



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

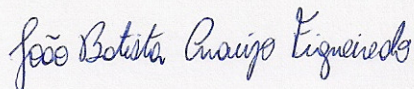


## Previsão de Vento em Altíssima Resolução em Região de Topografia Complexa

### RELATÓRIO DO PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC/CNPq/INPE)

João Batista Araujo Figueiredo (UFRJ, Bolsista PIBIC/CNPq)

E-mail: [joaofigueiredo\\_123@hotmail.com](mailto:joaofigueiredo_123@hotmail.com)



Dra. Chou Sin Chan (CPTEC/INPE, Orientadora)

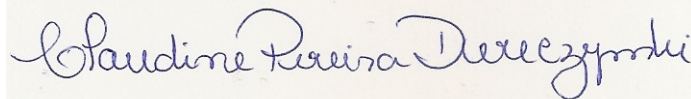
E-mail: [chou.sinchan@cptec.inpe.br](mailto:chou.sinchan@cptec.inpe.br)



### COLABORADORES

Dra. Claudine Pereira Dereczynski (IGEO/UFRJ)

E-mail: [claudinedereczynski@gmail.com](mailto:claudinedereczynski@gmail.com)



Julho de 2014

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	2
2. DADOS E METODOLOGIA .....	3
3. RESULTADOS .....	5
4. CONCLUSÕES PRELIMINARES .....	10
5. PRÓXIMAS ETAPAS .....	11
BIBLIOGRAFIA.....	12

## 1. INTRODUÇÃO

Grande parte do Estado do Rio de Janeiro, assim como a cidade de Angra dos Reis, localizam-se em regiões topograficamente complexas. Angra dos Reis é caracterizada pelo intenso contraste entre a região litorânea e a montanhosa, o que gera circulações atmosféricas locais criando forçantes dinâmicas.

Devido à complexa topografia, que gera circulações de escalas locais, os modelos numéricos não conseguem prever corretamente os regimes dos ventos, tendo suas acurácias prejudicadas. As informações da magnitude ou características dos erros das previsões dos modelos numéricos contribuem para identificar técnicas que possam aumentar a qualidade das previsões e de seu desempenho onde a região topográfica seja relativamente difícil de ser modelada.

O estudo do ciclo diurno e sazonal médio do vento e também da temperatura da região da usina de Angra dos Reis, através de dados observacionais, é de extrema importância para entender a complexidade da circulação local, que associado com a modelagem pode representar uma importante ferramenta que auxilie o sistema de emergência da usina eletronuclear com a intenção de estimar as direções e intensidades das doses radioativas espalhadas numa possível situação de acidente nuclear.

O principal objetivo deste trabalho é aumentar a acurácia da previsão dos ventos no entorno da região de complexa topografia de Angra dos Reis. A melhoria na qualidade da previsão será buscada por métodos dinâmicos, a partir do modelo atmosférico Eta/INPE, e por métodos estatísticos, a partir de correção estatística das previsões. Este trabalho apoiará o sistema de emergência da Usina Nuclear de Angra dos Reis. Uma versão do modelo Eta na resolução de 1 km foi desenvolvida e fornece previsões para região litorânea.

Nesta etapa do trabalho realiza-se uma investigação preliminar dos dados observacionais de temperatura e ventos em 10, 60 e 100 metros, coletados da Torre A da Usina Nuclear de Angra dos Reis, durante o período de dezembro de 2009 a novembro de 2010 (1 ano).

## 2. DADOS E METODOLOGIA

A metodologia aplicada nesta primeira fase do trabalho, baseia-se em análise dos dados horários de temperatura, direção e intensidade do vento da Torre A da Usina Eletro nuclear de Angra dos Reis no período de dezembro de 2009 a novembro de 2010 (1 ano). Localizada na latitude de 23,01° S, longitude de 44,46° W e altitude de 40 m, a Torre A é a única torre da usina que mede as variáveis meteorológicas analisadas em três níveis de altura (10, 60 e 100 metros). Além das variáveis estudadas, a Torre A possui medidas de precipitação e umidade. Nas demais torres da usina, que não são analisadas nessa primeira etapa da pesquisa, denominadas Torres B, C e D, somente são medidas a direção e velocidade dos ventos em 10 metros.

