimentação elétrica de pequenos espaços como camarotes e cabines, diminuindo assim a utilização de derivados do petróleo

**PALAVRAS-CHAVE:** energia eólica *offshore*, potencial eólico, variação sazonal do vento

## ABSTRACT

In recent years, wind power production has been increasing worldwide based on the concept of sustainable development. The aim of this study was to analyze the seasonal, monthly and time behavior of the velocity and the predominant direction of the wind at sea in three localities, namely the Campos Basin, the Santos Basin and the Walney Island England, where there is already a wind farm in operation (Walney Wind Farm). With this preliminary study, it is expected to evaluate the wind potential for supplemental energy production in essential systems in oil and gas exploration and production platforms. We used the average monthly database of the Climate Forecast System Reanalysis (CFSR-NCEP) at 0, 6, 12 and 18 UTC, which provides wind fields from January 1979 to December 2017 and daily data from December 1 from 2017 to 28 February 2018. The methodology used was based on the interpretation of the roses of the winds that allow a comprehensive view of how the speed and direction of the wind are normally distributed in a certain place. The wind in the localities of the Campos Basin and Santos Basin presented relevant patterns in a few directions, prevailing northeast winds throughout the year at the observed times, being a favorable factor for the use of wind. It is known that the little variability in the direction of the winds favors the preservation of turbines and rotors, which do not often need to change position, reducing equipment degradation. The wind velocities for these two points remained continuous throughout the year with averages of 5.7 to 8.8 m / s, being equivalent to those of point C (British wind park) for the winter. The data analyzed showed that it is feasible to deploy wind turbines for the production of energy in oil and gas exploration and production platforms in the Campos Basin and Santos Basin, although it is a preliminary study on the seasonality of the wind. Implantation of small towers would serve for powering small spaces such as cabins and cabins, thus reducing the use of petroleum derivatives.

**KEYWORDS:** *offshore* wind power, wind potential, seasonal wind variation

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1: Matriz energética brasileira                                   | 13 |
| Figura 2: Fontes de energia                                              | 14 |
| Figura 3: Matriz elétrica brasileira. Fonte: ANEEL/ABEEólica             | 15 |
| Figura 4: Evolução tecnológica das turbinas eólicas comerciais           | 16 |
| Figura 5: Mapa da Bacia de Campos e Bacia de Santos.                     | 21 |
| Figura 6: Mapa do Parque Eólico oceânico Walney na Inglaterra.           | 21 |
| Figura 7: Eixo cartesiano – Componentes do vento                         | 22 |
| Figura 8: Rosa dos ventos – dados mensais no período do inverno à 00 h   | 23 |
| Figura 9: Rosa dos ventos - dados mensais no período do inverno às 06 h  | 24 |
| Figura 10: Rosa dos ventos - dados mensais no período do inverno às 12 h | 25 |
| Figura 11: Rosa dos ventos - dados mensais no período do inverno 18 h    | 26 |
| Figura 12: Rosa dos ventos - dados mensais no período do verão à 00 h    | 27 |
| Figura 13: Rosa dos ventos - dados mensais no período do verão às 06 h   | 28 |
| Figura 14: Rosa dos ventos - dados mensais no período do verão às 12 h   | 29 |
| Figura 15: Rosa dos ventos - dados mensais no período do verão às 18 h   | 30 |
| Figura 16: Rosa dos ventos - dados diários no período do inverno         | 31 |
| Figura 17: Rosa dos ventos – dados diários no período do verão           | 32 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 – Localização geográfica dos pontos <i>offshore</i> analisados | 20 |
|-------------------------------------------------------------------------|----|

## **LISTA DE SIGLAS**

|        |                                                      |
|--------|------------------------------------------------------|
| CCT    | Centro de Ciência e Tecnologia                       |
| CERNE  | Centro de Estratégias em Recursos Naturais e Energia |
| CFRS   | Reanalysis of the Climate Prediction System          |
| ENEEL  | Empresa Nacional de Energia Elétrica                 |
| EPE    | Empresa de Pesquisa Energética                       |
| GWEC   | Global Wind Energy Council                           |
| LAMET  | Laboratório de Meteorologia                          |
| INMET  | Instituto Nacional de Meteorologia                   |
| NCEP   | National Centers for Environmental Prediction        |
| UENF   | Universidade Estadual do Norte Fluminense            |
| UTC    | Coordinated Universal Time                           |
| WRPLOT | Wind Rose Plot                                       |

## SUMÁRIO

|                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 – INTRODUÇÃO.....                                                      | 12 |
| 2 – REVISÃO DE LITERATURA.....                                           | 13 |
| 2.1 Matriz Energética e Elétrica.....                                    | 13 |
| 2.2 Energia Eólica.....                                                  | 15 |
| 2.3 O Vento.....                                                         | 17 |
| 2.4 Panorama da Energia Eólica <i>Offshore</i> no Mundo e no Brasil..... | 18 |
| 2.5 Reanálise meteorológica.....                                         | 19 |
| 3 – METODOLOGIA.....                                                     | 20 |
| 3.1 Base de Dados.....                                                   | 20 |
| 3.2 Objeto de estudo.....                                                | 20 |
| 3.3 Processamento dos dados.....                                         | 22 |
| 4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES.....                                         | 23 |
| 4.1 Análise com os dados mensais no inverno.....                         | 23 |
| 4.2 Análise com os dados mensais no verão.....                           | 27 |
| 4.3 Análise com os dados diários .....                                   | 31 |
| CONCLUSÕES.....                                                          | 33 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....                                          | 34 |

## 1-INTRODUÇÃO

A energia eólica é a energia obtida pelo movimento do ar (vento) e tem sido aproveitada desde a antiguidade para mover os barcos impulsionados por velas ou para fazer funcionar a engrenagem de moinhos.

Nos últimos anos, a produção de energia eólica tem sofrido um grande aumento em nível mundial com base no conceito de desenvolvimento sustentável, já que seu aproveitamento energético não contribui para o efeito estufa, chuva ácida ou para a geração de resíduos radiativos. A instalação eólica é formada por um ou vários geradores e equipamentos auxiliares, que são encarregados de transformar a energia produzida pelo vento em energia útil. Energia eólica é gerada por meio de aerogeradores, nos quais a força do vento é captada por hélices ligadas a uma turbina que aciona um gerador elétrico.

Para encontrar um local ideal para um aerogerador devem ser cumpridos os requisitos como: 1) ser uma região de elevada velocidade média, com boa exposição e sem obstáculos nem rugosidades sobre o fluxo do ar, 2) deve ser uma área de aceitáveis variações diurnas, que permitam uma contínua produção de energia, 3) o solo deve ser capaz de suportar as características das turbinas, assim como permitir a construção de estradas por onde possam transitar caminhões até o pé do aerogerador.

Internacionalmente, tem-se observado avanços no desenvolvimento de projetos de energia elétrica no mar a partir de fontes eólicas. Alguns países como Noruega e Estados Unidos são grandes pioneiros em projetos de energia eólica *offshore*.

Nas Bacias de Campos e de Santos, a instalação de turbinas eólicas para a produção de energia elétrica poderão beneficiar as plataformas de exploração e produção de petróleo e gás, contribuindo para o suprimento de energia elétrica às plantas *offshore* e reduzindo o consumo de combustíveis fósseis.

Este trabalho teve por objetivo analisar o comportamento sazonal, mensal e horário da velocidade e da direção do vento no mar, permitindo avaliar o potencial eólico para produção de energia suplementar em sistemas essenciais em plataformas de exploração e produção de petróleo e gás nas Bacias de Campos e de Santos

## 2 – REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Matriz Energética e Elétrica

Acredita-se que a matriz energética e a matriz elétrica são a mesma coisa; porém, elas são bem diferentes. É necessário deixar claro que a matriz energética refere-se ao conjunto de fontes de energia disponíveis que nos permite movimentar os carros, preparar uma comida no fogão e até gerar eletricidade. Já a matriz elétrica é formada pelo conjunto de fontes disponíveis apenas para a geração de energia elétrica. Pode-se dizer que a matriz elétrica é parte da matriz energética.

De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2016), a matriz energética brasileira é composta principalmente, por fontes não renováveis, como o carvão, petróleo e gás natural e em 2016 apresentava os valores dispostos na Figura 1.

