



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
INSTITUTO DE RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

**COMPLEMENTARIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DO
VENTO RELACIONADA A FORÇANTES ATMOSFÉRICAS**

MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO

Ricardo Batista Vilela

Itajubá, MG, Brasil

2014

COMPLEMENTARIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DO VENTO RELACIONADA A FORÇANTES ATMOSFÉRICAS

por

Ricardo Batista Vilela

Monografia apresentada à comissão examinadora Programa de Graduação em Ciências Atmosféricas da Universidade Federal Itajubá (UNIFEI, MG), como requisito parcial para obtenção do grau de

Bacharel em Ciências Atmosféricas.

Orientador: Arcilan Trevenzoli Assireu

Coorientador: Michelle Simões Reboita

Itajubá, MG, Brasil

2014

**Universidade Federal de Itajubá
Instituto de Recursos Naturais
Programa de Graduação em Ciências Atmosféricas**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a
Monografia

**COMPLEMENTARIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DO VENTO
RELACIONADA A FORÇANTES ATMOSFÉRICAS**

elaborada por

Ricardo Batista Vilela

Como requisito parcial para a obtenção do grau de
Bacharel em Ciências Atmosféricas

Comissão Examinadora:



Arcilan Trevenzoli Assireu, Dr. (UNIFEI)

(Presidente/Orientador)



Michelle Simões Reboita, Dra. (UNIFEI)

(Co-orientadora)



Marcos Eduardo C. Bernardes, Dr. (UNIFEI)

Itajubá, 16 de junho de 2014.

AGRADECIMENTOS

A Deus primeiramente que sempre está ao meu lado, a minha família especialmente minha mãe, amigos, namorada, professores e todos que estiveram me dando forças.

Aos meus colegas de curso e colegas de república que proporcionaram momentos de alegria e ajudaram a superar os momentos difíceis dessa árdua trajetória.

Ao projeto ELEKTRO/INPE por ter cedido os dados das estações meteorológicas utilizados nesse trabalho.

Ao professor Dr. Arcilan pela orientação e paciência não só no decorrer desse trabalho mas no decorrer de toda graduação.

“Emancipem-se da escravidão mental, ninguém além de nós mesmos pode libertar
nossa mente”
Bob Marley em “Redemption Song”

RESUMO

Monografia de Graduação
Programa de Graduação em Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Itajubá, MG, Brasil

COMPLEMENTARIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DO VENTO RELACIONADA A FORÇANTES ATMOSFÉRICAS

AUTOR: Ricardo Batista Vilela
ORIENTADOR: Arcilan Trevenzoli Assireu

Local e Data da Defesa: Itajubá, 16 de junho de 2014.

O comportamento temporal e espacial do vento é de extrema importância em setores como o energético, aviação, navegação, dispersão de poluentes, entre outros, fazendo com que o conhecimento desse comportamento, que muitas vezes é devido a sistemas sinóticos conhecidos, seja favorável ao desenvolvimento e otimização de serviços para a sociedade em geral. O presente trabalho vem apresentar os resultados de uma análise de dados de vento de 11 estações meteorológicas no estado de São Paulo, Mato Grosso do Sul e Goiás, de 11 de fevereiro de 2010 a 15 de junho de 2010. O estudo relaciona eventos de escala sinótica e de mesoescala ao padrão temporal e espacial do vento em um período específico e busca investigar se sistemas atmosféricos podem induzir complementaridade entre estações, ou seja, condição em que a baixa intensidade do vento em uma região seja suprida por altos valores de intensidade em outra. A complementaridade pôde-se identificar certa complementaridade entre algumas estações como Itumbiara, devido a influências do extenso corpo d'água que existe na região e também Cananéia, que se mostrou influenciada pela maritimidade. Analisando os dados de intensidade do vento das estações de Itumbiara terra e Santa Rita d'Oeste, identificou-se uma complementaridade entre elas induzida por um sistema frontal que passou na região de estudo no dia 5 de junho de 2010, o mesmo comportamento da intensidade do vento não é evidenciado em uma situação de atmosfera estável, o que permite concluir que sistemas frontais estão mais relacionados ao processo de complementaridade.

Palavras-chave: correlação, vento, sistemas atmosféricos.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Distribuição da pressão atmosférica (hPa) e vento em superfície em uma climatologia para (a) janeiro e (b) julho.	4
Figura 2: Esquema da evolução de um sistema frontal. Fonte: MASTER/USP (última atualização:01/07/2004)	5
Figura 3: Carta sinótica GPT/CPTEC/INPE do dia 21 de março de 2010 às 06Z que mostra a atuação de cavados no Chile e Argentina.	6
Figura 4: Esquema de (a) brisa marítima e (b) brisa terrestre.....	7
Figura 5: Mapa do estado de São Paulo com as onze estações em que foram extraídos os dados. Fonte: Google Earth.....	9
Figura 6: Média aritmética da intensidade do vento de todo o período para as 11 estações com a reta indicando a média entre as estações.	12
Figura 7: Dispersão entre a correlação e a distância entre as estações com as retas de +2 desvios padrão e -2 desvios padrão.....	15
Figura 8: Intensidade média do vento e média do Índice de Turbulência (calculado hora a hora) de cada estação.....	18
Figura 9: Variabilidade diurna da intensidade do vento nas 11 estações meteorológicas para todo o período de dados.	19
Figura 10: Carta sinótica (GPT/CPTEC/INPE) na qual a região de estudo (estado de SP) se encontra sob influência de um intenso anticiclone.	20
Figura 11: Variabilidade diurna da intensidade do vento em situação de alta pressão atmosférica entre os dias 11 a 14 de junho de 2010.....	21
Figura 12: (A) Intensidade do vento de 1 a 14 de junho de 2010 para as 10 estações. Os dois retângulos verticais e são os eventos explicados na direita. A linha vermelha indica a entrada de uma frente fria. (B) Cartas sinóticas dos eventos de frente fria e atuação de anticiclone.....	23
Figura 13: (a) Carta sinótica do dia 05/06/2010 às 00Z, mostrando o posicionamento da frente fria sobre a área de estudo e (b) imagem de satélite com a posição geográfica das quatro estações selecionadas.	24
Figura 14: Intensidade do vento (normalizada) para as estações de Santa Rita d'Oeste e Itumbiara água no período de entrada de frente fria. O retângulo vermelho indica a	

entrada da frente em Santa Rita d'Oeste e o retângulo azul a entrada da frente em Itumbiara água.	25
Figura 15: Intensidade do vento (normalizada) para as estações de Teodoro Sampaio e Ubatuba no período de entrada de frente fria.....	26
Figura 16: Intensidade do vento (normalizada) para as estações de Santa Rita d'Oeste e Itumbiara água no período atuação de um anticiclone	27
Figura 17: Intensidade do vento (normalizada) para as estações de Teodoro Sampaio e Ubatuba no período de atuação de um anticiclone	27
Figura 18: Rosa dos ventos, dispersão do IT por direção predominante do vento e MDE (Fonte: Assireu et. al. 2012) para Teodoro Sampaio.....	29
Figura 19: Rosa dos ventos, dispersão do IT por direção predominante do vento e MDE (Fonte: Assireu et. al. 2012) para Rio Claro	30
Figura 20: Dispersão entre a distância à costa e intensidade do vento de cada estação.....	31
Figura 21: Sinal de brisa nas estações de Cananéia e Andradina para um período de atuação de anticiclone.....	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Matriz de correlações entre as estações	13
Tabela 2: Matriz de distâncias (km) entre as estações	14
Tabela 3: Outliers identificados na figura 7	16

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

σ_U – Desvio Padrão

ASAS – Alta Subtropical do Atlântico Sul

CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

DP – Desvio(s) padrão

GO – Goiás

GPT – Grupo de Previsão do Tempo

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IT – Índice de Turbulência

MASTER/USP – Meteorologia Aplicada a Sistemas de Tempo Regionais/
Universidade de São Paulo

MDE – Mapa digital de elevação

MS – Mato Grosso do Sul

SP – São Paulo

TW - Terawatt

UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro

U – Média da intensidade do vento

SUMÁRIO

RESUMO.....	VI
LISTA DE FIGURAS.....	VII
LISTA DE TABELAS.....	IX
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS	X
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
2.1. PRINCIPAIS SISTEMAS SINÓTICOS NO SUDESTE BRASILEIRO.....	2
2.1.1. Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS).....	2
2.1.2. Ciclones.....	4
2.1.3. Frentes	5
2.1.4. Cavados	6
2.2. SISTEMAS DE MESOESCALA.....	6
2.2.1. Brisa marítima.....	7
2.3. COMPLEMENTARIDADE	7
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	8
3.1. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	8
3.2. DADOS OBSERVADOS	9
3.3. CÁLCULO DO COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO.....	10
3.4. CÁLCULO DO ÍNDICE DE INTENSIDADE DE TURBULÊNCIA	10
3.5. DETECÇÃO DE “OUTLIERS”	11
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	11
4.1. MÉDIA GERAL.....	11
4.2. CORRELAÇÕES ENTRE AS ESTAÇÕES	12

4.3. ÍNDICE DE TURBULÊNCIA (IT).....	17
4.4. VARIABILIDADE DIURNA DA INTENSIDADE DO VENTO	18
4.4.1.Variabilidade diurna em situação de influência de um anticiclone	19
4.5. ANÁLISE DOS PADRÕES SINÓTICOS	21
4.5.1.Padrões sinóticos e complementaridade	24
4.6. DISPERSÃO DO IT POR DIREÇÃO DO VENTO	27
4.7. MARITIMIDADE	31
5. CONCLUSÃO	32
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34
ANEXO A – ROTINA DE MATLAB USADA PARA PLOTAR A DISPERSÃO DOS IT'S.....	36

1. INTRODUÇÃO

O comportamento temporal e espacial do vento é extremamente importante em inúmeras aplicações, que vão desde a navegação, aviação, dispersão de poluentes até o setor energético. Consequentemente o conhecimento de padrões no escoamento do ar permite que essas aplicações sejam dominadas de maneira favorável para o desenvolvimento de recursos para a sociedade.