A partir dos dados da Torre A, foram elaborados gráficos das médias horárias das variáveis de vento (direção e intensidade) e temperatura, durante os trimestres correspondentes ao verão (DJF), outono (MAM), inverno (JJA) e primavera (SON). Nesta análise podemos notar como se comporta o ciclo diurno, bem como sua variação durante todo o ano.

Futuramente serão comparados os dados observados das torres com as previsões do modelo atmosférico Eta/INPE na resolução de 1 km. O vento será decomposto em componente zonal e meridional que serão comparados com as componentes do vento observado. Serão analisadas as características dos erros em relação à previsão do vento, como por exemplo, a acurácia quanto ao ciclo diurno, ao ciclo sazonal, etc.

Um esquema de correção estatística simplificado (Chou et al., 2007) foi testado para previsões do Eta, na versão de 5 km em relação os ventos observados nas torres da usina. Após finalização dos dados observados da estação, tal procedimento de correção estatística simplificado será utilizado para implementar a correção para previsões de 1 km.

Na figura 1 observa-se a localização da Torre A e das demais, bem como a presença da topografia acentuada e a área costeira do município. Na figura 2 encontra-se o mapa com a localização do município de Angra dos Reis em relação ao Estado do Rio de Janeiro.

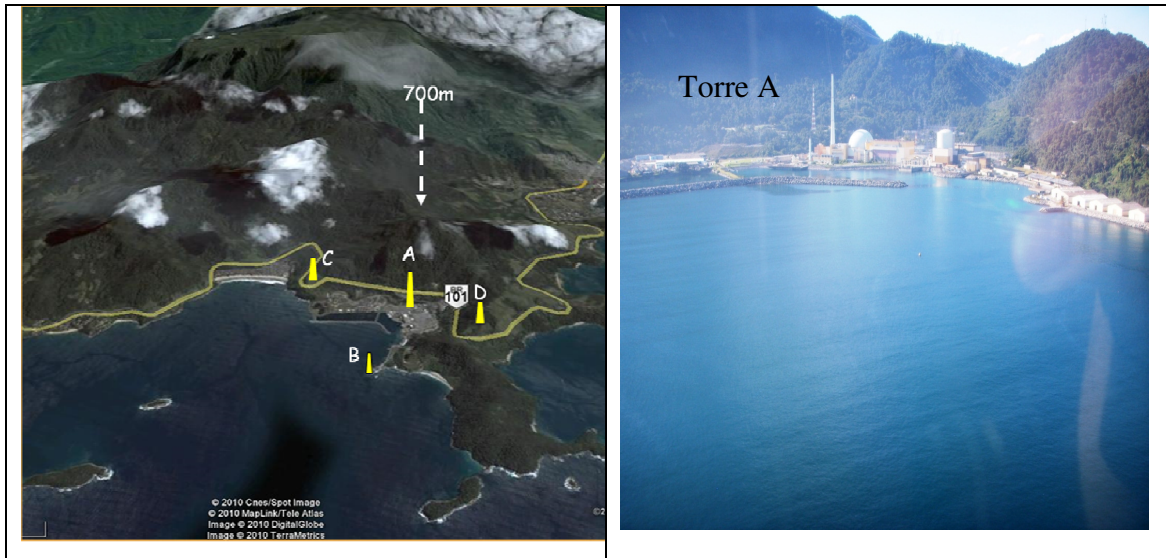


Figura 1. Localização das torres meteorológicas da Usina de Angra dos Reis.

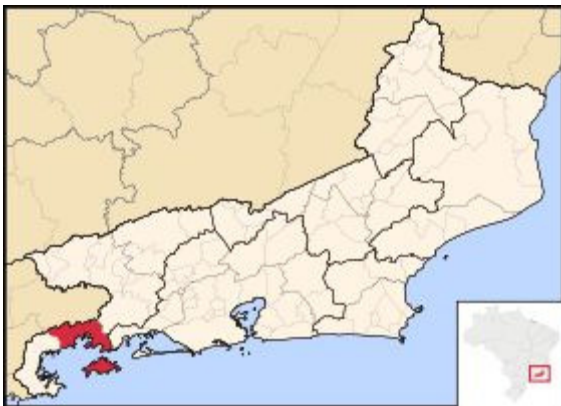


Figura 2. Localização do município de Angra dos Reis / RJ.