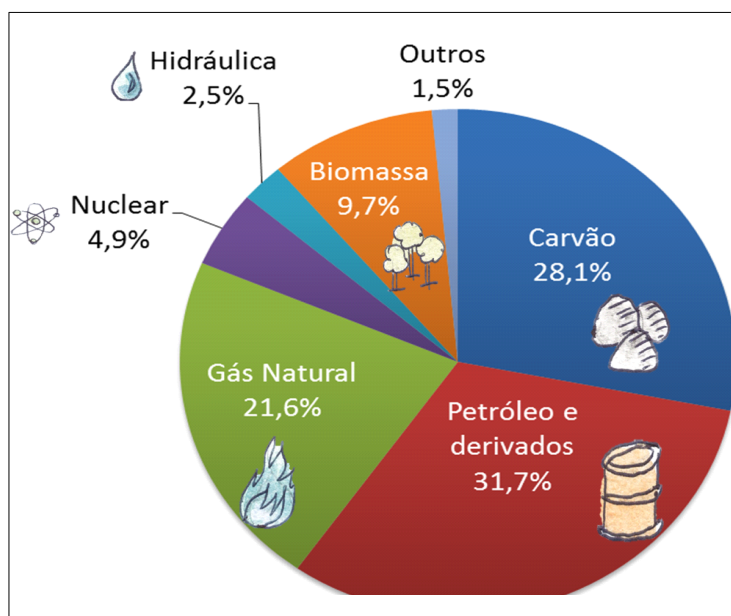


Figura 1: Matriz energética brasileira. Fonte: EPE, 2016

Atualmente, o Brasil é considerado e reconhecido em escala mundial como potência energética e ambiental. Isto se deve ao fato de o país ser rico em alternativas de produção das mais variadas fontes, tendo a capacidade de oferta e produção em larga escala.

Em 2016, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) afirma que a matriz energética brasileira é mais renovável do que a mundial e fez uma comparação do consumo de energia provenientes de energia renováveis e não renováveis apresentada na Figura a seguir.

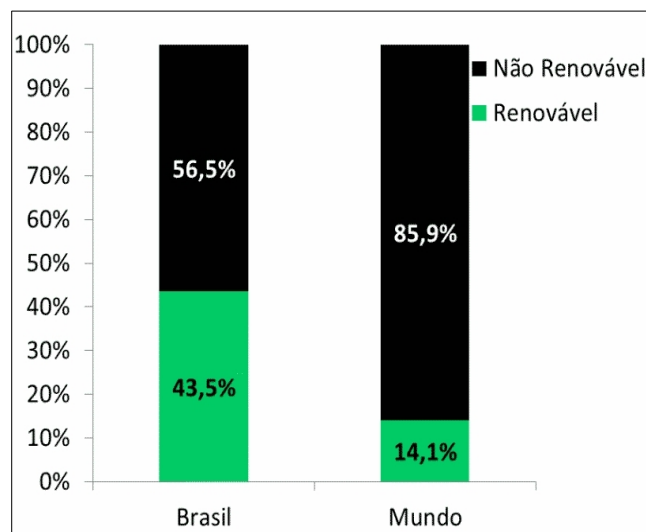


Figura 2: Fontes de energia. Fonte: EPE, 2016

Esses valores são muito relevantes pois as fontes não renováveis são as maiores responsáveis pela emissão de gases de efeito estufa. Em anos anteriores a porcentagem de renováveis na matriz energética brasileira era de 41,3% em 2015, 39,4 % em 2014 e em 2013 o valor era de 40,4%.

A matriz elétrica brasileira é ainda mais renovável do que a energética, isso porque grande parte da energia elétrica gerada no Brasil vem de usinas hidrelétricas. A energia eólica também vem crescendo bastante, contribuindo para que a nossa matriz elétrica continue sendo, em sua maior parte, renovável (EPE, 2016).

Em 2017, segundo o Ministério de Minas e Energia, a participação de renováveis na Matriz Energética Brasileira manteve-se entre as mais elevadas do mundo. O avanço do gás natural foi compensado principalmente pela eólica e biomassa de cana, lixo e biodiesel.

A matriz elétrica é constituída por um conjunto de fontes disponíveis apenas para a geração de energia elétrica e é baseada principalmente em combustíveis fósseis, óleo, gás natural e termelétricas.

Segundo a Associação Brasileira de Energia Eólica – ABEEólica (2017), considerando todas as fontes de geração de energia elétrica, em 2017 houve um crescimento energético sendo liderado pelas fontes hidrelétrica e eólica. A fonte eólica ganha destaque na matriz energética devido à participação de 8,10% da matriz elétrica brasileira, uma vez que no final de 2016, a participação das eólicas era de 7,12%.

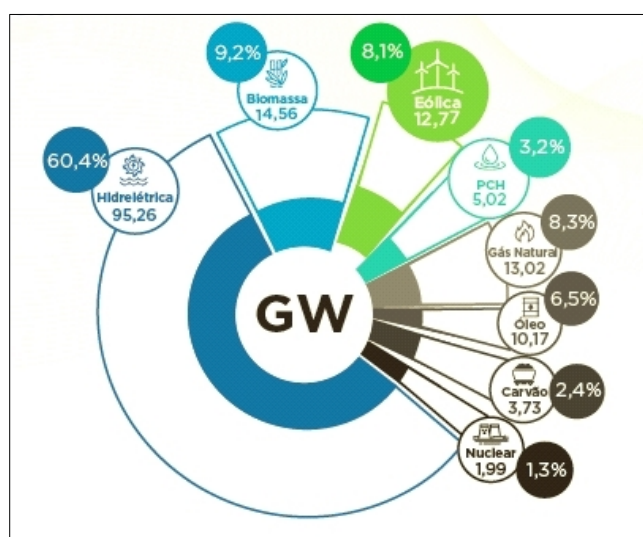


Figura 3: Matriz elétrica brasileira. Fonte: ANEEL/ABEEólica

## 2.2 Energia Eólica

A energia elétrica a partir da fonte eólica pode ser obtida da transformação da energia cinética dos ventos que faz girar o rotor de uma turbina eólica acionando um gerador acoplado à turbina. As medidas dessa energia são em kilowatts-hora (kWh) ou megawatts-hora (MWh) durante um certo período de tempo, geralmente uma hora ou um ano (ALBADÓ, 2002).

A primeira turbina eólica para o aproveitamento energético foi instalada na Dinamarca em 1976. Hoje já existem mais de 30 mil turbinas eólicas em funcionamento no mundo (ANEEL, 2002). A princípio as primeiras turbinas produzidas tinham capacidade de geração de energia muito baixa, menos que 100 kW, mas com o avanço do desenvolvimento tecnológico a produção de grandes turbinas aumentando sua capacidade de potência. A evolução das turbinas eólicas é ilustrada na Figura 4.

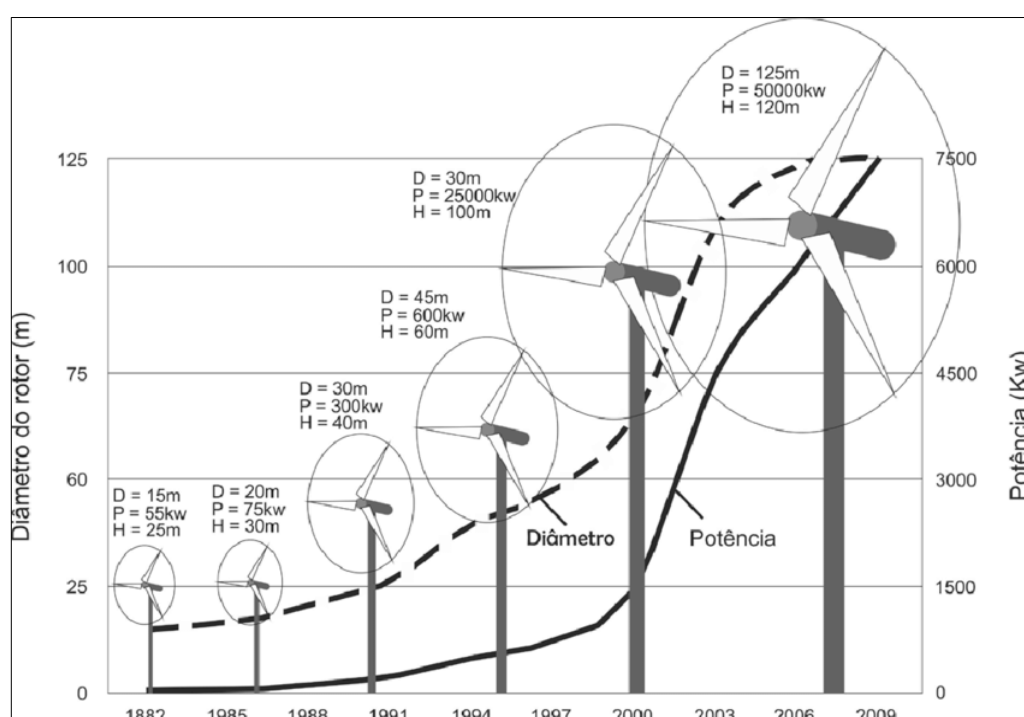


Figura 4: Evolução tecnológica das turbinas eólicas comerciais (D = diâmetro, P = potência, H = altura), entre 1980 e 2009. (Adaptado de GASH E TWELE 2012).

