

**Análise sazonal dos ventos de superfície do estado do Rio de Janeiro  
com base em dados do período 2007-2015**

**Seasonal analysis of surface winds in the state of Rio de Janeiro based  
on data for the period 2007-2015**

DOI:10.34117/bjdv8n8-228

Recebimento dos originais: 21/06/2022

Aceitação para publicação: 29/07/2022

**Donisete da Silva Pereira**

Mestrando em Engenharia Ambiental

Instituição: Instituto Federal Fluminense

Endereço: Rod. Amaral Peixoto, Km 164, Imboassica, Macaé - RJ, CEP: 27973-030

E-mail: donisete.pereira@yahoo.com.br

**Paulo Jacy Venturini da Motta Júnior**

Mestrando em Engenharia Ambiental

Instituição: Instituto Federal Fluminense

Endereço: Rod. Amaral Peixoto, Km 164, Imboassica, Macaé - RJ, CEP: 27973-030

E-mail: pjventurini31@gmail.com

**Paulo Guilherme Terra dos Santos**

Bacharel em Engenharia Ambiental

Instituição: Faculdade Católica Salesiana de Macaé

Endereço: Av. Santos Moreira, 445, Miramar, Macaé - RJ, CEP: 27943-200

E-mail: p.guilhermesms@hotmail.com

**Isabele de Brito Fortes**

Bacharel em Engenharia Ambiental

Instituição: Faculdade Católica Salesiana de Macaé

Endereço: Av. Santos Moreira, 445, Miramar, Macaé - RJ, CEP: 27943-200

E-mail: be.fortes@hotmail.com

**Hans Schmidt Santos**

Doutor em Geofísica

Instituição: Faculdade Católica Salesiana de Macaé, Observatório Nacional

Endereço: Av. Santos Moreira, 445, Miramar, Macaé - RJ, CEP: 27943-200

E-mail: hans.schmidt@live.com

**Ariane Raposo Nogueira Soares**

Pós-Graduada em Segurança Alimentar e Qualidade Nutricional

Instituição: Instituto Federal do Rio de Janeiro

Endereço: R. Sen. Furtado, 121/125, Maracanã, Rio de Janeiro - RJ, CEP: 20270-021

E-mail: ari\_raposo@hotmail.com

**Rogério Manhaes Soares**

Mestre em Engenharia Química pelo Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos pela Universidade Federal do Rio de Janeiro

Instituição: Universidade Federal do Rio de Janeiro

Endereço: Avenida Athos da Silveira Ramos, 274, Cidade Universitária, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro – RJ, CEP: 21941-916

E-mail: rogeriomanhaes5@gmail.com

**Felipe Barbosa Venâncio de Freitas**

Mestre em Geofísica

Instituição Observatório Nacional

Endereço: R. Gen. José Cristino, 77, Vasco da Gama, Rio de Janeiro - RJ, CEP: 20921-400

E-mail: felipebvenancio@gmail.com

**RESUMO**

Este artigo propõe a avaliação de dados de velocidades médias de vento para a determinação da sazonalidade dos ventos fluminenses, a partir de gráficos e mapas de velocidade do vento. Estes dados foram coletados numa escala temporal de nove anos, sendo oriundos de 16 estações com sensores localizados a 10 m de altura. Na elaboração dos mapas de velocidade do vento e dos gráficos foram utilizadas médias mensais, médias anuais e médias totais das velocidades do vento para cada estação. Através dos dados adquiridos, foi possível realizar uma análise individualizada para cada estação com variação temporal mensal e anual. Foi possível identificar no período estudado que as estações que apresentaram maiores velocidades médias foram Arraial do Cabo, Campos, Forte de Copacabana, Macaé, Marambaia, Pico do Couto e São Tomé. Além disso, foi possível notar que a temporada de ventos mais fortes no estado iniciou nos meses de agosto e setembro e terminou em janeiro e fevereiro do ano seguinte.

**Palavras-chave:** energia eólica, Rio de Janeiro, sazonalidade dos ventos.

**ABSTRACT**

This paper presents the analysis of average wind speeds to determine its seasonality in the state of Rio de Janeiro. Graphs and wind maps made from data collected in nine years of measurements in 16 stations with sensors located 10 m high. Maps and graphs, monthly, annual and total wind speed averages were made for each station. Thus, it was possible to carry out an individualized analysis for each station with monthly and annual variation and it was possible to identify in the period studied that the stations with the highest average speeds were Arraial do Cabo, Campos, Copacabana Fort, Macaé, Marambaia, Pico do Couto and São Tomé. Also, it was noted that the months in which there was the highest wind incidence in the state of Rio de Janeiro were January, February, August, September, October, November and December, and the months with the lowest incidence were March, April, May and June.

**Keywords:** wind energy, Rio de Janeiro, seasonality of the winds.

**1 INTRODUÇÃO**

A energia eólica vem sendo utilizada há milhares de anos para trabalhos

mecânicos como por exemplo o bombeamento de água e a moagem de grãos. Os trabalhos pioneiros para o fim de geração de eletricidade ocorreram no final do século XIX com as turbinas construídas por James Blyth e Charles Brush (ANEEL, 2002). Contudo, a necessidade da descarbonização do setor de geração elétrica vem impulsionando de forma acelerada pesquisas na área de energias renováveis como a eólica. Em geral, os ventos possuem ciclos anuais bem definidos, porém, estão sujeitos a variabilidade, além de possuírem relação com os fenômenos meteorológicos. Assim o entendimento de sua variabilidade sazonal e interanual é um dado muito importante que pode influenciar a geração de energia eólica (OLIVEIRA e COSTA, 2010).

Segundo Wallace e Hobbs (2006), o aquecimento diferencial entre latitudes baixas e altas dá origem a movimentos atmosféricos em uma ampla gama de escalas. A dinâmica atmosférica de larga escala envolve movimentos com escalas horizontais de centenas de quilômetros ou mais longas, escalas verticais na ordem da profundidade da troposfera e escalas de tempo da ordem de um dia ou mais. Os movimentos nessas escalas são diretos e fortemente influenciados pela rotação da Terra, estando em equilíbrio hidrostático.

A atividade dos ventos possui variações que dependem de fatores que impactam não apenas na direção e sentido, mas também seu comprimento. Essa variação pode ser justificada principalmente pelas coordenadas de latitude ou pela comparação de áreas ao nível do mar e localizadas nas montanhas. Além disso, o tipo de vegetação é um fator importante, pois afeta os aspectos de absorção e reflexão da radiação solar (PICOLO *et al.*, 2014).

O Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) é a característica dominante que influencia o estado do Rio de Janeiro em escala sinótica. Este sistema impulsiona os ventos de superfície predominantes ao longo da Costa Leste, combinado com a circulação da brisa terra-mar. Nas Costas Central e Oeste, a circulação da brisa terra-mar supera os ventos ASAS, com um fluxo próximo à superfície e produzindo um regime de vento perpendicular ao litoral. Nas Costas Leste e Central, os ventos predominantes do ASAS juntamente com a orientação da linha de costa são altamente favoráveis à ressurgência, caracterizados por baixa temperatura de superfície do mar próximo à costa, o que influencia a circulação local (DRAGAUD *et al.*, 2018).