Segundo Archer, et. al. (2005 apud KEMPTON, et. al., 2009), estima-se para ventos em superfície, um recurso eólico de 72 terawatt (TW), o que corresponde a mais de cinco vezes a demanda mundial de energia que é de 13 TW, evidenciando que esse tipo de energia tem grande potencial para atender as necessidades da sociedade.

Silva (2013) avaliou a influência do relevo na característica do vento e concluiu que estações que estão sob o mesmo domínio de relevo possuem correlações maiores entre si do que aquelas que se encontram em domínios diferentes, também evidenciou que locais com potenciais eólicos satisfatórios e concluiu que a complementaridade pode ser identificada e associada a fatores morfométricos.

Além das influências morfométricas, existem as forçantes atmosféricas atuando nesse mesmo padrão de escoamento. Passagens de sistemas ciclônicos na costa leste dos Estados Unidos coincidem com alguns períodos de baixo potencial eólico, porém apesar disso não se pode afirmar que esses baixos potenciais são devidos a algum padrão sinótico particular, é o que concluem Kempton et. al., (2009). Nessa mesma perspectiva, Simonsen & Stevens (2004) encontraram correlação do potencial eólico com passagens de frentes frias. No Brasil a maior parte da energia provem das usinas hidrelétricas, porém existem épocas de baixa geração energética devido às secas em que os reservatórios permanecem abaixo do nível de operação. Nesse sentido, Amarante et. al. (2001) demonstraram, a partir de dados existentes, a complementaridade entre regimes naturais eólicos e hidrológicos nas regiões sul/sudeste e nordeste do Brasil, que sugerem a integração do sistema hídrico/eólico na produção de energia. Portanto, o conhecimento das forçantes e padrões que regem a circulação do ar em superfície é indispensável.

Na região da América do Sul, mais precisamente no sudeste do Brasil, os sistemas sinóticos são grandes responsáveis por esses padrões. Os sistemas de escala

sinótica possuem dimensões horizontais compreendidas em uma faixa de centenas de quilômetros até alguns milhares de quilômetros, e isso engloba anticiclones (sistemas de alta pressão), ciclones (sistemas de baixa pressão), sistemas frontais, cavados, cristas, zonas de convergência de umidade, jatos de baixos níveis, jatos de altos níveis. Esses sistemas induzem circulações conhecidas e de fácil diagnóstico, pois são vastamente estudados na área da dinâmica da atmosfera, portanto o padrão espaço-temporal do vento é em grande parte regido por esses sistemas comuns na região sudeste do Brasil, que será a região de estudo no presente trabalho.

A região de estudo se encontra aproximadamente entre 16° S e 25° S, compreendendo em grande parte o estado de São Paulo e alguns estados vizinhos. Em geral, a região sudeste está sob influência da circulação da borda oeste da Alta subtropical do Atlântico Sul (ASAS), porém, eventualmente essa circulação é perturbada pela intrusão de sistemas frontais.

Com base no exposto, esse estudo tem por objetivo avaliar as relações entre os sistemas atmosféricos e a característica do vento na região, como a variabilidade temporal e espacial e identificar regiões em que as estações meteorológicas apresentam complementaridade, processo que permite com que baixas intensidades do vento em determinadas regiões sejam supridas por ventos mais intensos em outras.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Principais sistemas sinóticos no sudeste brasileiro

Sistemas de escala sinótica dizem respeito a sistemas que possuem desenvolvimento horizontal de centenas a milhares de quilômetros, entre esses sistemas estão as frentes frias, ciclones, anticiclones, cavados e jatos de baixos e altos níveis. Dentre esses sistemas alguns são de suma importância para o comportamento do escoamento no sudeste brasileiro.

2.1.1. Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS)

A Alta Subtropical do Atlântico Sul é um sistema de alta pressão com centro semipermanente que se configura na parte subtropical do Oceano Atlântico Sul (aproximadamente 30° S) e possui circulação anticiclônica. Esse sistema proporciona

movimentos subsidentes em seu centro o que inibe a formação de nebulosidade e, conseqüentemente, chuva, portanto, em uma situação em que predomina a circulação anticiclônica tem-se céu claro e estabilidade. Segundo Degola et. al. (2012), em relação à latitude, a ASAS possui um ciclo anual bem definido com sua posição mais ao norte nos meses de junho a agosto chegando a atingir 28°S, e valores mais ao sul nos meses de fevereiro e março atingindo latitudes maiores que 32°S. Em relação à longitude o mesmo estudo mostra que o sistema se localiza mais a oeste entre maio e setembro e mais a leste nos demais meses. A figura 1 mostra uma média climatológica (1948 – 2013) da pressão e vento em superfície para os meses de janeiro (a) e julho (b), onde pode ser identificada a ASAS (em tons de vermelho) e sua circulação do vento (anti-horária no hemisfério sul) associada.

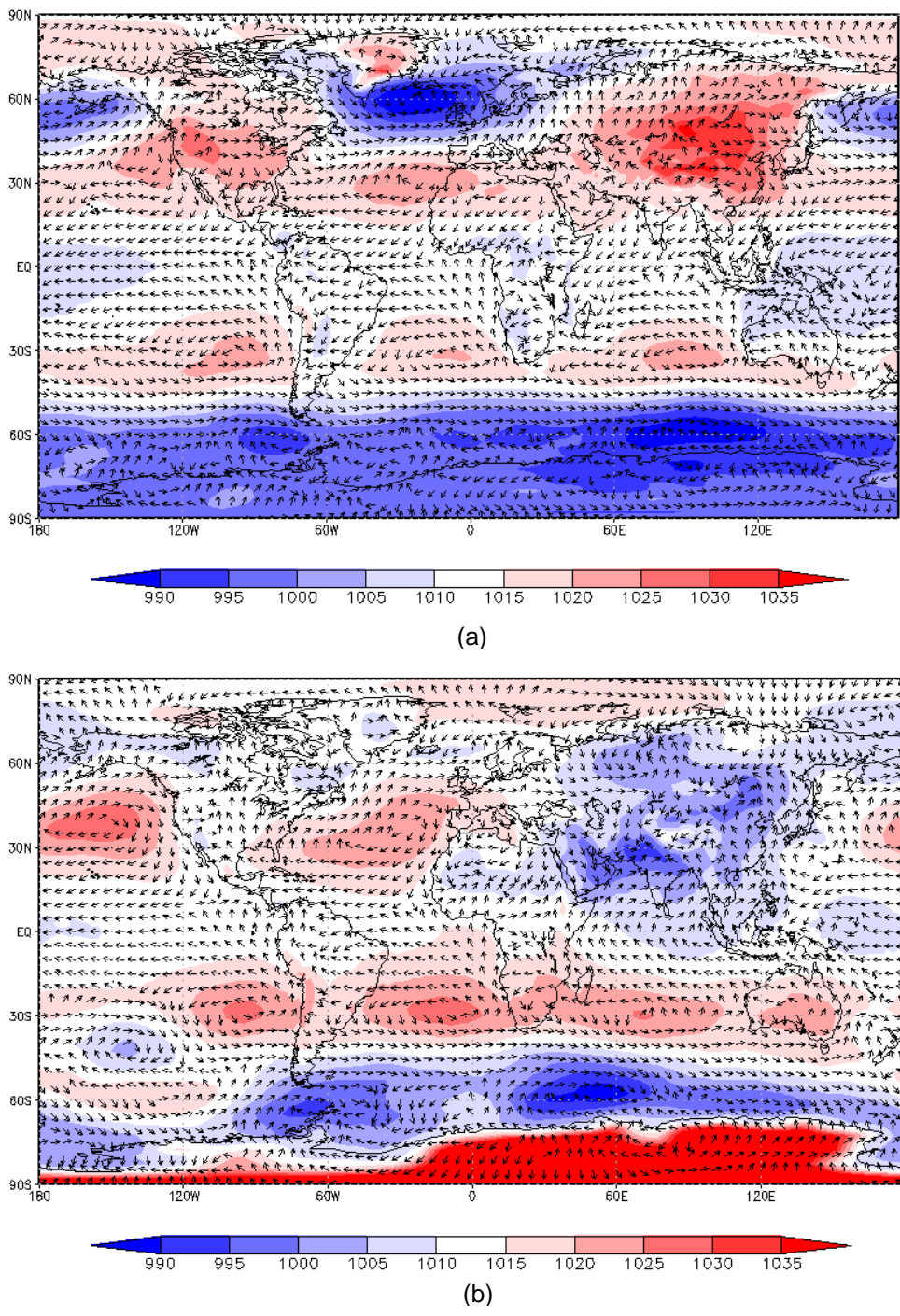


Figura 1: Distribuição da pressão atmosférica (hPa) e vento em superfície em uma climatologia para (a) janeiro e (b) julho.