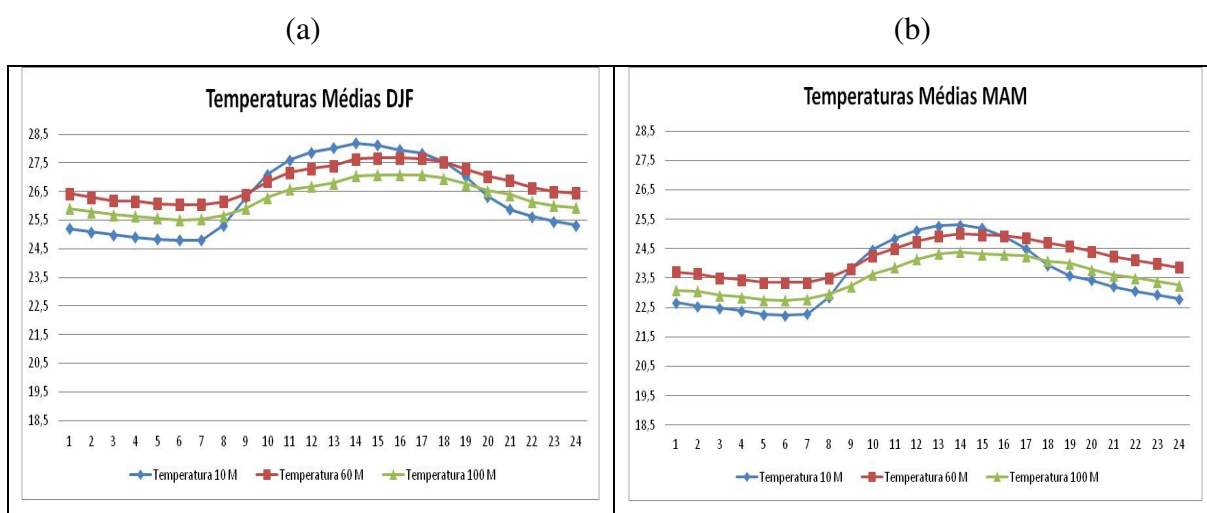
### 3. RESULTADOS

Neste item são apresentados os resultados das médias horárias da temperatura, direção e intensidade do vento para os 3 níveis da Torre A (10, 60 e 100 metros) durante toda as estações do ano. É importante ressaltar que os horários dos dados são horário local e não UTC.

#### 3.1 Temperatura

Em relação a climatologia da temperatura média horária, nota-se, como esperado, que as temperaturas nos 3 níveis são mais elevadas durante os meses de verão (DJF) e são mais baixas no período de inverno (JJA). Já em relação aos meses de outono (MAM) e a primavera (SON), observa-se que suas temperaturas médias se encontram mais elevadas do que o inverno, e menos do que a do verão. Também observa-se que as temperaturas médias de MAM são ligeiramente mais elevadas do que as de SON, o que mostra a transição gradual de um período quente (verão) para o inverno (JJA) e a transição gradual de um período de inverno para o periodo de verão (quente).

A figura 3 repretanta a variação diurna da temperatura (ciclo diurno), durante as 4 estações do ano.