O estado do Rio de Janeiro apresenta uma notável sazonalidade de ventos como resultado das frentes frias que agem justapostas ao mecanismo do ASAS. Esses fenômenos compõem as mais relevantes influências da escala sinótica na dinâmica atmosférica em que se nota mecanismo de mesoescala. Celeridade orográfica e

canalização de escoamento de montanhas são característicos nas regiões serranas. As regiões com ventos médios anuais mais intensos no estado, situam-se na região dos lagos, em Cabo Frio e Búzios, e também na região serrana, polígono Piraí-Vassouras-Petrópolis. Na região de Arraial do Cabo, os ventos tornam-se mais zonais e intensos durante a tarde devido à intensificação da brisa marítima. Na área montanhosa, os ventos mais intensos são encontrados nos picos, onde o efeito de compressão do escoamento atmosférico é mais acentuado. Ao longo do litoral, a influência da mesoescala é mais pronunciada, atuando através das brisas marinhas e terrestres, criando um ciclo diurno característico (AMARANTE, SILVA e RIOS FILHO, 2003).

A avaliação do comportamento dos ventos com finalidades técnicas depende do relevo, rugosidade aerodinâmica do terreno, presença de obstáculos e estabilidade térmica vertical da atmosfera que pode ser neutra, estável ou instável. Assim, a escolha do local de um empreendimento eólico depende da avaliação de diversos parâmetros, como a incidência de ventos, o terreno e suas influências no vento, a disposição dos aerogeradores, estudos climatológicos com medições de longo prazo próximas ao local, e também avaliações das variações temporais do vento (AMARANTE, SILVA e RIOS FILHO, 2003; AMARAL, 2011).

Dessa forma, o presente estudo se propõe a contribuir com a avaliação da sazonalidade dos ventos através de dados de velocidade de ventos fornecidos pelo INMET do período de 2007 a 2015. Os dados obtidos foram interpretados através de gráficos de cada estação meteorológica e da elaboração de mapas de velocidade do vento mensais. Os resultados obtidos foram comparados com o Atlas Eólico do Rio de Janeiro que foi elaborado com dados das décadas de 80 e 90, tratando-se, portanto, de dados mais antigos. Assim, o presente trabalho pode ser usado como atualização para as estações estudadas por usar dados mais recentes quanto à sazonalidade, além de apresentar e interpretar dados de estações de forma individualizada no estado do Rio de Janeiro.

## **2 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1 AQUISIÇÃO DOS DADOS**

Foram obtidos dados de dezesseis estações meteorológicas automáticas (EMA) do INMET (Figura 1), contendo nove anos de dados medidos a 10 m de altura, com alguns períodos de exceções devido à manutenção. Estas estações são específicas para aquisição de dados meteorológicos como temperatura, umidade, pressão atmosférica, precipitação, direção e velocidade dos ventos e radiação solar.

Figura 1 – Típica Estação Meteorológica Automática – EMA.



Fonte: Borges (2015).

O sensor utilizado, Vaisala WT521, é um instrumento de pequeno porte controlado por microprocessador que realiza medidas a cada 0,25 segundos e usa esses valores de amostragem para calcular a média móvel de 3 segundos para a velocidade e a direção do vento. A EMA recebe esses valores através de uma interface digital serial e os usa como variáveis de entrada para calcular as médias e as velocidades de rajada. Então a cada hora completada, os dados são integralizados e transmitidos para a sede do INMET, em Brasília. Os dados recebidos são validados e armazenados em um banco de dados, sendo disponibilizados gratuitamente em tempo real para os últimos 365 dias através da internet (INMET, 2011).

## 2.2 LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES

Na Tabela 1 encontram-se as coordenadas e a altitude correspondente e na Figura 2 a localização das estações meteorológicas cujos dados foram cedidos.

Tabela 1 – Coordenadas das estações meteorológicas utilizadas.

<b>Estação Meteorológica</b>	<b>Longitude</b>	<b>Latitude</b>	<b>Altitude (m)</b>
<b>ARRAIAL DO CABO</b>	-42,000	-22,966	4,00
<b>CAMBUCI</b>	-41,950	-21,566	35,00
<b>CAMPOS</b>	-41,350	-21,700	25,00
<b>ECOLOGIA AGRÍCOLA</b>	-43,683	-22,800	34,00
<b>FORTE DE COPACABANA</b>	-43,183	-22,983	45,00
<b>MACAÉ</b>	-41,816	-22,383	32,00
<b>MARAMBAIA</b>	-43,600	-23,050	9,70
<b>NOVA FRIBURGO</b>	-42,666	-22,316	1046,00
<b>PARATI</b>	-44,716	-23,216	4,00
<b>PICO DO COUTO</b>	-43,283	-22,450	1777,00
<b>RESENDE</b>	-44,450	-22,450	439,89
<b>SÃO TOMÉ</b>	-41,050	-22,033	8,00
<b>TERESOPOLIS</b>	-42,983	-22,433	980,00
<b>VALENÇA</b>	-43,700	-22,350	367,00
<b>VILA MILITAR</b>	-43,400	-22,850	45,00
<b>XERÉM</b>	-43,266	-22,583	33,00

Figura 2 – Mapa da distribuição por mesorregiões das estações meteorológicas utilizadas e empreendimentos eólicos existentes no estado do Rio de Janeiro.



Fonte: adaptado de IBGE (2017).

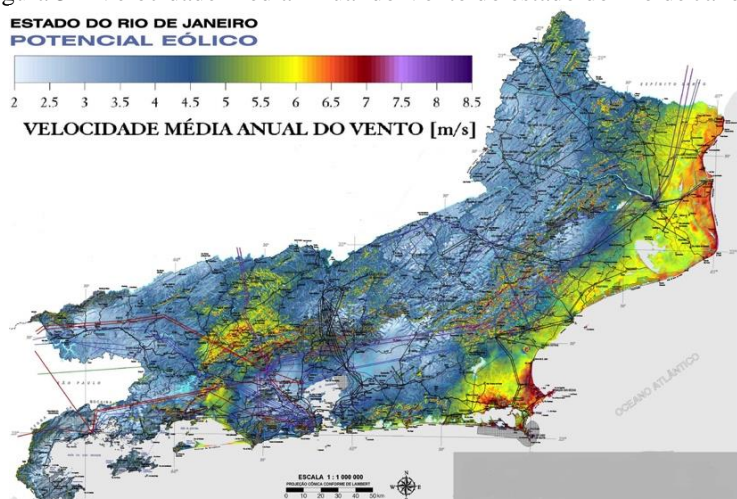
### 2.3 DADOS FORNECIDOS

Foram cedidos dados de dezesseis estações meteorológicas distribuídas pelo estado do Rio de Janeiro. São nove anos de dados fornecidos diretamente pelo INMET em planilhas no formato “.xls”. Estas planilhas de cada estação apresentam aproximadamente quatro mil linhas e setenta colunas com as médias horárias de velocidade do vento em m/s para cada dia do ano, que posteriormente foram processadas para obtenção da média mensal para cada ano.

### 2.4 VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS

Foi utilizado como base de comparação para validação dos resultados o modelo mesoescala MesoMAP (TrueWind Solutions, LLC) com resolução 3,6 km x 3,6 km e interpolado para resolução 200 m x 200 m através de simulação atmosférica pelo software WindMAP. Esse modelo construído por Amarante, Silva e Rios Filho (2003) a partir de medições anemométricas em torres de 50 m e 60 m de altura, encontra-se disponível no Atlas Eólico do Rio de Janeiro (Figura 3).