2.1.2. Ciclones

Ciclones são sistemas de baixa pressão que se desenvolvem associados a um gradiente horizontal de temperatura na baixa troposfera. Segundo Reboita et. al. (2010), existem três regiões propícias a formação de ciclones na costa leste da América do Sul: R1 que é a costa sul/sudeste do Brasil, R2 localizada no extremo sul

do Brasil e Uruguai e R3 que é o sudeste da Argentina. Esse sistema está associado a movimentos ascendentes e conseqüentemente instabilidade e mau tempo.

2.1.3. Frentes

Segundo Kousky et al. (1982), massas de ar deixam suas regiões de origem em resposta às configurações do escoamento em níveis superiores e inferiores da atmosfera, e se movem em direção ao equador a leste de um cavado de ar superior e associadas a um ciclone em superfície. Bjerkness & Solberg (1922) define frente como a transição entre duas massas de ar com características termodinâmicas diferentes. Portanto, se o ar frio está avançando e substituindo o ar quente configura-se uma frente fria de maneira análoga se o ar quente avança e substitui o ar frio a zona frontal é marcada por uma frente quente. Quando nenhuma das massas de ar está avançando, a frente é chamada estacionária. Lemos e Calbete (1996) realizaram um estudo climatológico da ocorrência de frentes entre 1987 e 1995 no Brasil e verificaram que para latitudes entre 20°S e 25°S outubro e novembro são os meses em que existe a maior ocorrência de sistemas frontais, com média entre três e quatro eventos por mês.

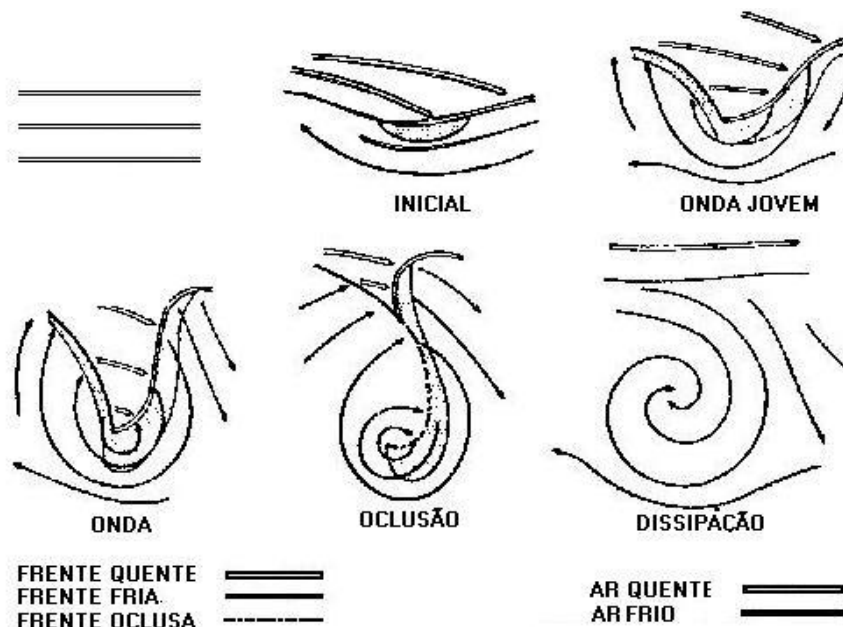


Figura 2: Esquema da evolução de um sistema frontal. Fonte: MASTER/USP (última atualização:01/07/2004)

2.1.4. Cavados

Segundo Sanders (2005), cavados baroclínicos diferem de sistemas frontais principalmente pois se observa um gradiente fraco de temperatura e/ou espessura, ou seja, um fraco pacote baroclínico, diferentemente do que se pode encontrar em situação de sistema frontal. O cavado também é associado a mau tempo. Em altos níveis também existem cavados extremamente importantes para o desenvolvimento de ciclones e frentes em superfície. A figura 3 mostra um cavado de superfície atuando no Chile e outro atuando na Argentina, ambos em aproximadamente 40°S de latitude, representado pela linha pontilhada amarela.

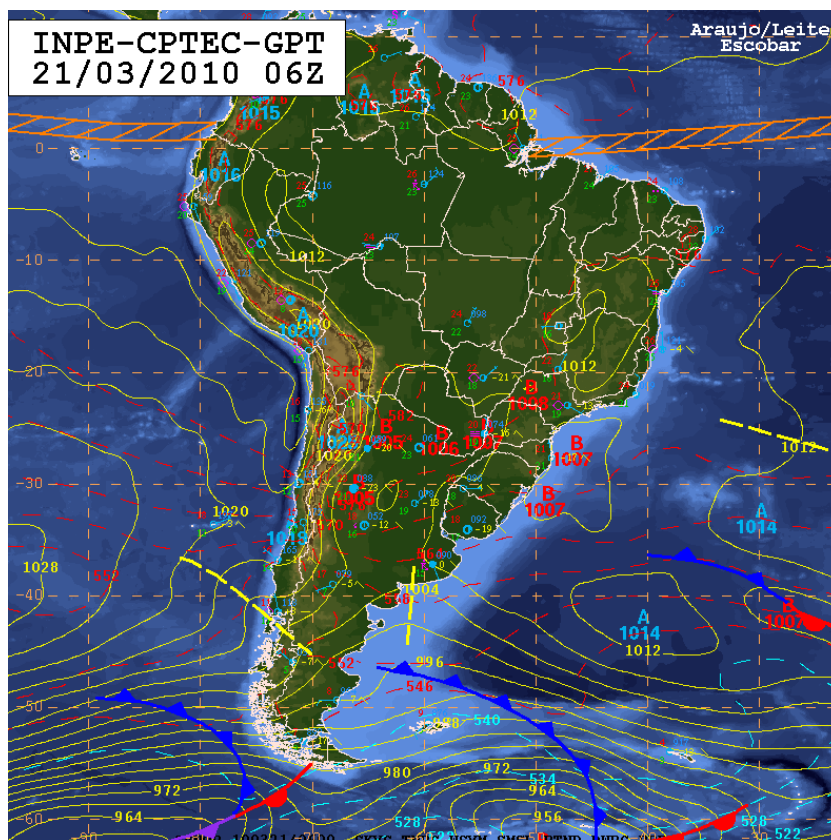


Figura 3: Carta sinótica GPT/CPTEC/INPE do dia 21 de março de 2010 às 06Z que mostra a atuação de cavados no Chile e Argentina.

2.2. Sistemas de mesoescala

Os sistemas de mesoescala estão compreendidos em uma grandeza de dezenas a centenas de quilômetros e dentre eles pode-se citar alguns mais significativos como

complexos convectivos de mesoescala, nuvens cumulus, brisa (terrestre, marítima, vale, montanha ou lacustre).

2.2.1. Brisa marítima

A brisa marítima é um fenômeno de mesoescala, que se caracteriza pelo aquecimento diferencial entre continente e oceano, causando gradientes de pressão em superfície os quais impulsionam o movimento do ar. Portanto, devido a diferente resposta ao aquecimento entre continente e oceano, durante o dia a atmosfera sobre o continente aquece mais gerando uma região de baixa pressão atmosférica em superfície, o que induz ventos do oceano para o continente. Já no período noturno, a situação se inverte. A atmosfera sobre o oceano permanece mais quente que sobre o continente induzindo ventos do continente para o oceano. O esquema do sentido de propagação do escoamento pode ser visto na figura 4.

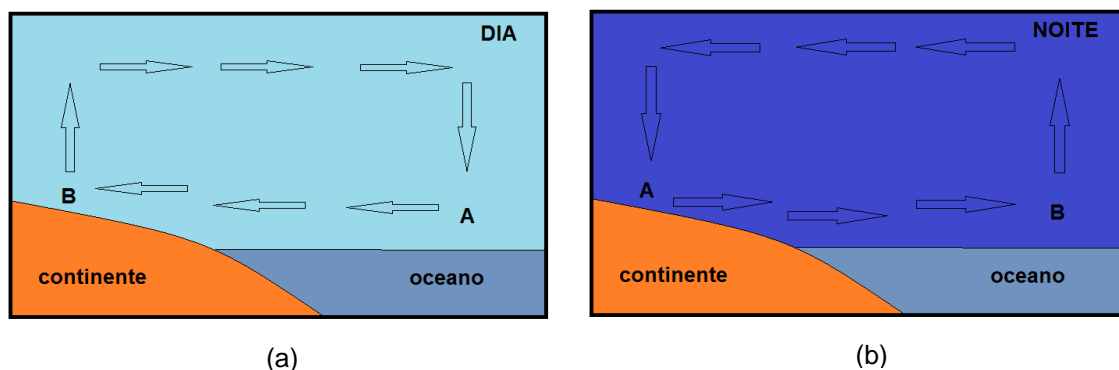


Figura 4: Esquema de (a) brisa marítima e (b) brisa terrestre.