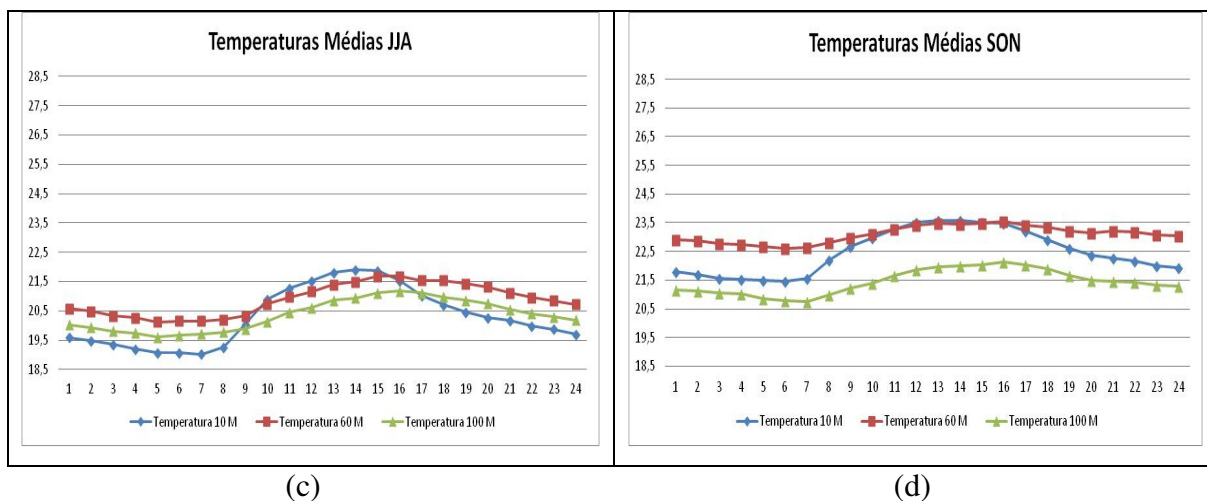


Figura 3. Temperaturas médias horárias a 10 m (azul), 60 m (vermelho) e 100 m (verde) para: (a) verão, (b) outono, (c) inverno e (d) primavera.

Observando os padrões de temperatura nota-se que a amplitude térmica média nos meses de DJF é de aproximadamente 3,5 °C para o nível de 10 metros e cerca de 1,5 °C para os outros dois níveis de temperatura. A temperatura média a 60 metros é maior (em torno de 0,5°C) do que a de 100 metros durante todas as horas do dia. Já em relação aos meses de MAM e JJA, a amplitude média da temperatura fica em torno de 3 °C para 10 metros e 1,5°C para 60 e 100 metros. Nos meses de SON a amplitude média a 10, 60 e 100 metros é respectivamente de 2°C, 1°C e 1,5°C. Também observa-se que em comparação aos outros períodos, que em SON ocorre a maior diferença entre a temperatura de 60 e 100 metros.

O ciclo diurno é bem representado sazonalmente nos 4 gráficos da figura 3. Nota-se que a temperatura média a 10 metros é baixa durante a noite devido a perda de radiação e alta durante o dia devido ao ganho de energia proveniente do sol. A temperatura média mínima é atingida por volta das 6 horas durante todo o ano, exceto nos meses de inverno (JJA) que ocorre por volta das 7 horas. Já em relação a temperatura média máxima diária, o pico se dá na faixa das 14 e 15 horas, exceto nos meses de inverno (JJA) que tem uma tendência de ser observada mais cedo, por volta das 13 e 14 horas. Em relação aos outros níveis (60 e 100 metros), ocorre um certo padrão durante todo o ano, que também mostra temperaturas mais amenas durante a noite do que durante o

dia, ocorrendo sempre temperaturas mais baixas a 100 em relação a 60 metros, o que era de ser esperar: temperatura diminuindo com a altura na Troposfera.

Nota-se no gráfico de SON, a ocorrência média do fenômeno de inversão térmica durante o período de 10 a 17 horas nas camadas de 10 e 60 metros, ou seja, a atmosfera se encontra estável nesse período.

### 3.2 Ventos

A avaliação dos ventos foi feita para os 3 níveis da Torre A. Inicialmente é feita uma avaliação da climatologia em relação a intensidade durante todo o ano, e a seguir investiga-se a direção predominantemente durante o período do estudo. Vale ressaltar que a unidade do vento analisada nesse relatório é em metro por segundo.

#### a) Intensidade

Na figura 4 é possível perceber que a intensidade média do vento é relativamente baixa na região da Usina de Angra dos Reis. Analisando o vento a 10 metros, nota-se que sua intensidade é relativamente constante durante todas as horas e no ano todo, é de cerca de 1,5 m/s. Porém pode-se notar uma visível queda da intensidade no período da manhã, o que pode indicar que o gradiente de temperatura entre o continente e o mar está diminuindo até as 9 horas. A partir desse horário o gradiente de temperatura começa a se elevar novamente, alterando a intensidade do vento, que volta a ser em média 1,5 m/s. Isso se deve ao fato de que diferenças de temperatura geram diferenças de pressões atmosféricas, conseqüentemente gerando ventos.