Figura 3 – Velocidade Média Anual do Vento do estado do Rio de Janeiro.



Fonte: adaptado de Amarante, Silva e Rios Filho (2003).

### 3 RESULTADOS

Foram utilizados três softwares no processamento dos dados adquiridos:

- I) Excel, para processar as planilhas e transformá-las em gráficos de acordo com as velocidades médias dos ventos de estação;
- II) Oasis Montaj/Geosoft, para processar as planilhas e transformá-las em mapas de velocidade do vento de acordo com as coordenadas e as velocidades médias dos ventos. Este software é responsável pela interpolação dos dados das diferentes localidades, preenchendo desta forma as regiões do mapa que não possuem dados;
- III) Qgis, para elaboração e edição das imagens e marcação da localização das estações meteorológicas responsáveis pela aquisição dos dados.

Foram confeccionados gráficos e mapas de velocidade do vento. Para os mapas de velocidade do vento, foi utilizada uma escala de cores das velocidades médias dos ventos. As imagens foram obtidas por meio de interpolação por mínima curvatura com célula de 25 km.

#### 3.1 ANÁLISE DAS VELOCIDADES MÉDIAS MENSAIS

A análise das velocidades médias mensais foi realizada para as localidades estudadas, assim sendo possível observar o comportamento eólico para cada uma delas ao longo do tempo por meio de gráficos apresentados em 3.1.1 e mapas com médias mensais de todo o período estudado em 3.1.2.

### 3.1.1 Gráficos de médias mensais das velocidades de cada estação

Nas Figuras 4 e 5 são apresentados os resultados do processamento dos dados para as diferentes localidades na forma de gráficos de médias mensais de velocidade do vento de todos os anos estudados.

As estações que não apresentaram médias mensais acima de 3 m/s durante o período estudado foram Cambuci, Ecologia Agrícola, Nova Friburgo, Parati, Resende, Teresópolis, Valença, Vila Militar e Xerém.

Destaca-se a situação da estação A618 de Teresópolis que está localizada em altitude superior a 980 m, porém teve baixo desempenho com velocidades inferiores a 1,00 m/s com exceção de janeiro e setembro. Esse baixo desempenho é atribuído à localização da estação que fica cercada por densa Mata Atlântica no Parque Nacional da Serra dos Órgãos, além de estar rodeada por morros e regiões de maiores altitudes como Agulhinha (1470 m), Capucho do Frade (1730 m), Santo Antônio Mirim (1319 m), Pedra do Elefante (1180 m) e Serra dos Cavalos (1416 m).

Figura 4 – Gráficos de média mensal de velocidade do vento a 10 m de altura.

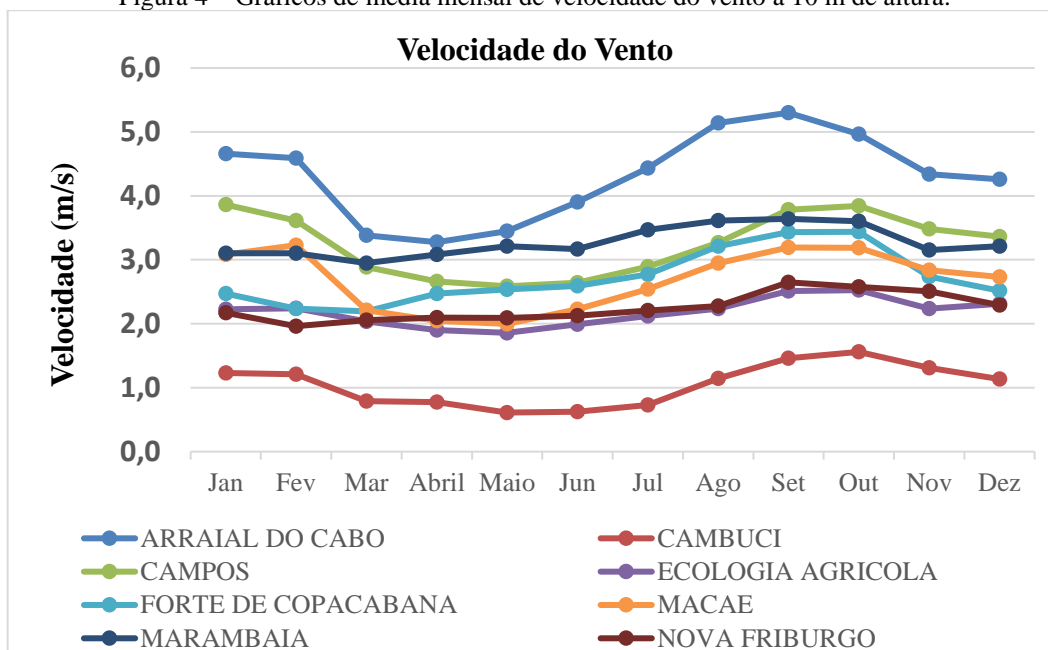
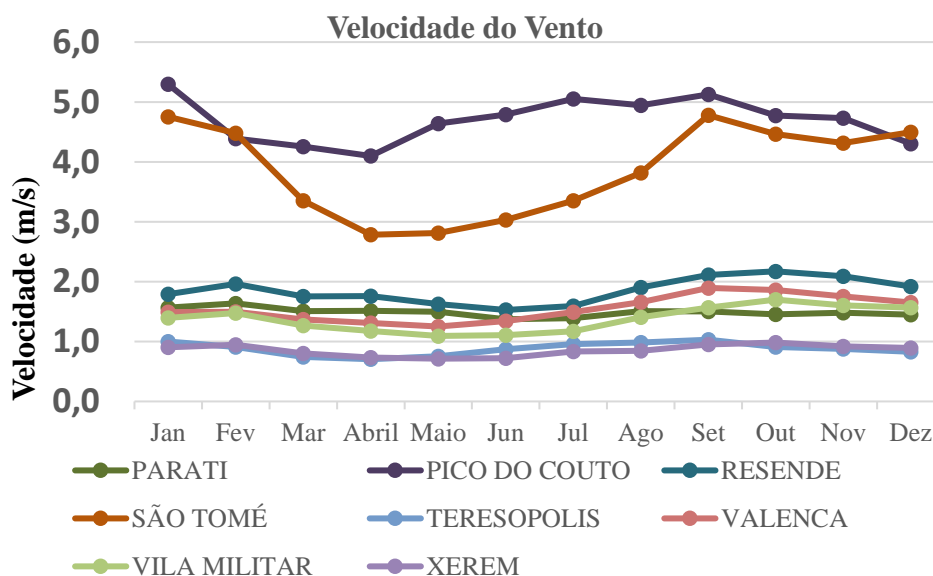




Figura 5 – Gráficos de média mensal de velocidade do vento a 10 m de altura.