De acordo com o Atlas Eólico do Estado do Rio de Janeiro (2002), dentre as formas de geração de energia elétrica as usinas eólicas são as mais limpas sob o ponto de vista ambiental por não emitirem poluentes. Além destas poderem se fazer presentes em áreas agrícolas e ter um grande potencial de geração de empregos desde a fabricação, instalação e operação dos aerogeradores, contribuindo também para a economia regional.

Atualmente, a energia eólica é a fonte de energia renovável mais bem-sucedida na produção de eletricidade, apresentando uma segurança de abastecimento energético com sustentabilidade ambiental e viabilidade econômica. As vantagens dos sistemas eólicos caracterizam-se por não produzirem emissões tóxicas ou poluentes, nem lixo e possibilitarem outras atividades no meio envolvente, como por exemplo a pesca e a navegação, o que a torna a fonte energética com menor impacto ambiental (ENEOP, 2012 apud HORTA, 2017).

### 2.3 O Vento

O vento que é a atmosfera em movimento e a motriz deste movimento é a associação entre a energia solar e a rotação planetária. Por isto o vento é considerado energia renovável (AMARANTE, 2001). Na medida que há diferenças horizontais de pressão, o ar se move pela tendência natural de equilíbrio da pressão atmosférica, e com isso forma-se o vento.

De acordo com MARTINS *et al.*, (2008) a energia mecânica contida no vento vem se destacando e demonstra potencial para contribuir significativamente quanto aos custos de produção, segurança de fornecimento e sustentabilidade ambiental.

VITERBO (2008) afirma que a fonte de energia a partir do vento tem tido destaque no Brasil e no mundo, alcançando assim alta relevância e investimentos no setor. Segundo a Associação Brasileira de Energia Eólica, foram instalados no Brasil em 2017 6,84 GW de potência. Embora a geração de energia no Brasil seja liderada pelas hidrelétricas com 47,86%, a energia eólica já representa 29,62%. Ainda de acordo Associação Brasileira de Energia Eólica o maior potencial eólico para geração de energia elétrica encontra-se na região Nordeste, especificamente no litoral onde localizam-se a maior parte das fazendas eólicas.

O vento varia constantemente tanto na velocidade do escoamento quanto na direção do seu deslocamento. Para o seu aproveitamento energético, há necessidade de estudar o seu comportamento espacial e temporal (CUSTÓDIO, 2013).

## 2.4 Panorama da Energia Eólica *Offshore* no Mundo e no Brasil

A energia eólica pode ser classificada quanto a localização de instalação e produção sendo denominada *onshore*, que é a conversão do movimento dos ventos terrestres em energia elétrica e *offshore*, que é a conversão do movimento dos ventos marítimos em energia elétrica.

No Brasil estudos sobre o potencial eólico ganhou destaque com a produção do Atlas do Potencial Eólico Brasileiro que indica a tendência de velocidades maiores de vento no litoral brasileiro e também em áreas do interior favorecidas por relevo e baixa rugosidade (AMARANTE *et al.*, 2002).

Segundo o Centro de Estratégias em Recursos Naturais e Energia (CERNE), em 2017 uma empresa Norueguesa denominada Statoil começou a operar o primeiro parque eólico flutuante do mundo com a utilização de boias flutuantes spar (floating spar buoy) sendo similar às plataformas de óleo e gás spar, também utilizadas por petroleiras na região. A estimativa que se tem é que até 2030, o Mar do Norte será o principal polo europeu de parques eólicos *offshore* no horizonte, com 80,9% (19,895 MW) de toda a capacidade instalada no continente.

Em todo o mundo, há uma preocupação em reduzir as emissões de gases de efeitos estufa e para que se tenham êxito, vários países procuram por fontes de energia competitivas, de carbono zero que possam ser implantadas em escala e em prazos rápidos, com isso a energia eólica *offshore* tem ganhado destaque pelo enorme potencial em muitas regiões. Para tal as indústrias precisam encontrar tecnologias mais adequadas à implantação (GWEC, 2017).

Conforme cresce a população nas áreas costeiras, cresce também a demanda por energia nessas regiões fazendo com que torne relevante estudos para a exploração de energia eólica *offshore* se tratando de energia renovável e limpa (DE OLIVEIRA FILHO *et al.*, 2013 apud GOMES, 2018).

Apesar de avanços em pesquisas do potencial *onshore*, a energia eólica *offshore* no Brasil ainda é um tema pouco discutido. Contudo acontece anualmente, o evento denominado

Brazil Windpower – Conferência & Exposição, na qual apresentou sua 9ª edição em 2018 abordando assuntos do setor eólico na atualidade. Segundo organizadores, o evento foi encerrado com reflexões sobre o futuro para energia eólica *offshore* no Brasil (Brazil Windpower, 2018).

De acordo com a Petrobras, a empresa desenvolve um projeto-piloto de energia eólica *offshore* em Guamaré, no Rio Grande do Norte e que a intenção é que até 2022 a primeira planta eólica do Brasil em alto-mar seja instalada.

## **2.5 Reanálises meteorológicas**

Buscando melhorias nas técnicas de assimilação de dados para corrigir a “descontinuidade” nos bancos de dados de análises foram instituídos os Bancos de Dados de Reanálises em que uma única técnica de assimilação de dados é utilizada ao longo de um período longo, pelo menos 30 anos, e assim a “climatologia” dos dados não oscila por modificações nas “técnicas de análise”, já que uma única técnica é usada para todo o acervo.

Esses dados são preparados com o uso de modelos numéricos de previsão do tempo, alimentados com dados coletados em estações sinóticas, boias oceânicas, radiosondas, satélites e embarcações, formando assim um banco de dados (MARTINS; GUARNIERI; PEREIRA, 2008).

As bases de dados de reanálise permitem uma visão geral do campo de vento e podem ser utilizadas como estimativas para regiões onde a quantidade de dados coletados em superfície é muito pequena. Uma vantagem da reanálise é que suas bases de dados não apresentam falhas, ou seja, os dados estão disponíveis em todo o período de tempo englobado pelo projeto (STÜKER, 2014).

### 3 – METODOLOGIA

#### 3.1 – Dados

A princípio seria utilizado o banco de dados de estações convencionais e automáticas localizadas em plataformas *offshore*. Porém, os dados medidos das plataformas estão sujeitos a limitações temporais e não são contínuos devido a problemas de manutenção em aparelhos a bordo. Isto se deve ao fato de que muitas vezes os anemômetros servem aos propósitos das operações de vôo dos helipontos, e não exatamente para fins caracterização da climatologia de ventos da região como relatou um engenheiro responsável.

Foram utilizados os dados médios mensais das reanálises CFSR-NCEP às 0, 6, 12 e 18 UTC que fornecem campos de vento do período de janeiro de 1979 a dezembro de 2017. Também foram utilizados os dados diários de 1º de dezembro de 2017 a 28 de fevereiro de 2018 para avaliar a sazonalidade do vento para os locais de interesse neste estudo.

#### 3.2 – Objeto de estudo

Na tabela 1 são descritos os três pontos que foram selecionados levando em conta características quanto a localização de duas plataformas de Exploração de Petróleo no Sudeste do Brasil e do Parque Eólico *offshore* instalado na Inglaterra. Pode-se assim fazer um comparativo de potencial eólico *offshore* para produção de energia elétrica nessas três localidades.