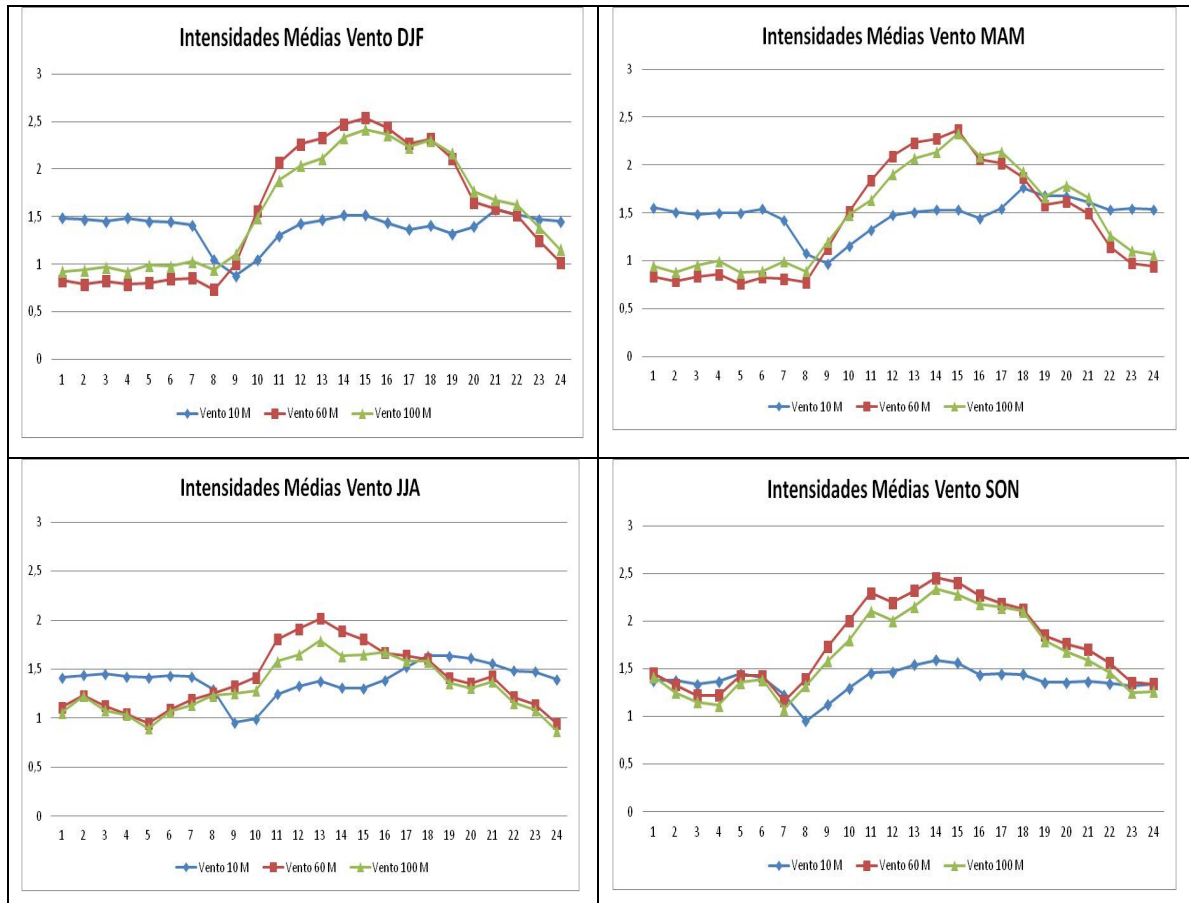
As intensidades do vento em 60 e 100 metros são em média de 2 e 2,5 m/s, respectivamente durante todo o período diurno no ano, exceto no período de JJA quando a intensidade encontra-se por volta 1,5 e 2,0 m/s. Já no período noturno, nota-se que a intensidade média é de aproximadamente 1 m/s em DJF, MAM e JJA, e de 1,5 m/s no período de SON.



Esses resultados estão de acordo com a ideia de que ventos mais próximos da superfície são menos intensos do que em altitudes superiores, devido ao atrito com os obstáculos próximos a superfície.

(a)

(b)



(c)

(d)

Figura 4. Intensidade média do vento (m/s) a 10 m (em azul), 60 m (em vermelho) e 100 m (em verde) para: (a) verão, (b) outono, (c) inverno e (d) primavera.

Comparando a intensidade média dos ventos (Figura 4) com a temperatura média (Figura 3), pode-se observar que há uma correlação positiva. Quanto mais alta a temperatura, maior é a intensidade do vento nos níveis de 60 e 100 metros.

## b) Direção

A Figura 5 apresenta a climatologia das direções médias do vento observadas sazonalmente na Torre A, nos três níveis de observações. É importante ressaltar que a unidade dos dados é em graus.