Apenas duas localidades indicam uma intensidade do vento superior a 3 m/s em todo o ano, são elas Arraial do Cabo e Pico do Couto, porém esta última com aspectos geográficos desfavoráveis para exploração eólica. Contudo, algumas outras estações apresentaram velocidades médias de vento mensais superiores a 3 m/s em algum momento no período estudado. Assim, são destacadas as seguintes estações:

### 3.1.1.1 Arraial do Cabo

A estação A606 de Arraial do Cabo é localizada na Praia dos Anjos no nível do mar. Aqui foi possível notar que os meses de março, abril, maio e junho são de menor incidência eólica, atingindo velocidades médias superiores a 3 m/s e inferiores a 4 m/s. Já os meses de janeiro, fevereiro, julho, outubro, novembro e dezembro apresentaram velocidades médias superiores a 4 m/s e inferiores a 5 m/s. Em geral foi uma das estações com melhores resultados entre as avaliadas. Nota-se também no gráfico, a influência do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul que se fortalece em sua migração do norte para o sul, o que normalmente ocorre com a chegada da primavera, fazendo desta estação do ano a mais propícia para os ventos, conforme verificado no gráfico.

### 3.1.1.2 São Tomé – Campos dos Goytacazes

A estação meteorológica A620 é localizada adjacente à Praia do Farol e também no nível do mar. A Estação São Tomé no período estudado apresentou velocidades médias mensais superiores a 3 m/s. Apenas abril e maio ficaram abaixo desta média. Em alguns

meses as médias chegaram muito próximas a 5 m/s. Os meses de janeiro, fevereiro, setembro, outubro, novembro e dezembro apresentaram médias entre 4 e 5 m/s. Já os meses de março, junho, julho e agosto apresentaram médias entre 3 e 4 m/s.

#### 3.1.1.3 Forte de Copacabana – Rio de Janeiro

A estação A652 é localizada no interior do Parque Garota de Ipanema próximo às praias do Arpoador e do Forte de Copacabana. Foi possível notar que os meses de janeiro, fevereiro, março, abril, maio, junho, julho, novembro e dezembro apresentam menor incidência de ventos, inclusive com velocidades médias inferiores a 3 m/s. Já os meses de agosto, setembro e outubro apresentam médias superiores a 3 m/s e inferiores a 4 m/s.

#### 3.1.1.4 Marambaia – Rio de Janeiro

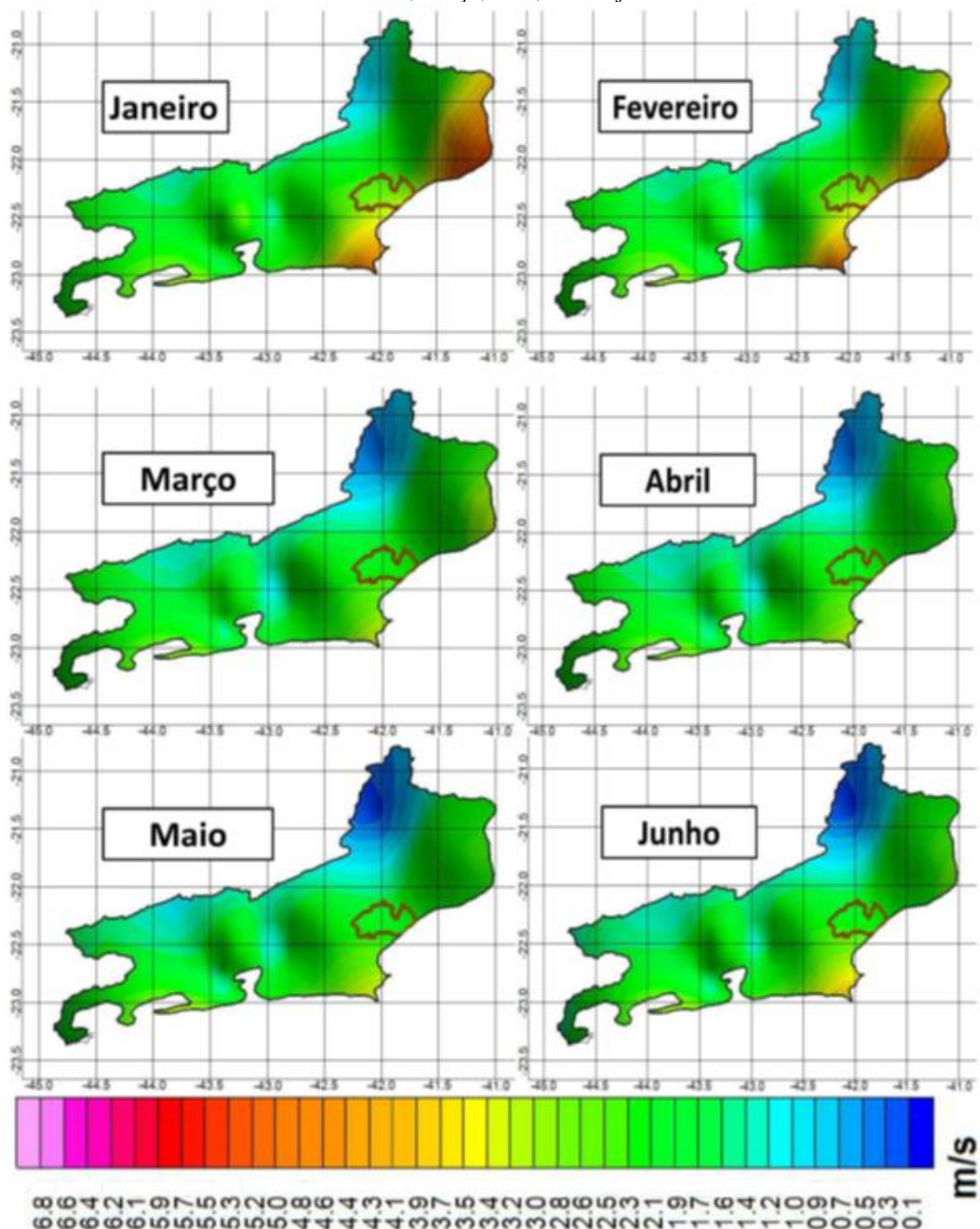
A estação meteorológica A602 da Restinga da Marambaia se localiza em área de preservação permanente (APP) no litoral carioca. A estação no período estudado apresentou velocidades médias mensais superiores a 3 m/s, sendo que apenas o mês de março ficou abaixo desta média. Foi possível notar quase uma linearidade próxima da média de 3 m/s, com variação positiva pouco significativa nos meses de julho, agosto, setembro e outubro.

### 3.1.2. Mapas de velocidade do vento mensais

Foram confeccionados mapas de velocidade do vento (Figuras 6 e 7) com base em dados das estações distribuídas no estado do Rio de Janeiro. Apesar de poucas estações usadas e de não se considerar o relevo como altitude, rugosidade, obstáculos e outras características do terreno importantes, as imagens apresentaram boa compatibilidade com o modelo disponível no Atlas Eólico do Rio de Janeiro publicado no ano de 2003 (Figura 3).