Oliveira & Dias (1982), em uma análise observacional da brisa marítima em São Paulo, mostrou que no ano de 1978 ocorreram 217 dias com penetração de brisa marítima, que em geral atingiram a capital de São Paulo, modificando as condições atmosféricas, influenciando decisivamente no comportamento climático da região.

2.3. Complementaridade

Uma solução ao setor energético, para se produzir energia sem sofrer com períodos de escassez de recursos, seria buscar complementaridade entre eles, visto que o armazenamento ainda não é uma opção tão viável. Como já foi dito anteriormente, Amarante et. al. (2001) identificaram complementaridade entre os regimes hídrico e

eólico para o sudeste e nordeste do Brasil. Além da complementaridade hídrico/eólico, já foi evidenciado anteriormente o mesmo comportamento complementar entre potenciais eólico e solar. Pianezzola (2006) concluiu que existem regiões no estado do Rio Grande do Sul que apresentaram condições fotovoltaica-eólica que viabilizam o uso de sistemas híbridos.

A complementaridade entre regimes de escoamento permite que um déficit de intensidade do vento em determinada região seja suprido por altos valores de intensidade em outra região. O presente estudo não visa encontrar regiões que apresentem alto potencial eólico, visto que isso depende de vários outros aspectos que não serão considerados, mas sim identificar complementaridade entre padrões de escoamento na região que será estudada e associá-la, quando for o caso, a sistemas atmosféricos, para avaliar sua importância nesse processo.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Descrição da área de estudo

O estudo contou com dados de onze estações sendo elas oito no estado de São Paulo, duas em Goiás e uma em Mato Grosso do Sul. Os dados foram disponibilizados pelo projeto Elektro/Inpe (URL: <http://www.elektro.com.br/>). As onze cidades são: Andradina/SP, Cananéia/SP, Rio Claro/SP, Santa Rita d'Oeste/SP, Tatuí/SP, Teodoro Sampaio/SP, Três Lagoas/MS, Ubatuba/SP, Votuporanga/SP, e duas em Itumbiara/GO: Itumbiara terra e Itumbiara água. A última está fundeada no reservatório de Itumbiara. A figura 5 mostra a localização de cada estação sobrepostos por uma imagem de satélite.

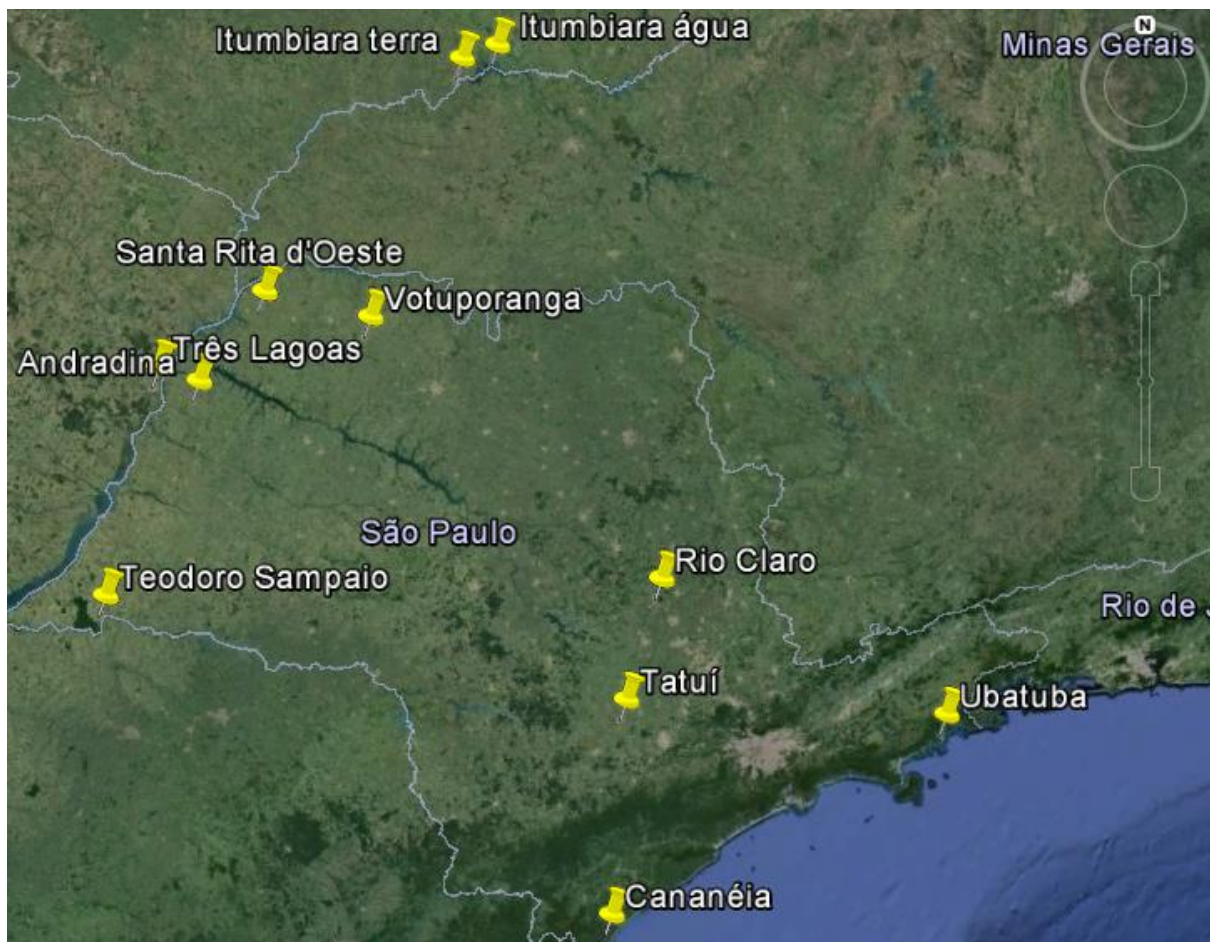


Figura 5: Mapa do estado de São Paulo com as onze estações em que foram extraídos os dados.
 Fonte: Google Earth

3.2. Dados Observados

Foram utilizados dados horários de intensidade e direção do vento tomados a dez metros de altura das onze estações. O período de dados foi de 11/02/2010 a 15/06/2010 com exceção das estações de “Itumbiara água” que possui dados faltosos nesse período e “Itumbiara terra” em que o período vai de 01 de abril de 2010 até 11 de junho de 2010. Não foi selecionado um período maior por falta de dados. Os dados foram processados utilizando os *softwares* EXCEL, MATLAB e as rosas dos ventos geradas pelo *software* WRPLOT.

As cartas sinóticas de superfície são do Grupo de Previsão de Tempo do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (GPT/CPTEC/INPE).

3.3. Cálculo do coeficiente de correlação

O coeficiente de correlação de Pearson entre as estações foi calculado onde se gerou uma matriz de correlação com valores entre -1 e 1. Esse coeficiente é expressado pela seguinte equação:

$$Correl(X, Y) = \frac{\sum(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sqrt{\sum(x-\bar{x})^2 \sum(y-\bar{y})^2}} \quad (1)$$

Onde x e y são dados de intensidade do vento de duas estações meteorológicas.

3.4. Cálculo do índice de intensidade de turbulência

Segundo Manwell (2002), a medida mais básica da turbulência é o Índice de Turbulência (IT) que é definido pela razão entre o desvio padrão da intensidade do vento e a média. Esse índice é calculado para períodos maiores que as flutuações turbulentas porém menores que períodos associados a outros tipos de variabilidades na intensidade do vento como por exemplo a variabilidade diurna. Em geral, recomenda-se que esse período não seja maior que uma hora. Por isso, utilizou-se o período máximo recomendado. O IT é expressado por:

$$IT = \frac{\sigma_U}{U} \quad (2)$$

onde o desvio padrão é dado por:

$$\sigma_U = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (u_i - U)^2}{N-1}} \quad (3)$$

E U é a média da intensidade do vento.

Portanto o IT que será apresentado ao longo desse trabalho se refere a média dos IT's calculados hora a hora.

3.5. Detecção de “outliers”

Em estatística, dados que são atípicos, ou seja, uma observação que apresenta um grande afastamento dos demais dados da série são chamados de “outliers”. Para identificar esses valores em um gráfico de dispersão será seguido o critério de que se o valor se afastar em mais de dois desvios padrão da reta de tendência, será dado como “outlier”. Portanto será criada uma série de dados (*DIF*) que conterà as diferenças entre os pontos e a reta de tendência.

$$DIF_i = (y_i - f(x_i)) \quad (4)$$

Onde:

$$f(x_i) = ax_i + b \quad (5)$$

y_i e $f(x_i)$ são os pontos medidos e os pontos da reta de tendência respectivamente, onde $f(x)$ representa a equação da reta de tendência.