Tabela 1 – Localização geográfica dos locais *offshore*. Fonte: Google Earth

| LOCALIZAÇÃO                                            | COORDENADAS                                              |
|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| Ponto A – Bacia de Campos                              | Latitude: latitude 22,1 S<br>Longitude: longitude 39,9 W |
| Ponto B – Bacia de Santos(Pré-Sal)                     | Latitude: latitude 25,6 S<br>Longitude: longitude 42,8 W |
| Ponto C – Parque Eólico Walney Extension<br>Inglaterra | Latitude: latitude 53,4 N<br>Longitude: longitude 3,2 W  |

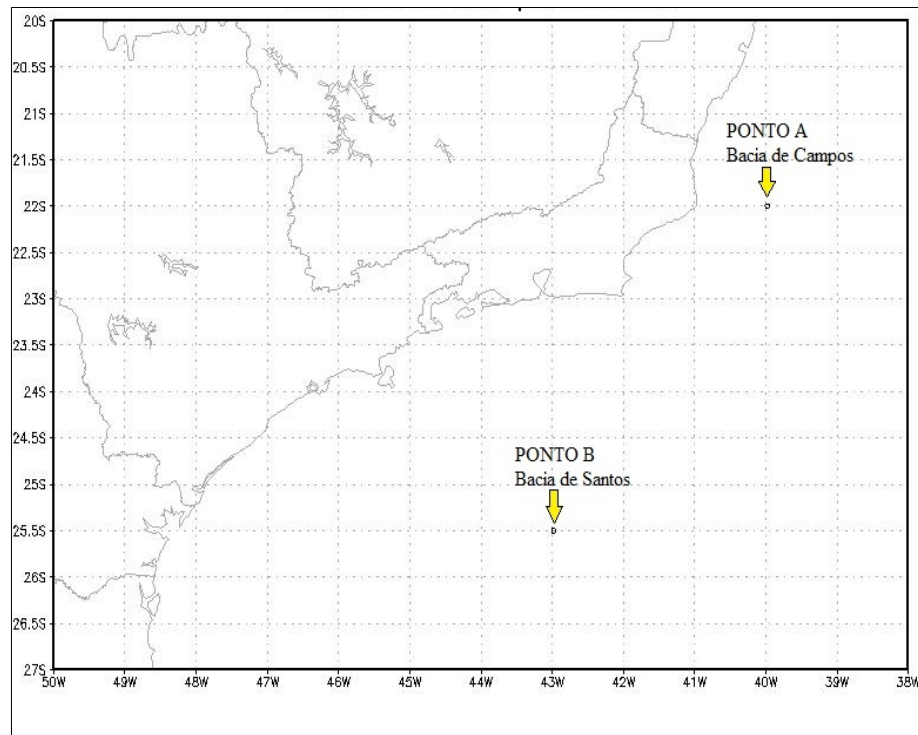


Figura 5: Localização dos pontos A, na Bacia de Campos e B na Bacia de Santos.

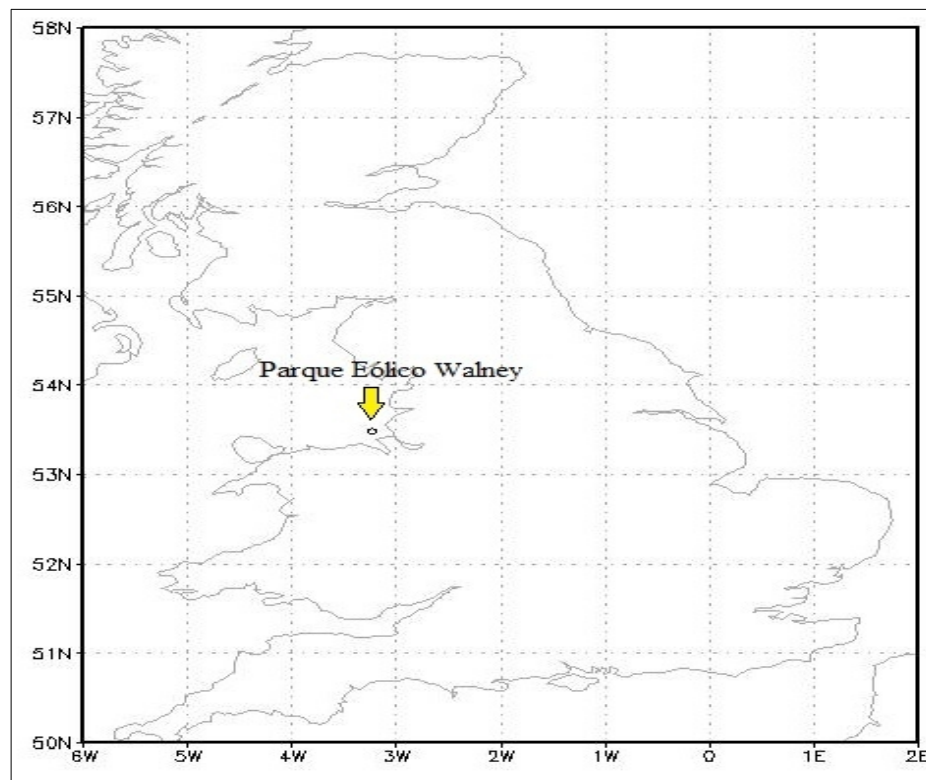


Figura 6: Localização do ponto C, referente ao Parque Eólico oceânico Walney na Inglaterra.

### 3.3 Processamento dos dados

Após o acesso ao acervo de dados, os mesmos foram processados no programa WRPLOT, onde foi gerada a distribuição de frequências associada às direções predominantes e às velocidades de vento.

O WRPLOT é um programa gratuito que permite a construção de rosa dos ventos para dados meteorológicos. A rosa dos ventos permite uma visão abrangente de como a velocidade e direção do vento são normalmente distribuídos em um determinado local. Apresentados em formato circular, a rosa mostra a frequência dos ventos em uma direção representada por linhas de porcentagens e a intensidade em m/s representada por cores.

A reanálise CFSR-NCEP contém centenas de arquivos binários em que são separados por meses, dias e horas. Não se apresenta contínua, está dividida em duas fases, uma que vai de 1979 a 2010 (antigos) e outra que vai de 2011 a 2017 (recentes).

Por fim foi gerado um arquivo .txt com todos os dados compilados, limitando latitude e longitude dos pontos de interesse, em seguida foi calculada a intensidade e a direção do vento. A intensidade é calculada a partir das componentes  $V = (u, v)$  e a direção é o arco tangente em radianos transformada em seguida para graus.

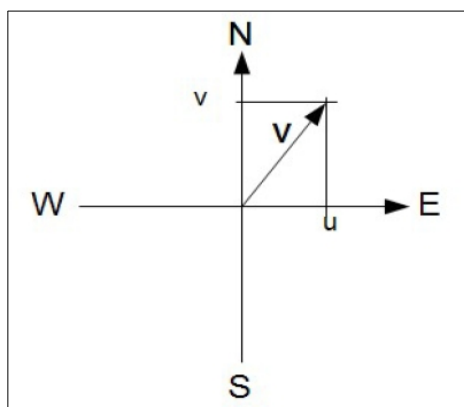


Figura 7: Eixo cartesiano – Componentes do vento

Em seguida o programa ajusta o valor e o transforma em ângulo meteorológico. A diferença entre o ângulo meteorológico e o trigonométrico é que o primeiro traz a informação do vento que chega na estação e o segundo a seta sai do ponto central.

## 4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

As Figuras a seguir referem-se aos dados mensais e diários do vento a 10 m da reanálise CFSR, no ponto A (latitude 22,1 S e longitude 39,9 W) na Bacia de Campos, ponto B (latitude 25,6 S e longitude 42,8 W) na Bacia de Santos e ponto C (latitude 53,4 N e longitude 3,2 W), referente a um parque eólico britânico em operação. As análises foram feitas para o verão e para o inverno, usando dados médios mensais do vento, por horário sinótico (0, 6, 12 e 18 UTC) no período de 1979 a 2017 e dados diários, nos períodos de 1º de junho a 31 de agosto de 2017 e de 1º de dezembro de 2017 a 28 de fevereiro de 2018. Vale destacar que no ponto C (Hemisfério Norte), o inverno ocorre em dezembro/janeiro/fevereiro e o verão ocorre em junho/julho/agosto diferentemente do Hemisfério Sul.

### 4.1 – Análise com os dados médios mensais no inverno.

Na Figura 8 as rosas dos ventos se referem a dados mensais do vento para os três pontos no período do inverno à 00 UTC.