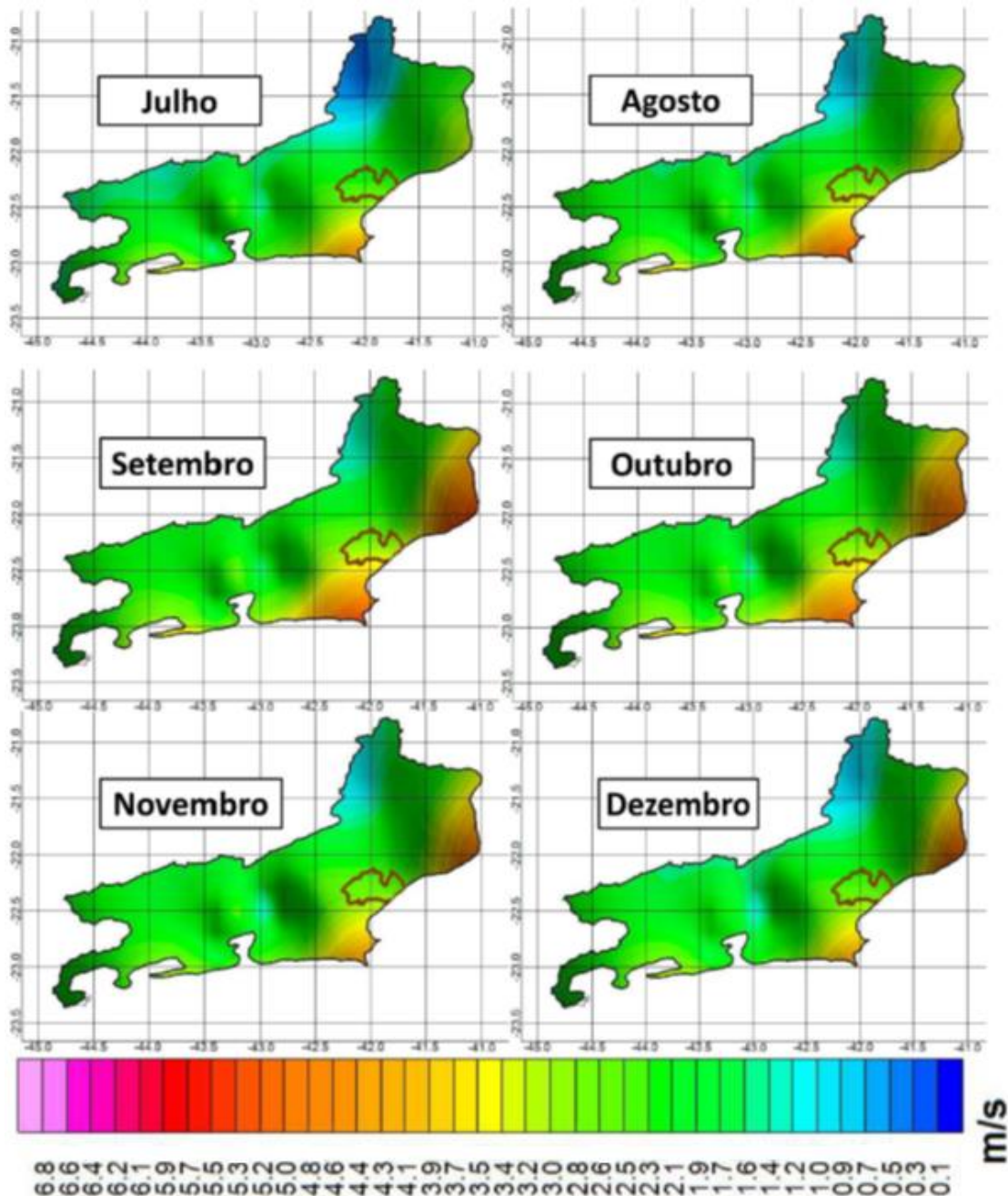
A análise dos mapas de velocidade do vento de médias mensais mostrou que no período estudado, o mês com maior incidência eólica no estado do Rio de Janeiro foi setembro e o mês que apresentou menor incidência foi abril. A temporada de ventos mais fortes no estado iniciou nos meses de agosto ou setembro e terminou em janeiro ou fevereiro do ano seguinte. Mostrando desta forma que a primavera, o verão e o inverno, em ordem decrescente, possuem maior incidência eólica, enquanto o outono, apresenta pouca.

Figura 6 – Mapa de velocidade do vento para o estado do Rio de Janeiro com destaque ao município de Macaé com base em 16 estações e medições efetuadas a 10 m de altura para os meses de janeiro, fevereiro, março, abril, maio e junho.



Nota-se também que as mesorregiões do estado do Rio de Janeiro que apresentaram maior incidência de ventos são Baixadas, Norte Fluminense e a região sudoeste da Metropolitana. Em geral, o litoral do estado apresentou melhores índices de velocidades de vento e as regiões mais interiores ao continente apresentaram menor incidência eólica, com algumas exceções, como por exemplo regiões de maiores altitudes.

Figura 7 – Mapa de velocidade do vento para o estado do Rio de Janeiro com destaque ao município de Macaé com base em 16 estações e medições efetuadas a 10 m de altura para os meses de julho, agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro.



Na análise dos dados, vale destacar a influência do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) que é um sistema de pressão meteorológico permanente da circulação atmosférica global, com o centro localizado no Oceano Atlântico entre o Brasil e a África. Ao longo do ano, o ASAS varia em intensidade e posição, podendo se aproximar ou se afastar do litoral fluminense. Durante o inverno o ASAS é mais intenso e estende-se para oeste sobre a região Sudeste do Brasil, contribuindo com ventos mais

intensos, enquanto no verão o ASAS é mais fraco e retraído para leste, contribuindo com condições de ventos mais fracos (CARPENEDO e AMBRIZZI, 2020).

Como o ASAS apresenta variações sazonais, os ventos registrados no litoral do estado do Rio de Janeiro inicialmente deveriam apresentar suas variações nessa mesma escala temporal. Contudo, outros fatores também influenciam o regime de ventos fluminense como incursões de massas polares e mecanismos de mesoescala como brisas marinhas e terrestres que possuem um ciclo diurno característico, de forma que em geral os maiores índices de vento no estado são encontrados nos meses da primavera e os menores índices encontrados no início do inverno.

Segundo Elias (2009), o ASAS é localizado mais a norte e a oeste no período de inverno. Porém, geralmente ocorrem ao longo do ano duas oscilações longitudinais e com isso ele ocupa sua posição mais a leste em outubro e abril, já sua posição mais a oeste ocorre entre julho e agosto e também entre janeiro e março. Já o fortalecimento do ASAS ocorre com sua migração do norte para o sul já no início da primavera. Essa influência do ASAS foi observada nas figuras 6 e 7, com bons índices de vento em janeiro e fevereiro com o ASAS mais a oeste e entre julho a novembro com o ASAS mais oeste até setembro e depois mais ao sul, sendo fortalecido. Por outro lado, foram verificados índices de vento muito baixos em torno do mês de abril com o ASAS mais a leste.

Devido à grande disparidade nas altitudes do território fluminense, inicialmente se espera que as estações localizadas em serras registrem valores médios superiores comparados com estações mais próximas ao nível do mar. Contudo, o ASAS mantém, predominantemente, ventos soprando do quadrante leste na direção do continente, por isso, ventos registrados próximos ao litoral tendem a ser mais intensos que aqueles registrados no interior do continente, no qual ocorrem outras contribuições importantes como acelerações orográficas e canalizações do escoamento entre as montanhas.