A partir daí será calculado o desvio padrão (3) da série *DIF* e os valores que estiverem fora do intervalo de dois desvios padrão para mais ou para menos será considerado um “outlier”. Esse “outlier” será posteriormente investigado a fim de se descobrir o porquê do seu comportamento atípico.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Média geral

A média de todo o período de dados é representada pela figura 6. Nota-se que as estações de Ubatuba, Rio Claro e Três Lagoas são as que apresentam valores inferiores das demais. Esse resultado já foi discutido por Silva (2013), onde mostrou que essas estações estão localizadas próximas a relevos acidentados e fatores topográficos influenciam diretamente a intensidade do escoamento. A estação de Três Lagoas, que também apresentou baixa intensidade média do escoamento, se encontra próxima a edifícios e construções do município de Três Lagoas e esse fator provavelmente alterou a medição do vento na estação. Andradina e Santa Rita d’Oeste, por outro lado, possuem um escoamento do ar, em média, mais intenso ao longo dos meses estudados.

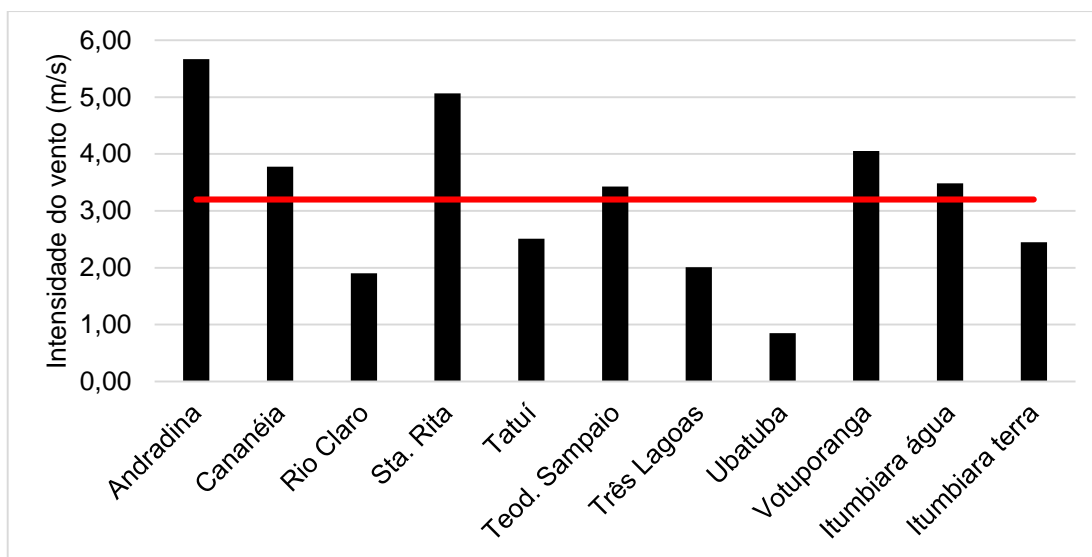


Figura 6: Média aritmética da intensidade do vento de todo o período para as 11 estações com a reta indicando a média entre as estações.

Vale lembrar que o período de dados é curto (aproximadamente quatro meses), ou seja, esse comportamento apresentado na figura 6 não pode ser tomado como base para uma climatologia.

4.2. Correlações entre as estações

A tabela 1 mostra as correlações entre os pares de estações para a intensidade do vento. Os tons de cor vermelha mais fortes representam as maiores correlações, ou seja, estações em que as curvas de intensidade do vento descrevem comportamentos semelhantes, e os tons mais próximos do branco mostram as correlações próximas de zero. Rio Claro e Tatuí apresentaram o maior coeficiente de correlação com valor de 0,665. A tabela 2 mostra a distância entre as estações na qual os tons azuis mais fortes representam estações mais próximas e os tons mais claros, as mais distantes.

Tabela 1: Matriz de correlações entre as estações

	<i>Andradina</i>	<i>Cananéia</i>	<i>R. Claro</i>	<i>Sta. Rita</i>	<i>Tatuí</i>	<i>T. Sampaio</i>	<i>T. Lagoas</i>	<i>Ubatuba</i>	<i>Votuporanga</i>	<i>Itumb água</i>	<i>Itumb terra</i>
Andradina	1										
Cananéia	0,057	1									
Rio Claro	0,197	0,319	1								
Sta. Rita	0,575	0,091	0,341	1							
Tatuí	0,264	0,267	0,665	0,357	1						
T. Sampaio	0,401	0,325	0,410	0,339	0,448	1					
Três Lagoas	0,427	0,130	0,357	0,370	0,343	0,382	1				
Ubatuba	0,111	0,376	0,498	0,187	0,476	0,382	0,263	1			
Votuporanga	0,379	0,075	0,343	0,513	0,381	0,333	0,364	0,259	1		
Itumb água	0,224	-0,034	-0,014	0,128	0,048	0,136	0,122	0,024	0,284	1	
Itumb terra	0,100	0,090	0,156	0,148	0,144	0,197	0,086	0,232	0,125	-0,032	1

Tabela 2: Matriz de distâncias (km) entre as estações

	<i>Andradina</i>	<i>Cananeia</i>	<i>Rio Claro</i>	<i>Sta. Rita</i>	<i>Tatuí</i>	<i>T. Sampaio</i>	<i>T. Lagoas</i>	<i>Ubatuba</i>	<i>Votuporanga</i>	<i>Itumb. água</i>	<i>Itumb. terra</i>
Andradina	0										
Cananeia	606	0									
Rio Claro	464,55	290	0								
Sta. Rita	84	627	416	0							
Tatui	487	190,8	106,7	461	0						
T. Sampaio	198,3	515,4	472	472	454	0					
T. Lagoas	45	577,4	431	112	453,7	203	0				
Ubatuba	740	345,5	274,4	700	285,5	736	704	0			
Votuporanga	189	549	329	97	382,5	326,5	161,2	602	0		
Itumb. água	408	746	478	254	574	581	384	690	260	0	
Itumb. terra	375	755	474	292	565	552	362	700	240	39	0

A Figura 7 é o gráfico de dispersão entre as distâncias e as correlações entre as estações que apresentou uma linha de tendência linear com equação:

$$f(x) = -0,001x + 0,7237$$

A nuvem de dispersão mostra que, quanto menor é a distância, maior é a correlação entre os pares de estações, o que era um padrão esperado. Kempton et. al. (2009) encontraram para seu estudo uma linha de tendência exponencial, porém para distâncias de até 700 km a curva se comportou próximo a um padrão linear, da mesma maneira ao encontrado neste estudo.

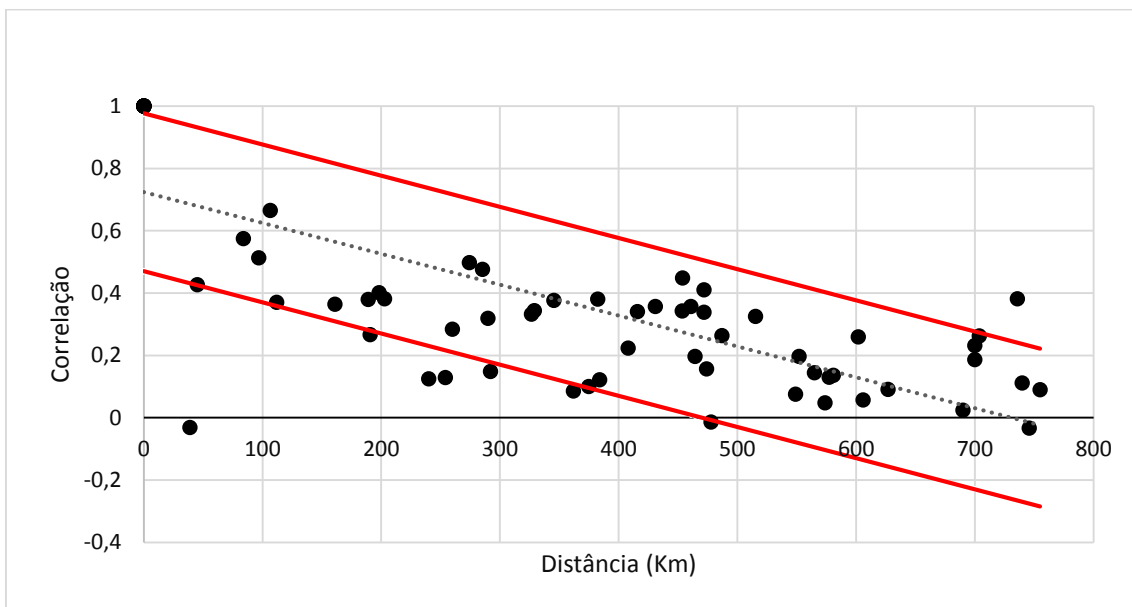


Figura 7: Dispersão entre a correlação e a distância entre as estações com as retas de +2 desvios padrão e -2 desvios padrão.