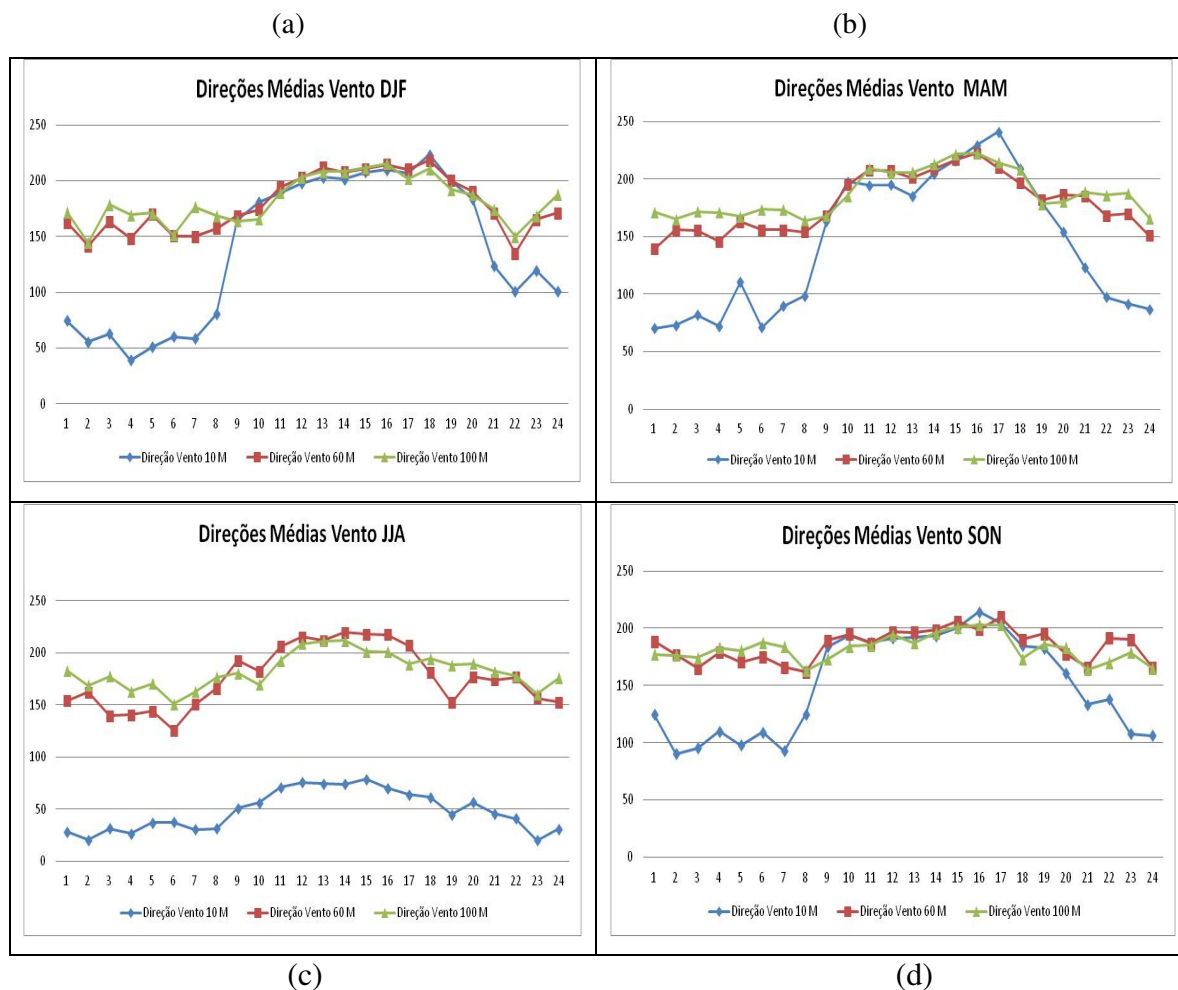


Figura 5. Direções médias dos ventos em graus a 10 m (em azul), 60 m (em vermelho) e 100 m (em verde) para: (a) verão, (b) outono, (c) inverno e (d) primavera.

Observando as direções médias do vento no nível de 10 metros pode-se verificar que durante a madrugada, o vento predominante varia entre leste-nordeste indicando a presença da brisa terrestre e/ou brisa de montanha. Durante a parte da manhã, como observado nos gráficos de intensidade do vento (Figura 4), há uma diminuição desta

devido à redução do gradiente de temperatura entre a do continente e a temperatura da superfície do mar (TSM). Em relação à direção, é exatamente neste horário em que há a mudança da direção do vento predominante do período da tarde que varia entre sul-sudoeste, quando atua a brisa marítima.