### 3.2 ANÁLISE DAS VELOCIDADES MÉDIAS ANUAIS

Em geral, as estações estudadas apresentaram pouca variação de velocidade ao longo dos anos. Os resultados foram apresentados nas Figuras 8 e 9:

Figura 8 – Velocidades médias de vento anuais de 8 estações do estado do Rio de Janeiro no período 2007-2015.

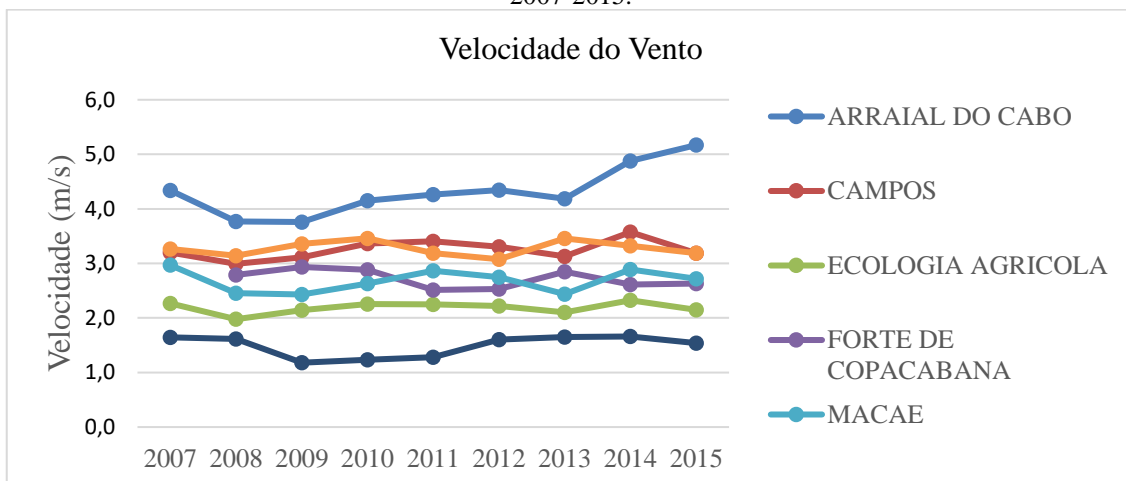
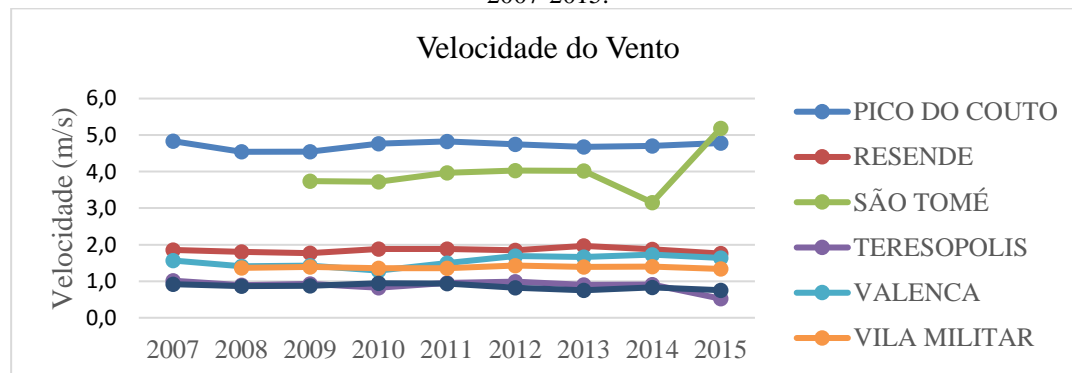


Figura 9 – Velocidades médias de vento anuais de 8 estações do estado do Rio de Janeiro no período 2007-2015.



Não foi possível se proceder a média anual de algumas estações em determinados anos, devido a essas estações se apresentaram em manutenção por longos períodos. Logo, a inclusão desses dados poderia acarretar uma “média falsa”, pois a carência de dados em meses de maior velocidade iria gerar uma média subestimada e nos períodos de menor velocidade iria acarretar uma média superestimada. Foram os casos de Cambuci, Forte Copacabana, Nova Friburgo, São Tomé e Vila Militar.

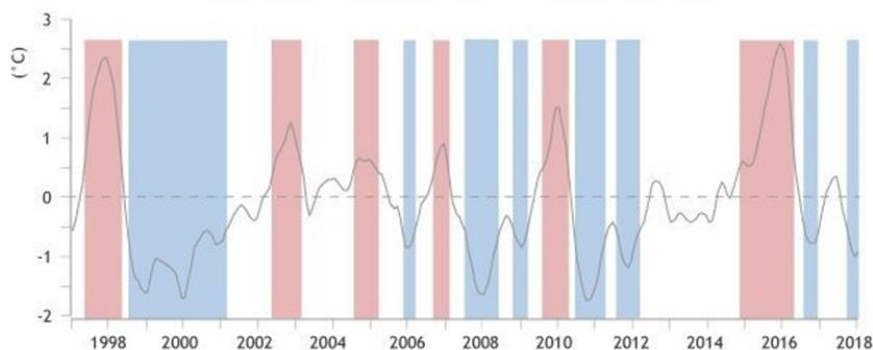
Analisando o desvio padrão, percebe-se pouca variação ao longo dos anos. As estações com maiores variações na velocidade dos ventos ao longo dos anos foram Arraial do Cabo (0,5 m/s) e Farol de São Tomé (0,6 m/s), ambas estações litorâneas e com ventos mais fortes. Por outro lado, as estações com menores variações ao longo dos anos foram Nova Friburgo (0,1 m/s), Resende (0,1 m/s), Xerém (0,1 m/s) e Vila Militar (0,1 m/s) que são estações mais interiores e com menor velocidade média de vento.

Mesmo com a ausência de algumas estações nos primeiros anos, quanto à média geral, pode-se perceber uma pequena queda na velocidade média registrada nos anos de 2008, 2009 e 2013.

Nesse contexto, outra análise importante pode ser feita avaliando as condições climáticas durante o período estudado, quanto ao El Niño Oscilação Sul (ENOS) e os padrões da Alta Subtropical do Atlântico. Passos *et al.* (2012) analisaram o comportamento da circulação oceânica em eventos El Niño e La Niña. Segundo os autores, apesar do El Niño enfraquecer os ventos alíseos e a La Niña fortalecer os ventos alíseos, na análise realizada por eles, o comportamento inverso ocorreu quanto ao Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul, que foi fortalecido no El Niño e enfraquecido na La Niña.

A Figura 10 apresenta o comportamento dos eventos ENOS de 1998 até 2018, englobando o período estudado neste trabalho.

Figura 10 – Diferença da temperatura média das águas do Pacífico. Eventos em vermelho denotam o El Niño, eventos em azul denotam La Niña e em branco eventos de neutralidade.



Adaptado de Lindsay (2018).

Comparando as Figuras 8 e 9 com a Figura 10, notam-se menores médias anuais de velocidades de ventos nos anos 2008 e 2009 com eventos La Niña e enfraquecimento do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul e em 2013 com neutralidade. Por outro lado, em 2010 quando ocorreu o evento El Niño, não foi notado aumento da velocidade dos ventos que ficou com valores próximos da média.