O desvio padrão entre as distâncias dos pontos à linha de tendência foi de 0,126 e, portanto, a região entre as retas em vermelho representa o limite de + ou - 2

desvios padrão. Nota-se que existem alguns pontos que se encontram fora desse limite.

Foram identificados cinco “outliers”, cujas pares de estações estão dispostos na tabela 3, sendo quatro abaixo da reta de -2 desvios padrão e um acima da reta de +2 desvios padrão.

Tabela 3: *Outliers* identificados na figura 7

Pontos abaixo da reta de -2DP	Pontos acima da reta de +2DP
Itumb. terra, Itumb. água	Teodoro Sampaio, Ubatuba
Itumb. água, S. Rita d’Oeste	
Itumb. Terra, Votuporanga	
Itumb. Terra, S. Rita d’Oeste	

Os pontos que ficaram abaixo da curva de -2 desvios padrão são os que apresentaram correlação muito baixa, ou seja, mesmo em estações próximas umas das outras a correlação não foi tão significativa. Isso evidencia a complementaridade temporal que é buscada no presente estudo. Portanto, existem estações muito próximas que possuem o comportamento do vento diferente fazendo com que em períodos de baixa intensidade do vento em uma estação, exista outra registrando altos valores. Pode-se estabelecer uma relação desses pontos abaixo da curva de -2 desvios padrão com o grande reservatório de Itumbiara, já que todos os pares que se encontram abaixo desse limite dizem respeito às estações de Itumbiara terra ou Itumbiara água. Isso mostra que o reservatório em questão alterou significativamente as medidas de intensidade do vento, pois um corpo d’água do porte do reservatório de Itumbiara pode alterar a condição atmosférica em microescala provocando esse comportamento de complementaridade entre as estações.

O ponto da dispersão que se identificou acima da curva de +2 desvios padrão apresentou coeficiente de correlação de Pearson mais elevado, o que mostra não haver complementaridade entre essas estações já que a intensidade do vento no par de estações se mostrou muito semelhante.

4.3. Índice de Turbulência (IT)

A turbulência do vento é a principal grandeza que se deve quantificar para saber a variação da intensidade do vento em curtos períodos. No presente estudo, já que se deseja conhecer o comportamento do escoamento da região, viu-se necessário mensurar a turbulência para investigar se os mecanismos que a induzem estão relacionados a sistemas atmosféricos.

A figura 8 representa os gráficos de média da intensidade do vento e Índice de Turbulência (IT) calculado para cada estação. Para as estações que possuem dados de minuto a minuto (todas com exceção de “Itumbiara água” e “Itumbiara terra” nas quais não foram feitos os cálculos), foi feita a média dos IT’s calculadas para cada hora. A estação que apresentou maior IT foi Ubatuba e Rio Claro ($IT = 1,4617$ e $IT = 0,915$ respectivamente) enquanto a menor foi Santa Rita d’Oeste ($IT = 0,322$). Segundo Manwell (2002), valores de IT altos ocorrem em baixas intensidades mas isso depende do terreno e condições do local. Isso explica os altos valores de IT para Ubatuba e Rio Claro que apresentaram média pequena. De maneira geral, altos valores de intensidade do vento estiveram associados a baixos valores de IT, resultado já esperado tendo em vista a formulação do índice.

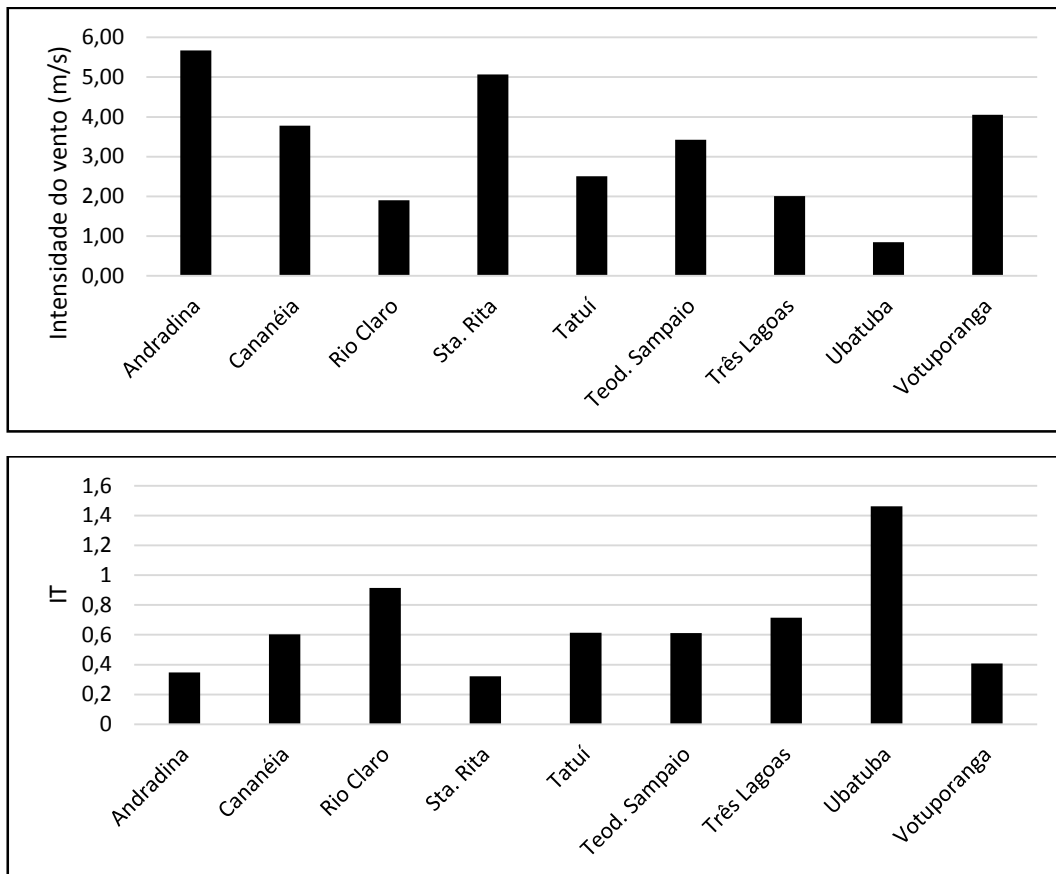


Figura 8: Intensidade média do vento e média do Índice de Turbulência (calculado hora a hora) de cada estação

4.4. Variabilidade diurna da intensidade do vento

A Figura 9 descreve a variabilidade diurna da intensidade do vento das estações. Os picos são verificados na maior parte das estações entre aproximadamente as 9 horas e 13 horas. Nesses horários o gradiente de temperatura começa a aumentar devido a incidência da radiação solar e conseqüentemente induz um gradiente horizontal de pressão considerando superfícies com diferentes respostas ao aquecimento solar. Esse gradiente de pressão é responsável pela formação dos ventos, ou seja, quanto maior o gradiente de temperatura, mais intenso deve ser o vento. A estação de Cananéia se mostrou defasada, com o pico de intensidade ocorrendo as 14:00. Essa defasagem da curva de intensidade do vento da estação mostra claramente uma complementaridade temporal na intensidade pois o pico ocorre onde há uma baixa de intensidade em outras estações

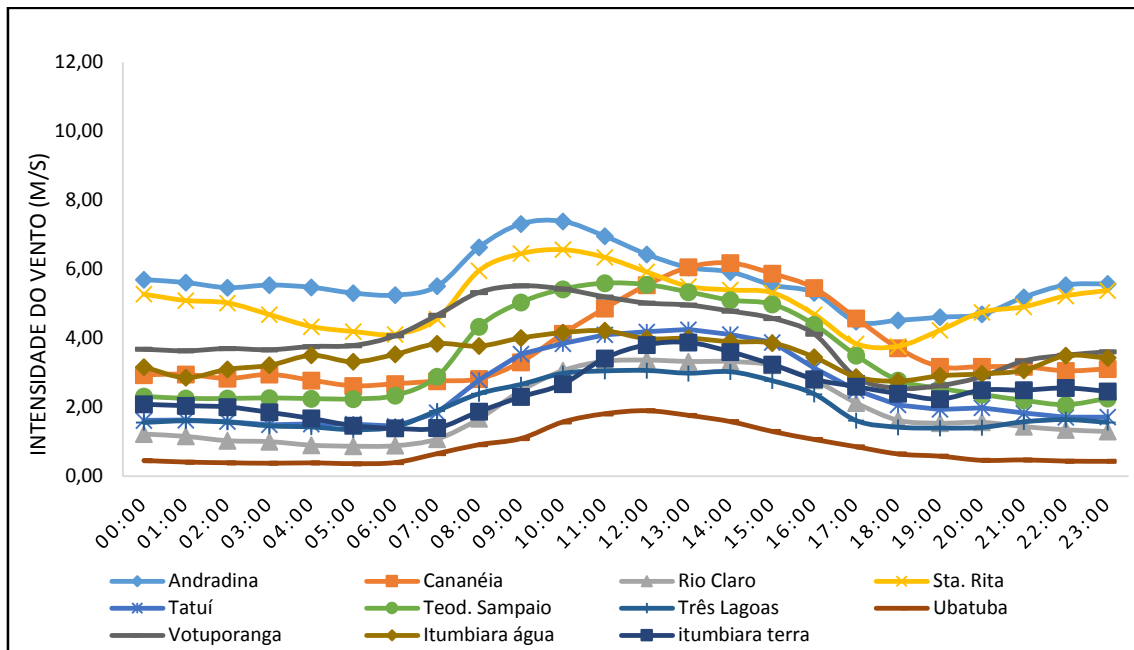


Figura 9: Variabilidade diurna da intensidade do vento nas 11 estações meteorológicas para todo o período de dados.