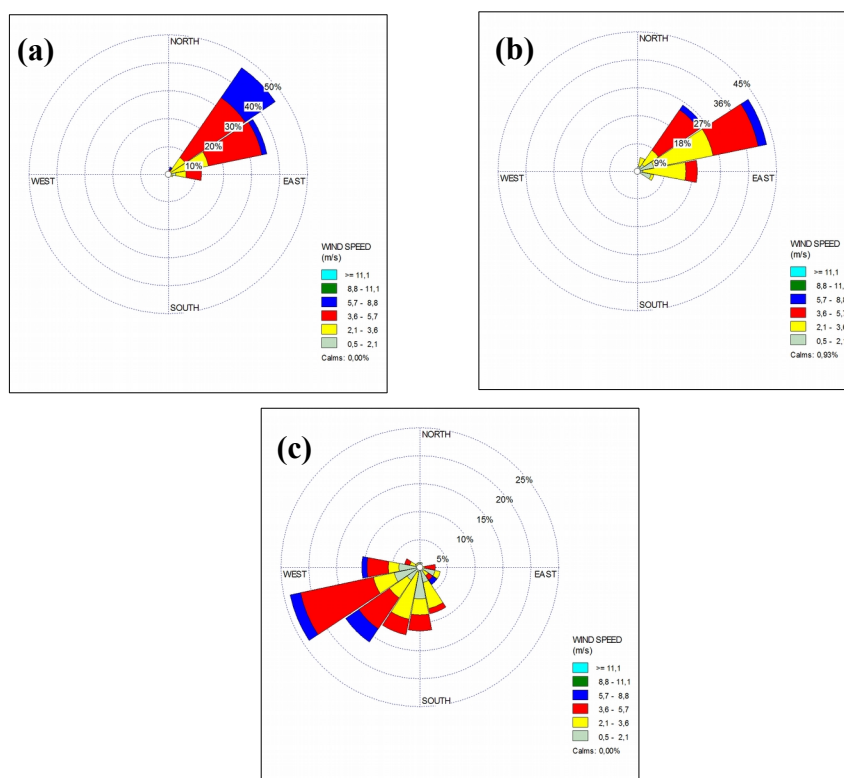


Figura 8: Rosa dos ventos para os pontos (a) - Bacia de Campos, (b) - Bacia de Santos e (c) - Parque Eólico Walney. Fonte: Reanálises CFSR/NCEP.

Para o ponto A observa-se na rosa dos ventos que 50% da amostra do vento para o período do inverno às 00 UTC ocorreu na direção Nordeste tendo na maior parte do tempo a intensidade na ordem de 3,6 a 5,7 m/s.

Observa-se na rosa dos ventos do ponto B – Bacia de Santos que a predominância do vento foi na direção Nordeste em 45% da amostra, tendo sua intensidade calculada também em 3,6 a 5,7 m/s na maior parte desse período.

Já para a localidade do parque eólico na Inglaterra, onde já se tem um parque eólico em operação, a rosa dos ventos do ponto C, indica que o vento predominante é Sudoeste com quase 25% de toda a amostra e intensidade em 3,6 a 5,7 m/s.

A Figura 9 mostra as rosas dos ventos de dados mensais do vento para os três pontos no período do inverno às 06 UTC.

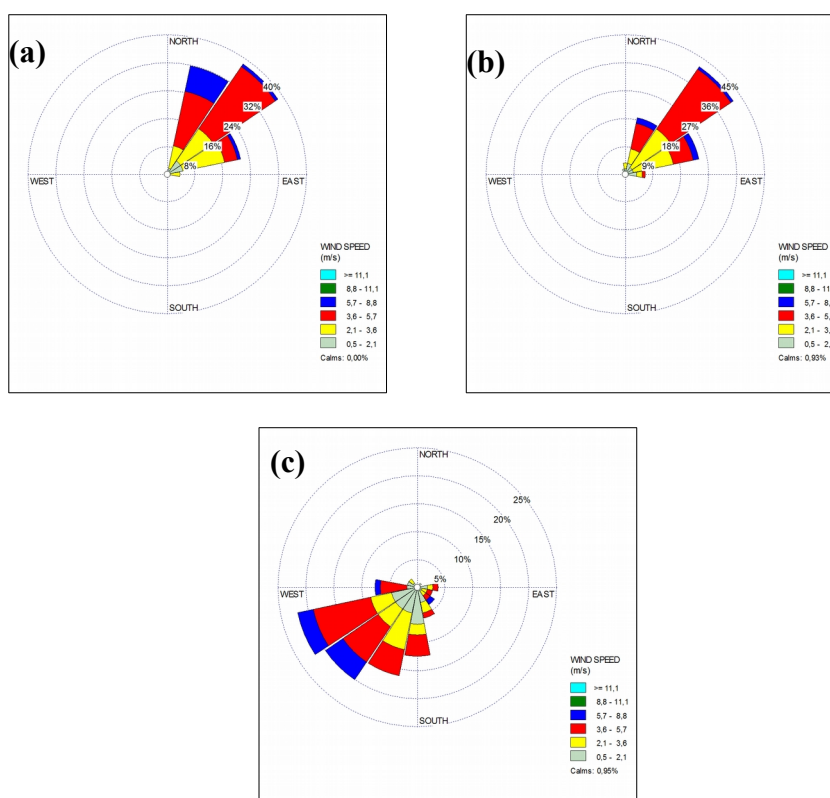


Figura 9: Rosa dos ventos para os pontos(a) - Bacia de Campos, (b) - Bacia de Santos e (c) - Parque Eólico Walney. Fonte: Reanálises CFSR/NCEP.

Observa-se que das três localidades analisadas a Bacia de Santos tem o percentual mais elevado de corrente de vento 45%, seguido da Bacia de Campos 40% com predominância de nordeste e intensidade de 3,6 a 5,7 m/s para as duas localidades e o parque britânico sendo 20% da amostra com vento predominante de sudoeste e intensidade de 3,6 a 5,7 m/s.

A Figura 10 se refere as rosas dos ventos de dados mensais do vento no período do inverno às 12 UTC.

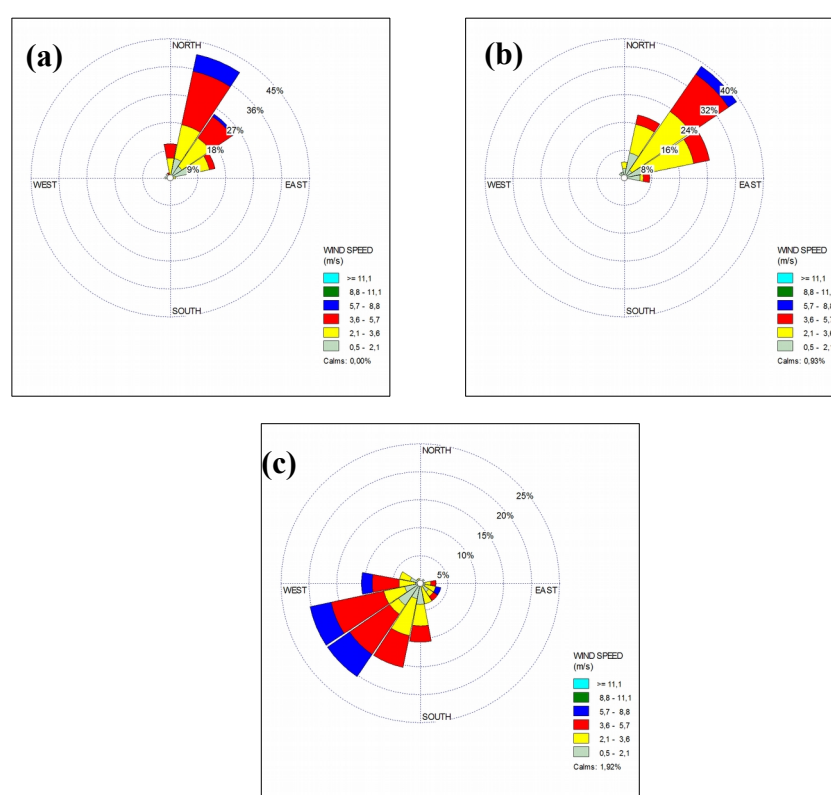


Figura 10: Rosa dos ventos para os pontos (a) - Bacia de Campos, (b) - Bacia de Santos e (c) - Parque Eólico Walney. Fonte: Reanálises CFSR/NCEP.

Pode-se analisar que das três localidades analisadas a Bacia de Campos tem o percentual mais elevado de corrente de vento 43%, seguido da Bacia de Santos 40% com predominância de nordeste e intensidade de 3,6 a 5,7 m/s para as duas localidades e o parque britânico sendo 20% da amostra com vento predominante de sudoeste e intensidade de 3,6 a 5,7 com velocidade chegando a 8,8 m/s.

Na Figura 11, as rosas dos ventos trazem informações sobre dados mensais do vento para os três pontos no período do inverno às 18 UTC.