Comparando os gráficos de temperatura média (Figura 3) com os da direção mediado vento (Figura 5), podemos notar que tanto o menor gradiente de temperatura, quanto a menor diferença de direção do vento são observadas no trimestre SON.

Em relação à direção média nos níveis de 60 e 100 metros, pode-se observar que a direção predominante em geral durante todas as estações do ano é sul-sudoeste durante o dia, e sul, sul-sudeste durante a madrugada.

#### **4. CONCLUSÕES**

Neste relatório apresenta-se uma investigação preliminar da climatologia a partir de dados meteorológicos fornecidos pela Usina Eletronuclear de Angra, durante o período de dezembro de 2009 a novembro de 2010. A construção da climatologia é feita a partir de médias horárias das variáveis temperatura e vento (direção e sentido) separadas sazonalmente por estação do ano, começando com DJF que corresponde ao verão austral até SON, que corresponde à primavera deste hemisfério.

Os resultados sobre a média horária da temperatura indicam que de forma geral as temperaturas mais elevadas nos três níveis ocorrem durante o período de DJF, mas que na média não ultrapassam 28,5 °C e no período de inverno (JJA) as temperaturas médias mínimas e máximas são respectivamente em torno 19,5°C e 21,5°C em 10 metros. O ciclo diurno também é bem representado, onde em geral a temperatura máxima em 10 metros é registrada na parte da tarde por volta das 14 e 15 horas na maioria das estações do ano e a temperatura mínima é registrada em torno de 6 horas, exceto no período de inverno (JJA) que é registrada por volta das 7 horas. Em relação aos outros níveis de temperatura, na média há uma correlação na tendência das médias, ficando sempre a temperatura a 60 metros superior a de 100 metros, evidenciando que na atmosfera em baixos níveis (troposfera), a temperatura decai com a altura.

Em relação ao vento, pode-se afirmar que em médias as velocidades são relativamente baixas nos três níveis observados. No nível de 10 metros a intensidade é

de aproximadamente 1,5 m/s durante todo o ano, tendo uma queda para 1,0 m/s por volta da 9 horas e depois volta ao seu valor médio predominante. Já nos outros níveis, nota-se que no período da madrugada a intensidade é menor do que o vento de 10 metros durante todo o ano e durante o dia, seus valores acompanham a elevação da temperatura, tendo também um ciclo diurno, chegando à intensidade média por volta de 2,5 m/s durante SON a MAM, e 2,0 m/s durante JJA. O efeito meteorológico que faz a intensidade do vento a 10 metros ser maior na madrugada é a ocorrência da brisa de montanha que faz o ar descer a montanha (vento catabático) resultante do resfriamento do ar em contato com as superfícies das montanhas.

Já em relação a direção do vento predominante pode-se concluir que a direção predominante a 10 metros durante a madrugada é leste-nordeste, de sul-sudoeste durante a tarde, indicando a presença da brisa marítima. Nos outros níveis, a direção predominante em geral é sul-sudoeste no período diurno e sul, sul-sudeste durante a madrugada.

## **5. PRÓXIMAS ETAPAS**

Como a bolsa foi iniciada em abril de 2014, não houve muito desenvolvimento das atividades até o momento.

Nas próximas etapas deste trabalho, serão analisadas e elaboradas as seguintes atividades:

- a) Identificar erros sistemáticos das previsões de vento do modelo Eta, versão de 1km, sobre a região de Angra dos Reis, utilizando as medidas observacionais de vento disponíveis na região;
- b) Introduzir correção estatística das previsões de vento do modelo Eta, versão de 1km, para as torres de ventos posicionadas no entorno da Usina de Angra dos Reis;
- c) Realizar testes com esquema de camada atmosférica superficial e avaliar com os dados das torres;
- d) Realizar testes com o esquema de turbulência atmosférica e avaliar com os dados das torres.

## **BIBLIOGRAFIA**

CHOU, S. C., SOUZA, C. R., GOMES, J. L., EVANGELISTA, E. R. D., OSÓRIO, C., CATALDI, M., 2007. Refinamento estatístico das previsões horárias de temperatura a 2m do modelo Eta em estações do Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*.