4.4.1. Variabilidade diurna em situação de influência de um anticiclone

Espera-se que, na presença de uma alta pressão, a variabilidade diurna do vento fique mais evidente, pois é uma situação de estabilidade atmosférica, ou seja, sem a presença de sistemas que induzam outros tipos de variabilidade. Um exemplo dessa condição atmosférica pode ser visto na Figura 10.

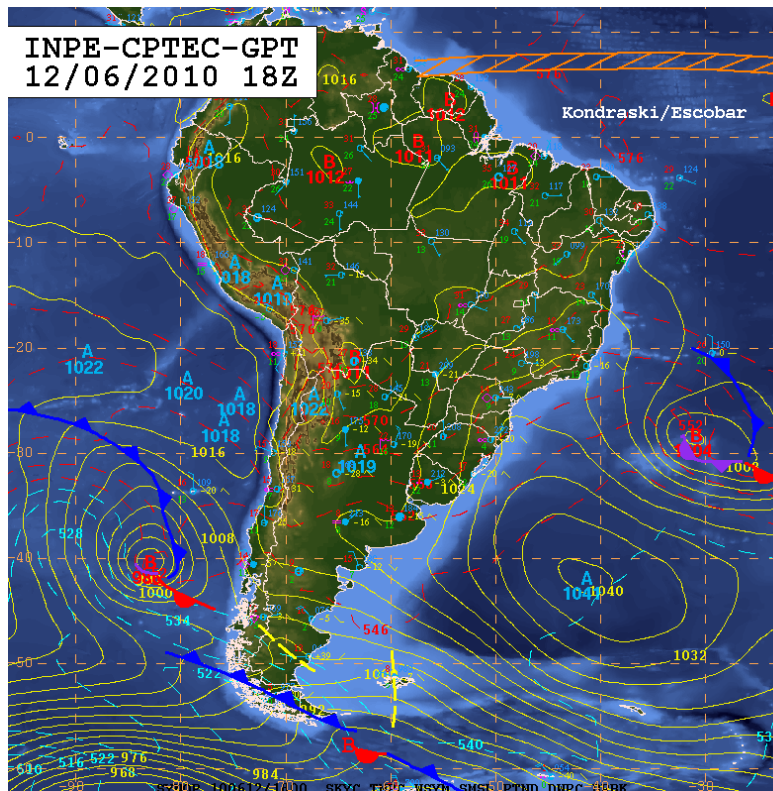


Figura 10: Carta sinótica (GPT/CPTEC/INPE) na qual a região de estudo (estado de SP) se encontra sob influência de um intenso anticiclone.

A Figura 11 ilustra que, em algumas estações meteorológicas, sob a influência da borda um intenso anticiclone, o vento atinge intensidades superiores em comparação ao período completo, pois sob influência de um anticiclone, a atmosfera é estável e sem turbulências. Essas ultimas podem alterar negativamente a intensidade do vento ao se tomar a média da série. O período de alta pressão escolhido foi de 11 a 14 de junho de 2010 e a figura 10 é uma carta sinótica de um horário dentro desse período que mostra a atuação da borda de um anticiclone cujo centro chegou a atingir 1043 hPa, o que indica um sistema muito intenso. Em geral, anticiclones estão associados a intensidades do vento mais eficientes à geração de energia eólica e ciclones configuram situações menos significativas a esse propósito, como verificado por Kempton et. al. (2009). A estação de Itumbiara terra, em parte desse período, não possuía dados de intensidade do vento, por isso não foi considerada no gráfico.

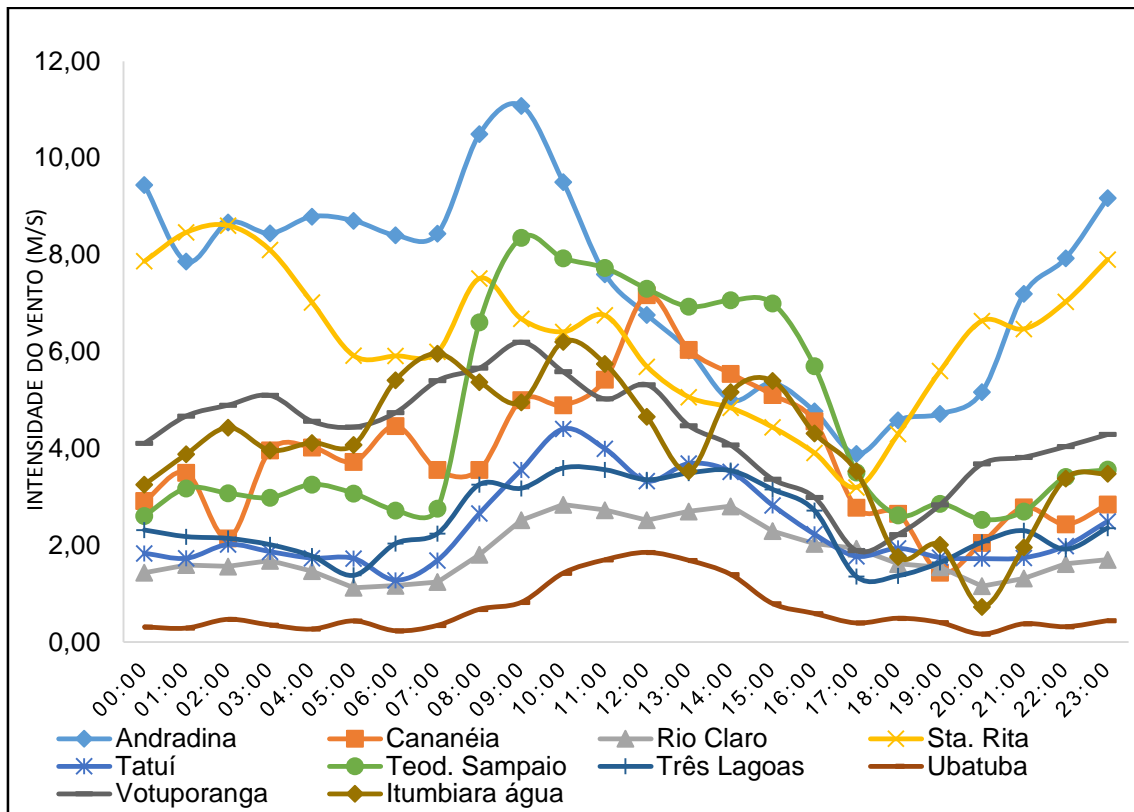


Figura 11: Variabilidade diurna da intensidade do vento em situação de alta pressão atmosférica entre os dias 11 a 14 de junho de 2010.

4.5. Análise dos padrões sinóticos

Para explorar a variação sinótica do vento no estado de São Paulo foi selecionado um período em que há a entrada de uma frente fria e também uma atuação intensa de anticiclone. Esse período selecionado foi de 1 a 14 de junho de 2010. A estação de Itumbiara terra não possuía dados nesse evento específico, por isso não foi considerada na figura 12(A), que apresenta a intensidade do vento ao longo do período do evento, indicado pelos retângulos em cor preta e a linha em cor vermelha (entrada efetiva da frente fria). Também foram utilizadas cartas sinóticas apresentadas na figura 12 (B) para facilitar a identificação dos sistemas e seus deslocamentos.

No primeiro evento, nota-se na carta sinótica de superfície a entrada de uma frente fria no estado de São Paulo no dia 5 de junho de 2010. A intensidade do vento no dia 5, em geral, apresentou dois picos na grande maioria das estações meteorológicas sendo um deles antes da passagem do sistema e outro depois. Pode-se destacar ainda que esses picos estão praticamente em fase entre as

estações, o que era de se esperar devido à proximidade entre elas. O ponto de menor intensidade, encontrado entre os picos, está provavelmente relacionado a inversão do vento causada pela entrada da frente fria, por isso, esse padrão já era esperado. A grande similaridade do padrão do escoamento entre as estações reforça ainda mais que elas estão sob o mesmo domínio sinótico com exceção da estação de Ubatuba, que não apresentou nenhuma resposta, quanto a alterações na intensidade do vento, a entrada da frente.