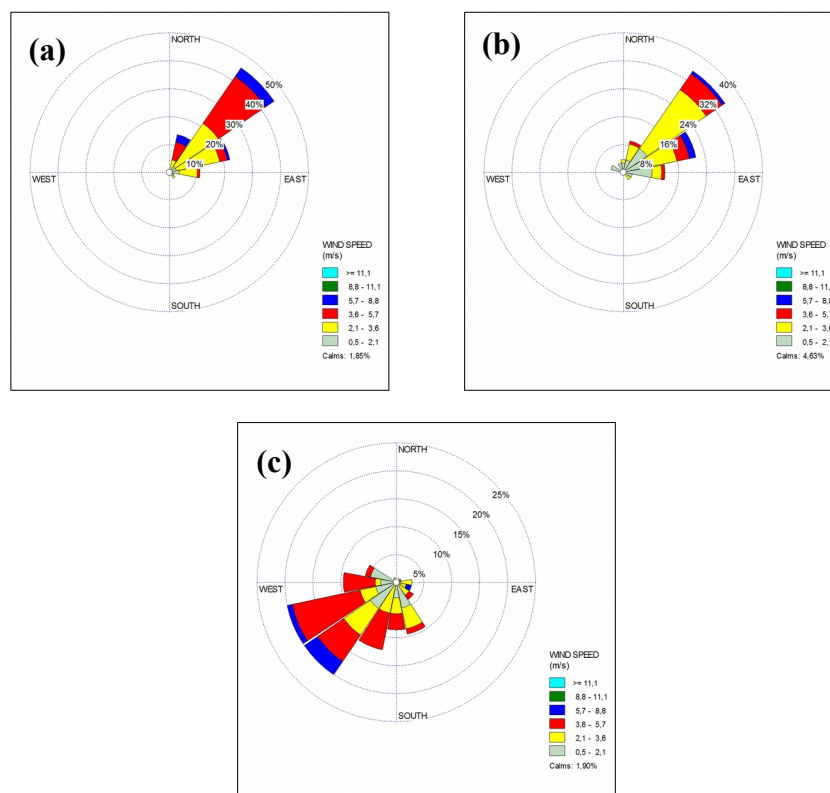


Figura 11: Rosa dos ventos para os pontos(a) - Bacia de Campos, (b) - Bacia de Santos e (c) - Parque Eólico Walney. Fonte: Reanálises CFSR/NCEP.

Observa-se que para este período a Bacia de Campos tem o percentual mais elevado de corrente de vento 45% tendo sua velocidade calculada em 3,6 a 5,7 m/s, já na Bacia de Santos 35% de predominância de Nordeste e intensidade de 2,1 a 3,6 m/s e para o parque britânico 20% da amostra apresenta vento predominante de sudoeste e intensidade de 3,6 a 5,7 m/s.

## 4.2– Análise com os dados médios mensais no verão

As Figuras a seguir referem-se aos dados do vento a 10 m da reanálise CFSR, para os pontos A, B e C. Neste tópico foram feitas análises com dados mensais para o verão, que nas localidades Bacia de Campos e Santos ocorrem em dezembro/ janeiro/ fevereiro, e na localidade Parque eólico Walney ocorre em junho/julho/agosto. Os dados abordados estão divididos por horário sinótico (0, 6, 12 e 18 UTC), compreendendo o período de 1979 a 2017.

A Figura 12 apresenta rosas dos ventos de dados mensais do vento no verão à 00 UTC para os três pontos.

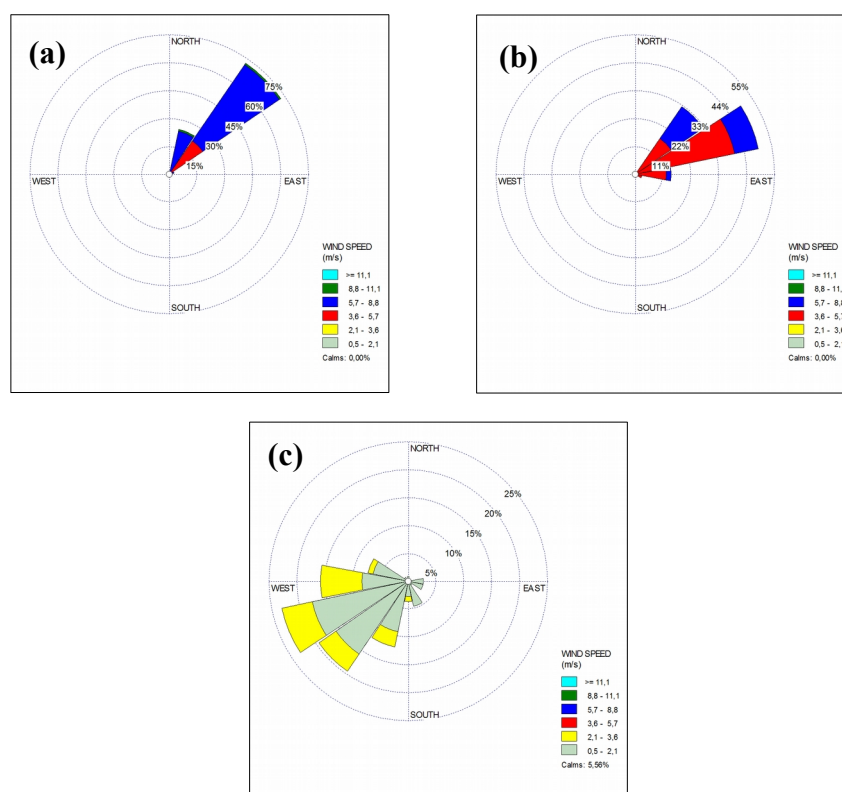


Figura 12: Rosa dos ventos para os pontos (a) - Bacia de Campos, (b) - Bacia de Santos e (c) - Parque Eólico Walney. Fonte: Reanálises CFSR/NCEP.

Observa-se que o verão à 00 UTC na Bacia de Campos e de Santos a corrente de vento é maior para este período com direção predominantemente nordeste sendo para Bacia de Campos 75%, seguido da Bacia de Santos 50% com predominância de nordeste e intensidade em torno de 5,7 a 8,8 m/s para a primeira e 3,6 a 5,7 m/s para a segunda e ainda para o parque

britânico sendo 24% da amostra com vento predominante de sudoeste oeste e intensidade de 0,5 a 2,1 m/s.

A Figura 13 apresenta as rosas dos ventos dados mensais no verão às 06 UTC para os três pontos.

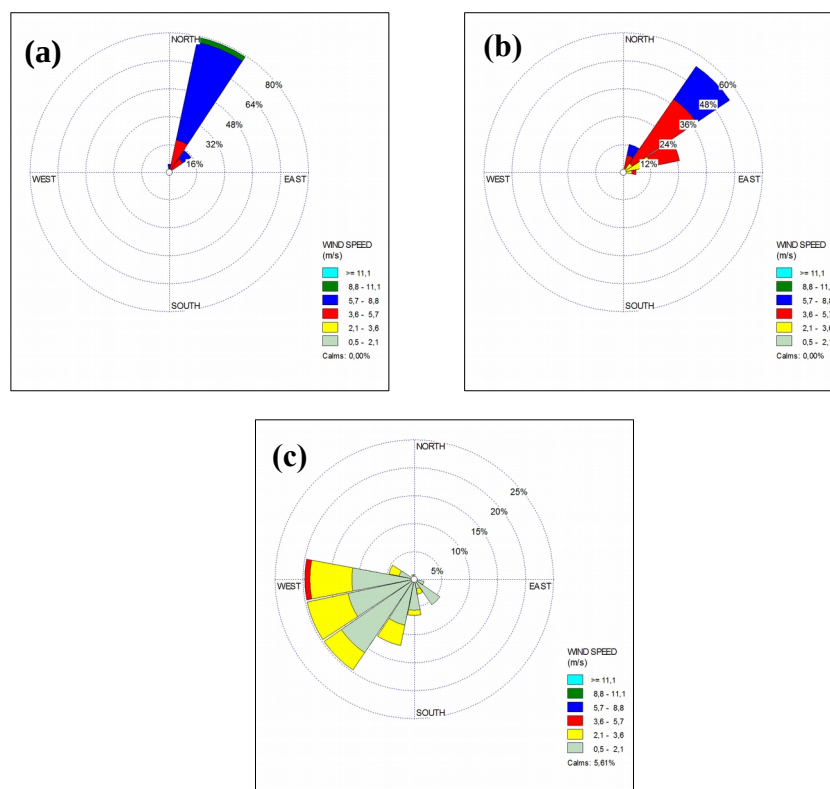


Figura 13: Rosa dos ventos para os pontos (a) - Baía de Campos, (b) - Baía de Santos e (c) - Parque Eólico Walney. Fonte: Reanálises CFSR/NCEP.

Pode-se analisar que o verão às 06 UTC na Baía de Campos e de Santos a corrente de vento é maior para este período predominantemente nordeste sendo para Baía de Campos 80% com intensidade do vento chegando a 11 m/s, seguido da Baía de Santos 55% intensidade em torno de 3,6 a 5,7 m/s e para o parque britânico sendo 20% da amostra com vento predominante de sudoeste – oeste e intensidade de 0,5 a 3,6 m/s.