Porém, Arraial do Cabo que é uma cidade litorânea com estação de medição localizada no nível do mar e mais precisamente na Praia dos Anjos, cujo regime de ventos é fortemente influenciado pelo Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul, teve suas maiores medições no ano de 2015 que conforme Figura 10, houve um forte evento El Niño neste ano e um fortalecimento do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul. Além

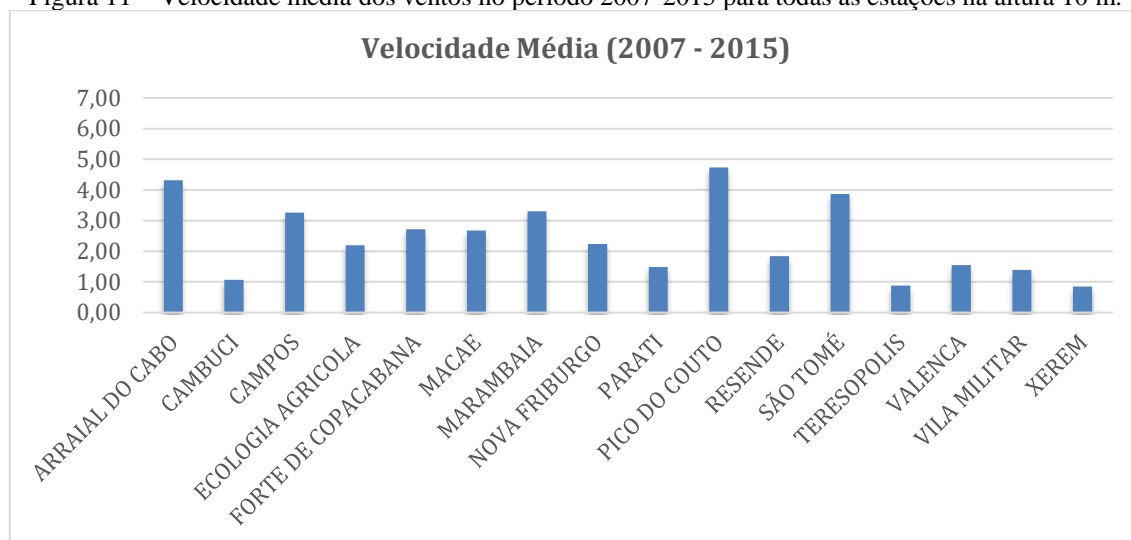
de Arraial do Cabo, também fica na mesma condição a estação São Tomé localizada na Praia do Farol em Campos, e que teve um grande aumento na velocidade média do vento no ano de 2015.

### 3.3 ANÁLISE DAS VELOCIDADES MÉDIAS NO PERÍODO TOTAL 2007-2015

A análise das velocidades médias foi realizada para cada localidade estudada no período de nove anos. Dessa forma, torna-se possível a visualização do perfil comportamental do vento de forma geral no estado do Rio de Janeiro.

Na Figura 10 é apresentado o resultado do processamento dos dados para as diferentes localidades. Trata-se de um gráfico que representa o comportamento eólico para todas as localidades estudadas. A Figura 11 apresenta o resultado do processamento dos dados, agora na forma de mapa de velocidade do vento confeccionado por meio de interpolação por mínima curvatura com células de 25 km que representa o comportamento eólico com dados de todo o período estudado no estado do Rio de Janeiro.

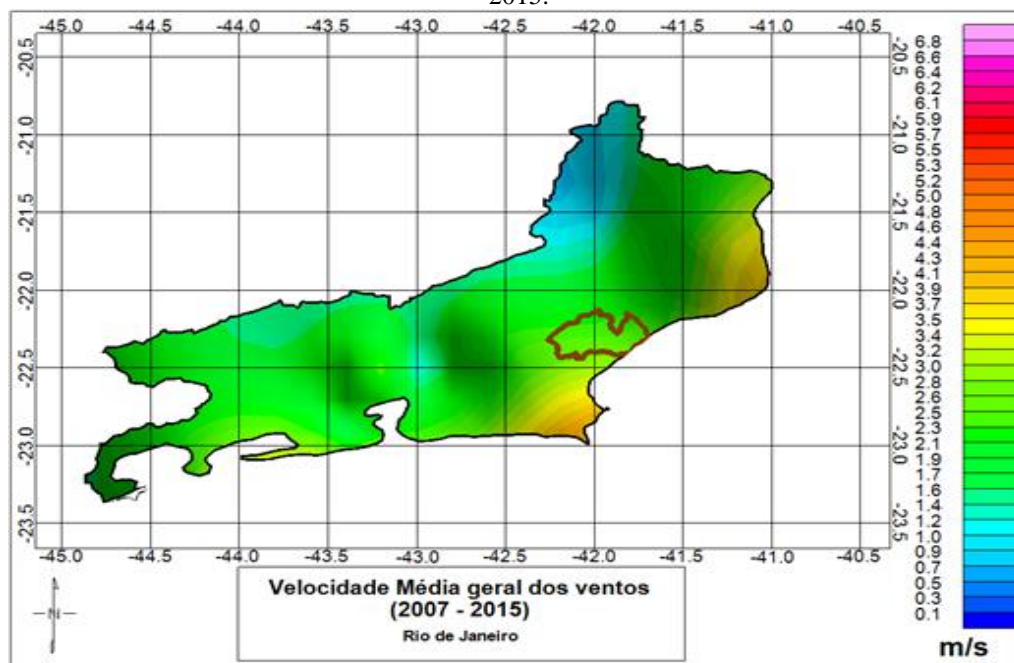
Figura 11 – Velocidade média dos ventos no período 2007-2015 para todas as estações na altura 10 m.



Conforme visualizado na Figura 11, as localidades que apresentaram maior destaque dentre as estudadas foram Arraial do Cabo, Campos, Marambaia, Pico do Couto e São Tomé. As estações Forte de Copacabana, Ecologia Agrícola, Macaé e Nova Friburgo apresentaram velocidades médias intermediárias e inferiores a 3 m/s. Já as estações Cambuci, Parati, Resende, Teresópolis, Valença, Vila Militar e Xerém apresentaram velocidades médias mais baixas, próximas a 1 m/s.



Figura 12 – Mapa interpolado para velocidade média dos ventos a 10 m de altura para o período de 2007-2015.



De acordo com Figura 12, as mesorregiões do estado do Rio de Janeiro que apresentaram maior incidência de ventos a 10 metros são Baixadas, Norte Fluminense e o Sudoeste Metropolitana. De forma geral, o litoral do estado apresentou os maiores índices de velocidades de vento, enquanto que as regiões mais interiores ao continente apresentam menor incidência eólica. Contudo, para uma caracterização do perfil eólico, faz-se necessário executar medições em maiores alturas ou promover extrapolação dos dados para altitudes maiores e comuns de aerogeradores como 50 m, 70 m e 100 m por exemplo, o que só pode ser feito com medições em alturas diferentes ou conhecendo-se a rugosidade do terreno por meio de levantamento de campo.

Por fim, o mapa obtido se apresentou compatível com o apresentado no Atlas Eólico do Rio de Janeiro (Figura 3) publicado no ano de 2003.

#### 4 CONCLUSÕES

Foram construídos mapas de velocidade do vento e gráficos indicadores da velocidade média do vento a 10 m de altura no período 2007 a 2015. Após avaliação dos resultados foi possível observar as variações das velocidades médias do vento e sua sazonalidade ao longo dos meses e anos dentro do período estudado, fazendo-se associações com eventos ASAS e ENOS e suas flutuações.