As rosas dos ventos da Figura 14 referem-se a dados mensais no período do verão no horário sinótico à 12 UTC para os três pontos.

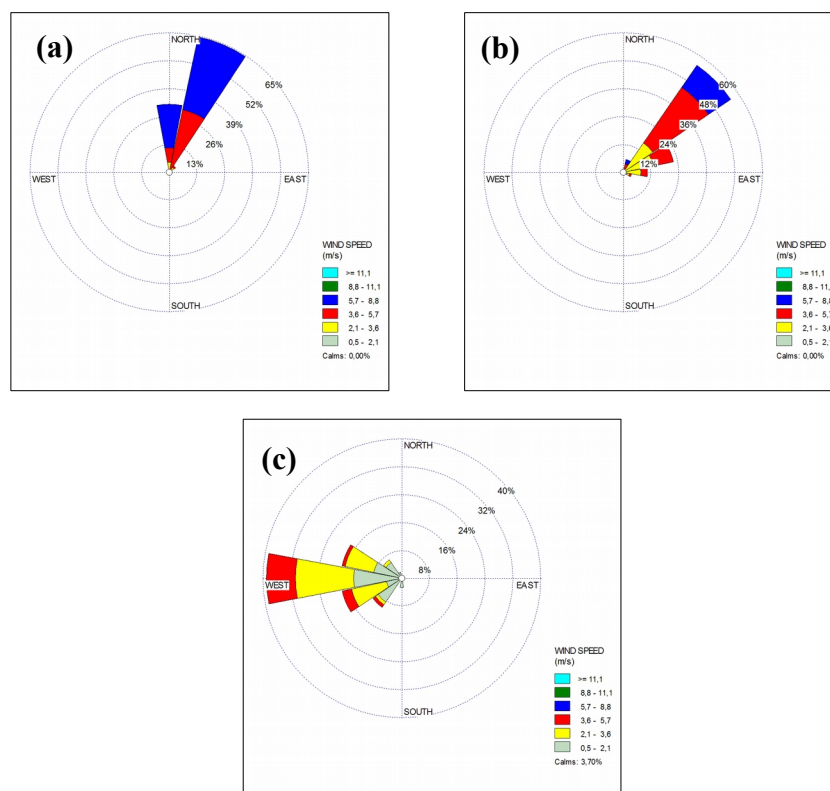


Figura 14: Rosa dos ventos para os pontos (a) - Bacia de Campos, (b) - Bacia de Santos e (c) - Parque Eólico Walney. Fonte: Reanálises CFSR/NCEP.

Na Figura 14 pode-se analisar que para o horário 12 UTC a corrente de vento continua sendo maior para a Bacia de Campos 65% e Bacia de Santos 57% com predominância de vento de nordeste. A intensidade do vento é de 5,7 a 8,8 m/s para o primeiro e 3,6 a 5,7 m/s para o segundo e para o parque britânico observa-se que 20% da amostra o vento predominante é de oeste e intensidade de 2,1 a 3,6 m/s com picos chegando a 5,7 m/s.

A Figura 15 se refere a dados mensais do vento no período do verão no horário sinótico à 18 UTC para os três pontos.

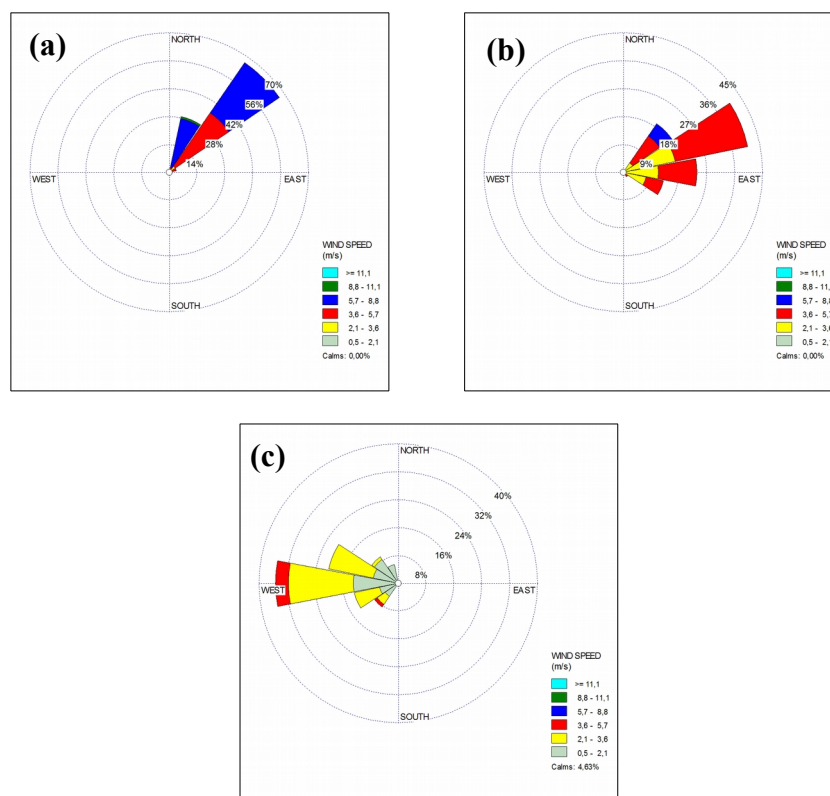


Figura 15: Rosa dos ventos para os pontos (a) - Baía de Campos, (b) - Baía de Santos e (c) Parque Eólico Walney. Fonte: Reanálises CFSR/NCEP.

Observa-se na Figura 15 refere-se ao horário de 18 UTC que para a Baía de Campos o vento permanece predominante em torno de 68% e intensidade 5,7 a 8,8 m/s para a direção nordeste e para Baía de Santos 43% com predominância de vento de nordeste – leste e intensidade 3,6 a 5,7 m/s e para o parque britânico observa-se que 35% da amostra o vento predominante é de oeste com intensidade de 2,1 a 3,6 m/s.

### 4.3 – Análise com os dados diários

As Figuras a seguir referem-se aos dados do vento a 10 m da reanálise CFSR, no ponto A (latitude 22,1 S e longitude 39,9 W) na Bacia de Campos, ponto B (latitude 25,6 S e longitude 42,8 W) na Bacia de Santos e ponto C (latitude 53,4 N e longitude 3,2 W), Parque eólico Walney, nos períodos de 1º de junho a 31 de agosto de 2017 e de 1º de dezembro de 2017 a 28 de fevereiro de 2018.

A Figura 16 se refere a dados diários do vento para o período do inverno nos três pontos.

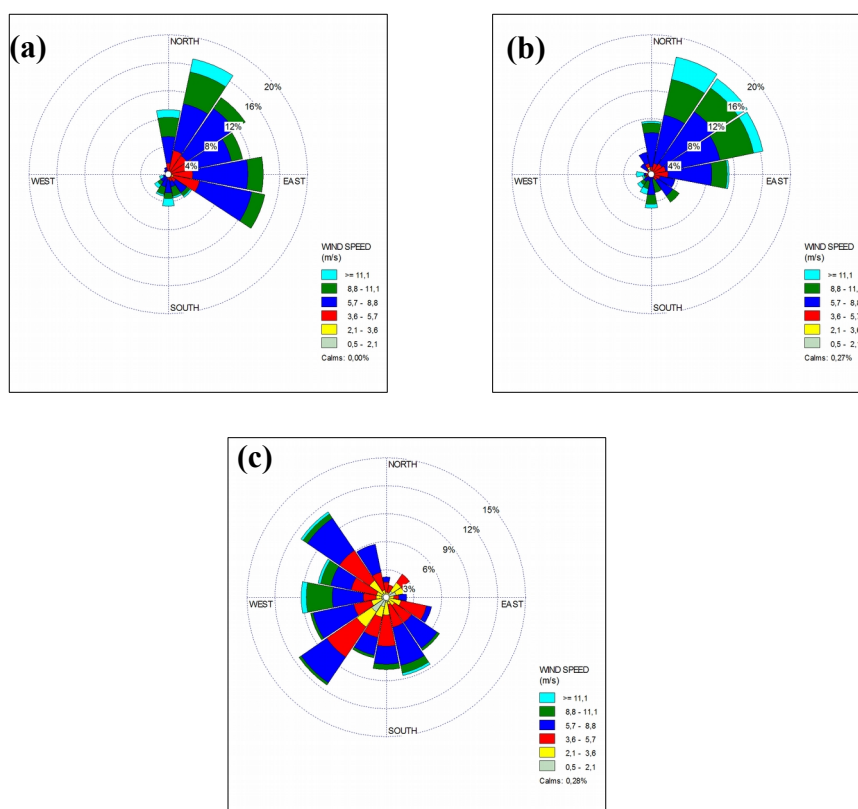


Figura 16: Rosa dos ventos para os pontos (a) - Bacia de Campos, (b) - Bacia de Santos e (c) - Parque Eólico Walney. Fonte: Reanálises CFSR/NCEP.

Nota-se que a rosa dos ventos correspondentes aos pontos A – Bacia de Campos, B – Bacia de Santos e C – Parque eólico Walney na Inglaterra, estão parecidas com picos de intensidade maior ou igual a 11,1 m/s, diferenciando-se somente a direção predominante do

vento em que para os pontos A e B predominou vento de Nordeste e para o ponto C direção bem variável.

A Figura 17 se refere a dados diários do vento para o período do verão nos três pontos.

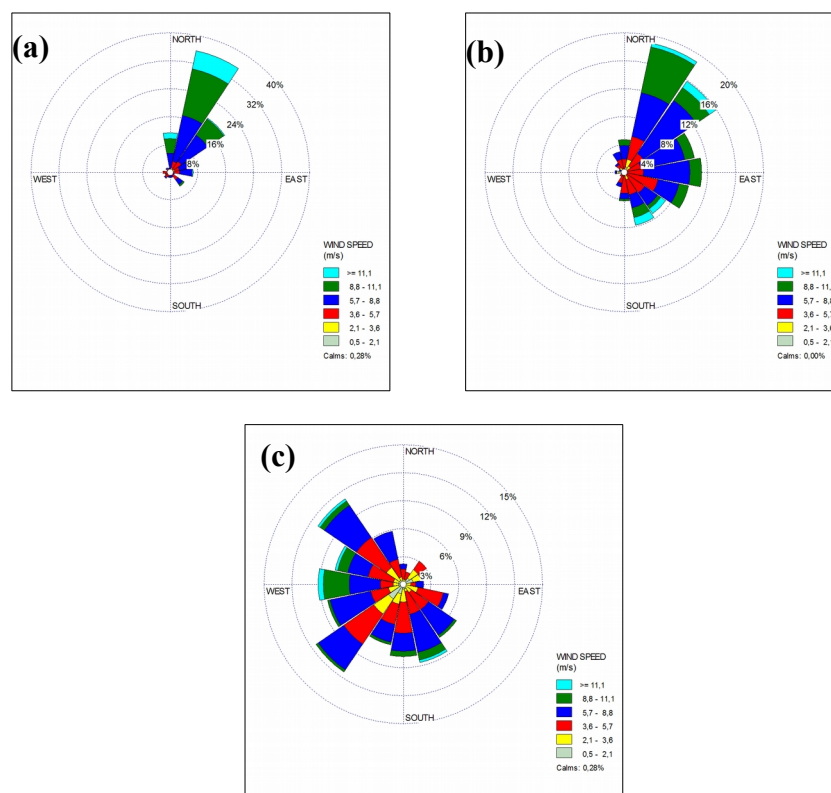


Figura 17: Rosa dos ventos para os pontos (a) - Bacia de Campos, (b) - Bacia de Santos e (c) - Parque Eólico Walney. Fonte: Reanálises CFSR/NCEP.

Pode-se observar nesse conjunto de rosa dos ventos que para a Bacia de Campos e Santos a intensidade do vento é (maior ou igual a 8,8 m/s) com direção norte-nordeste sendo 35% para Campos e 18% para Santos. Para a localidade onde se encontra o parque eólico britânico a intensidade ficou em torno de 5,7 a 8,8 m/s com picos ultrapassando 8,8 m/s sem direção predominante.

## CONCLUSÕES

A procura do equilíbrio entre os interesses do desenvolvimento econômico e da preservação ambiental está a originar uma procura crescente de fontes renováveis de energia. A energia eólica é uma fonte de energia não poluidora, contribuindo significativamente para a amenização das emissões de CO<sub>2</sub>.

Os resultados obtidos mostram que o ponto C, onde já se tem um parque eólico em operação - Parque eólico Walney Inglaterra – o vento para a estação inverno permanece em torno de 3,6 a 5,7 m/s, o que nos faz inferir a ideia de que esta seja a velocidade ideal para um parque de grande porte.

Analisando as médias mensais para os pontos A e B, Bacia de Campos e Bacia de Santos respectivamente observamos que apresentam padrões de vento relevantes com persistência em poucas direções, predominando vento de nordeste ao longo do ano, sendo um fator favorável para o aproveitamento eólico, dado que pouca variabilidade favorece a preservação de turbinas e rotores, que não precisariam mudar de posição frequentemente, diminuindo a degradação nos equipamentos. A velocidade do vento para esses dois pontos permanecem contínuos também ao longo do ano com médias de 3,6 a 5,7 m/s, as mesmas do ponto C para o inverno.

Os resultados apresentados neste trabalho constituem uma avaliação preliminar positiva da possibilidade de instalação de um ou mais aerogeradores para a produção de energia elétrica em plataformas de exploração e produção de petróleo e gás. Essas pequenas torres serviriam para alimentação elétrica de pequenos espaços como camarotes e cabines, uma vez que a maioria de plataformas tem como principal fonte de alimentação elétrica geradores à base de diesel ou gás oriundos de poços de petróleo. Assim diminuiria drasticamente a utilização destes derivados de petróleo

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEEólica. Boletim Anual de Energia Elétrica. Acesso 08/07/2018. Disponível em <http://abeeolica.org.br/>

ALBADÓ, Ricardo. **Energia eólica** – São Paulo: Altiliber Editora. 2002.

AMARANTE, Odilon A. *et al.* **Atlas do potencial eólico brasileiro. In: Atlas do potencial eólico brasileiro.** Ministério de Minas e Energia Eletrobrás, 2001.

AMARANTE, Odilon Antonio Camargo; SILVA, FJL da; RIOS FILHO, L. G. **Atlas eólico do Estado do Rio de Janeiro.** Rio de Janeiro, 2002.

**Atlas de Energia Elétrica do Brasil** – ANEEL. Disponível em [\\_www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/livro\\_atlas.pdf](http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/livro_atlas.pdf). Acesso em 20 de dez. de 2018.

**Boletim Anual de Geração 2017** - Acesso em 17 de jul. de 2018 disponível em <http://www.abeeolica.org.br/.../Boletim-Anual-de-Geracao-2017.pdf>

BRAZIL WINDPOWER - **Conferência e Exposição.** Disponível em: <http://www.brazilwindpower.com.br/blog/2018/8/9/o-futuro-offshore>. Acesso em 17 de out. de 2018

**CENTRO DE ESTRATÉGIAS EM RECURSOS NATURAIS E ENERGIA.** disponível em : <http://cerne.org.br/qual-o-estagio-de-desenvolvimento-de-eolicas-offshore-ao-redor-do-mundo/> Acesso em 16 de out. de 2018

CUSTÓDIO, Ronaldo dos Santos. **Energia eólica para produção de energia elétrica.** 2ª edição revista e ampliada. Rio de Janeiro: Synergia: Acta: Abeeólica, 2013.

Empresa de Pesquisa Energética – **matriz energética e elétrica** - disponível em <http://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em 17 de out. de 2018.

**Energia Eólica Offshore no Brasil** – disponível em: <http://www.petrobras.com.br/fatos-e-dados/estamos-desenvolvendo-o-primeiro-projeto-piloto-de-energia-eolica-offshore-do-brasil.htm> Acesso em 17 de out. de 2018

**GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL (GWEC).** Disponível em: <http://gwec.net/publications/global-wind-report-2/global-wind-report-2016/>. Acesso em 16 de out. de 2018

GOMES, Mateus Sant'Anna de Sousa *et al.* **Proposta de uma metodologia para utilização de energia eólica offshore no litoral Sudeste do Brasil.** 2018.

HORTA, Rui Pedro Oliveira Arrifana. Energias Renováveis. 2017. Tese de Doutorado.

MARTINS, Fernando Ramos; GUARNIERI, Ricardo André; PEREIRA, Enio Bueno. **O aproveitamento da energia eólica. Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 30, n. 1, p. 1304, 2008.

ORTIZ, G. P.; KAMPEL, M. **Potencial de energia eólica *offshore* na margem do Brasil**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. V simpósio Brasileiro de Oceanografia, Santos, 2011.

STÜKER, Eduardo. **Utilização de dados de reanálise na estimativa do potencial eólico bruto no estado do Rio Grande do Sul**. 2014.

TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno. **Perspectivas e planejamento do setor energético no Brasil**. Estudos avançados, v. 26, n. 74, p. 247-260, 2012.

VITERBO, Jean Carlo. **Geração de energia elétrica a partir da fonte eólica *offshore***. 2008. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.