Dentre as estações estudadas, apresentaram maior destaque Arraial do Cabo, Campos, Forte de Copacabana, Macaé, Marambaia, Pico do Couto e São Tomé. E as

estações que apresentaram regimes eólicos com menor destaque foram Cambuci, Ecologia Agrícola (Seropédica), Nova Friburgo, Parati, Resende, Teresópolis, Valença, Vila Militar (Rio de Janeiro) e Xerém. Da mesma forma, é possível identificar as mesorregiões do estado do Rio de Janeiro que apresentaram maior incidência de ventos a 10 m: Baixadas, Norte Fluminense e o Sudoeste da Metropolitana.

Como limitação do trabalho realizado, vale ressaltar que foi baseado em dados de apenas 16 estações e que o perfil comportamental eólico de determinada localidade não deve ser medido e previsto apenas por dados de uma única estação, pois estas localidades apresentam vasta área territorial e diferentes rugosidades. Logo, para a determinação ideal do perfil comportamental eólico, as medições de vento devem ser realizadas em diferentes alturas e ao longo de toda a área em estudo. Em especial, para se poder extrapolar a velocidade para alturas típicas de grandes aerogeradores (entre 60 e 90 metros), faz-se necessário conhecer a rugosidade do local e/ou se ter pelo menos duas medições para alturas diferentes em campo. Entretanto, os resultados apresentados neste trabalho se mostraram compatíveis com o modelo disponível no Atlas Eólico do Rio de Janeiro de 2003 feito com dados mais antigos das décadas de 80 e 90, e os gráficos com resultados individuais de cada estação podem ser usados como base para outros estudos.

De forma geral, o litoral do estado apresentou os maiores índices de velocidade do vento a 10 m, enquanto que regiões mais interiores ao continente, apresentaram menor incidência eólica, excedendo os cumes de montanhas, que na maioria das vezes são áreas de preservação permanente devido a sua inclinação, tornando tal potencial inaproveitável de certa forma.

Quanto às variações anuais da velocidade de ventos no período estudado, percebeu-se pouca variação ao longo dos anos. As estações com maiores variações na velocidade dos ventos foram as estações litorâneas e com ventos mais fortes. Por outro lado, as estações com menores variações ao longo dos anos foram as estações interiores com menor velocidade média de vento.

Foi notada a influência do ASAS principalmente nas estações litorâneas que apresentaram bons índices de vento em janeiro e fevereiro com o ASAS mais a oeste e entre julho a novembro com o ASAS mais oeste até setembro e depois desse mês mais ao sul, sendo fortalecido. Já em torno do mês de abril com o ASAS enfraquecido e localizado mais ao leste foram verificados os menores índices de vento do ano. Já quanto ao El Niño Oscilação Sul (ENOS), notou-se que o ano de 2015 marcado por fortalecimento do ASAS por evento ENOS positivo pode ter influenciado o regime de ventos das regiões litorâneas

do estado, especialmente São Tomé e Arraial do Cabo.

Por fim, notou-se que os meses em que houve maior incidência eólica no estado do Rio de Janeiro foram janeiro, fevereiro, agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro, e os meses que apresentaram menor incidência foram março, abril, maio e junho. Assim, a maior incidência eólica foi verificada em ordem decrescente em primavera, verão, inverno e outono.

## REFERÊNCIAS

AMARAL, B. M. Modelos VARX para **Geração de Cenários de Vento e Vazão Aplicados à Comercialização de Energia**. Rio de Janeiro, 2011. 155p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

AMARANTE, O. A. C.; SILVA, F. J. L.; RIOS FILHO, L. G. **Atlas Eólico do Estado do Rio de Janeiro**. Camargo Schubert Engenharia Eólica, Secretaria de Estado de Energia, Indústria Naval e do Petróleo, 2003.

ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. Agência Nacional de Energia Elétrica. Brasília: ANEEL, 153 p. 2002.

AWS Scientific, Inc., *Wind Resource Assessment Handbook*. National Renewable Energy Laboratory. *WindPower '96 Training Seminar Edition, Denver, CO, June 23<sup>th</sup>, 1996*.

BORGES, L. **Estações Meteorológicas**. SEAGRO, Secretaria da Agricultura e Pecuária de Tocantins. 2015. Disponível em: <<http://seagro.to.gov.br/noticia/2015/9/2/governo-e-inmet-to-ampliam-rede-de-estacoes-meteorologicas-no-estado/>>.

CARPENEDO, C. B., AMBRIZZI, T. **Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul Associado ao Modo Anular Sul e Impactos Climáticos no Brasil**. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 35, n. 4, 605-613, 2020.

COOK, N J. *Designers guide to wind loading of building structures*. Part 1. United States: N. p., 1986.

ELIAS L. M. C. **Variabilidade Interanual da Ressurgência de Cabo Frio – RJ**. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2009.

GIANNINI, M.; DUTRA, R.M.; GUEDES, V.G. **Estudo Prospectivo do Mercado de Energia Eólica de Pequeno Porte No Brasil**. Brasil WindPower 2013. Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL), 2013.

GWEC – Global Wind Energy Council. **Global Wind 2015 Report**, 2015. Disponível em: <[http://www.gwec.net/wp-content/uploads/vip/GWEC-Global-Wind-2015-Report\\_April-2016\\_22\\_04.pdf](http://www.gwec.net/wp-content/uploads/vip/GWEC-Global-Wind-2015-Report_April-2016_22_04.pdf)>.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Banco de Dados**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/>>.

INMET. **Rede de Estações Meteorológicas Automáticas do INMET**. Brasil, 2011. 11 p.

LINDSAY, R. *Did global warming stop in 1998?* NOAA, HomeNews & Features Climate Q&A. 2018. Disponível em: <https://www.climate.gov/news-features/climate-qa/did-global-warming-stop-1998>.

OBERMEIER, J. L., BLITTERSDORF, D., **Quality, Precision and Accuracy of the Maximum Anemometer**, presented at the American Wind Energy Association National

Conference "WindPower 96" in Denver, Colorado, 23-27 June 1996. Published at AWEA conference proceedings.

OLIVEIRA, J. L.; COSTA, A. A. **Estudo de Variabilidade do Vento em Escala Sazonal sobre o Nordeste Brasileiro Utilizando o RAMS: Os Casos De 1973-1974 E 1982-1983.** Revista Brasileira de Meteorologia, v.26, n.1, 53 - 66, 2011.

PASSOS, E., CABRAL, L. S., DECCO, H. T., ASSAD, L. P. F., LANDAU, L. Análise do comportamento da circulação oceânica e atmosférica em eventos de El Niño e La Niña. UFRJ. 2012.

SILVA, G. T., MENDES, L. F. R., BARCELLOS, R. G. S. **Determinação do Rendimento de Sistema Eólico Autônomo para Irrigação no Polo de Inovação Campos dos Goytacazes/ RJ.** Revista Brasileira de Energias Renováveis, v.6, n.4, p. 727-747, 2017.

WALLACE, J.M., HOBBS, P.V., *Atmospheric Science: An Introductory Survey.* Second Edition, Elsevier Inc, 2006.