O segundo evento, que vai de 11 a 14 de junho, trata de uma intensa condição de alta pressão atmosférica com núcleo do anticiclone chegando a mais de 1043 hPa. A borda desse sistema atuou sobre todo sudeste, sul e parte do centro-oeste e também no nordeste argentino por aproximadamente cinco dias. Nos dias selecionados para a análise, o evento também se mostrou influente em relação ao escoamento do ar em superfície em algumas estações. O que se nota no período do segundo evento, é um aumento da intensidade do vento nas estações de Andradina, Santa Rita d'Oeste, Teodoro Sampaio e Itumbiara água. O mesmo pode não ter ocorrido nas demais estações devido a outros fatores como, por exemplo, instabilidade local gerada por aquecimento da superfície. Vale ressaltar que para a geração de energia uma situação como vista no evento de alta pressão é mais eficiente, porque apesar da intensidade do vento ter apresentado valores um pouco menores do que em situação de frente fria, esse padrão é sustentado por vários dias, o que não ocorre na entrada de uma frente fria, que também pode provocar vortacidade, e aumento da intensidade se dá em curtos períodos de tempo.

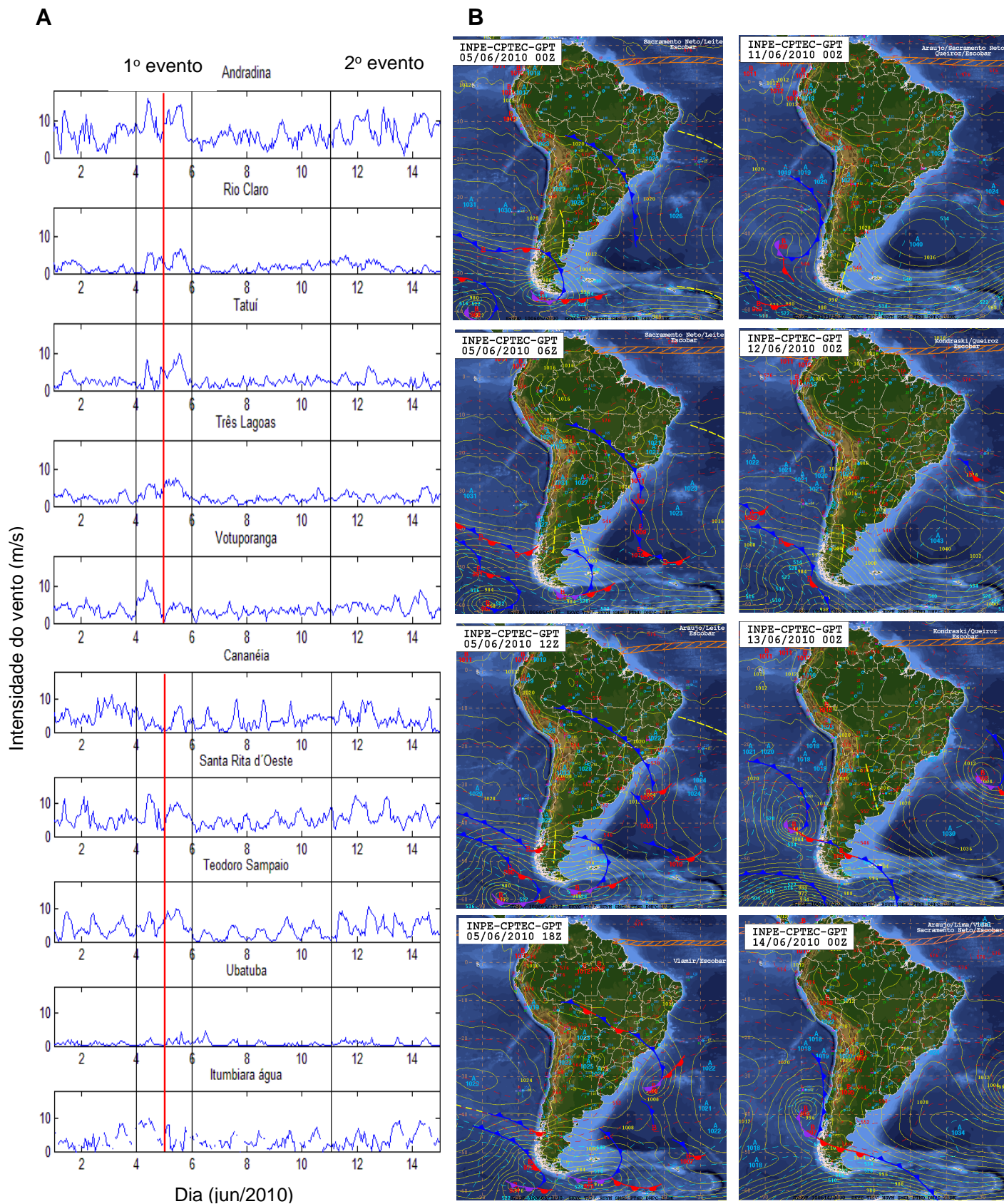


Figura 12:(A) Intensidade do vento de 1 a 14 de junho de 2010 para as 10 estações. Os dois retângulos verticais e são os eventos explicados na direita. A linha vermelha indica a entrada de uma frente fria. (B) Cartas sinóticas dos eventos de frente fria e atuação de anticiclone.

4.5.1. Padrões sinóticos e complementaridade

A fim de identificar a complementaridade entre algumas estações, foram selecionados dois pares de estações para análise: um par, cujo ponto na figura 7 ficou abaixo da linha de -2 desvios padrão (Itumbiara água, Santa Rita d'Oeste), e um par cujo ponto ficou acima da linha de +2 desvios padrão (Teodoro Sampaio, Ubatuba). A figura 13 mostra o estado da atmosfera em um instante do período selecionado para a análise juntamente com a posição de cada estação. Pode-se notar a atuação de um sistema frontal na região.

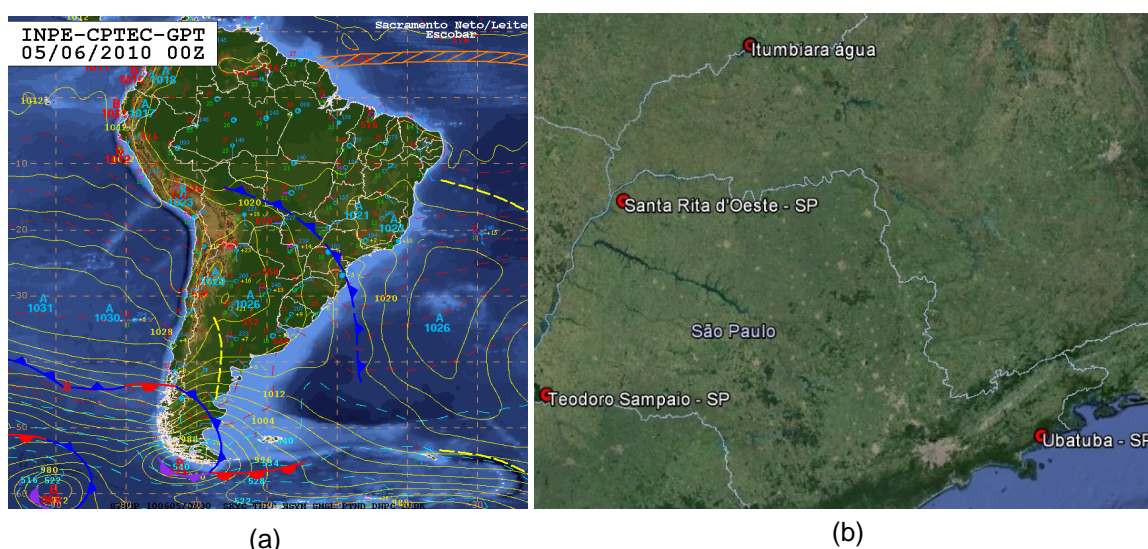


Figura 13: (a) Carta sinótica do dia 05/06/2010 às 00Z, mostrando o posicionamento da frente fria sobre a área de estudo e (b) imagem de satélite com a posição geográfica das quatro estações selecionadas.

Na seção anterior foi possível concluir, a partir da figura 12, que no momento da entrada do sistema frontal a intensidade do vento aumentou de forma considerável; depois, decresceu rapidamente e voltou a aumentar. Partindo disso, a figura 14 mostra o gráfico de intensidade do vento normalizada (dividiu-se a série de intensidade do vento pelo valor máximo) das estações de Santa Rita d'Oeste e Itumbiara água para um período de entrada de frente fria. O sistema frontal entra efetivamente na estação de Santa Rita d'Oeste ente 3:00 e 6:00 horas do dia 5/06 provocando um decréscimo da intensidade do vento, depois disso a intensidade volta a aumentar. Algumas horas após a frente atingir Santa Rita d'Oeste, ela passa pela estação de Itumbiara água

(aproximadamente 9:00 horas) e a intensidade do vento se comporta de maneira similar apresentando um decréscimo seguido de um aumento. Com isso pode-se identificar uma complementaridade entre essas estações durante o período de 0:00 a 18:00 horas do dia 5 de junho induzida pela entrada do sistema frontal. Após esse período as curvas voltam a se comportar de maneira acoplada.

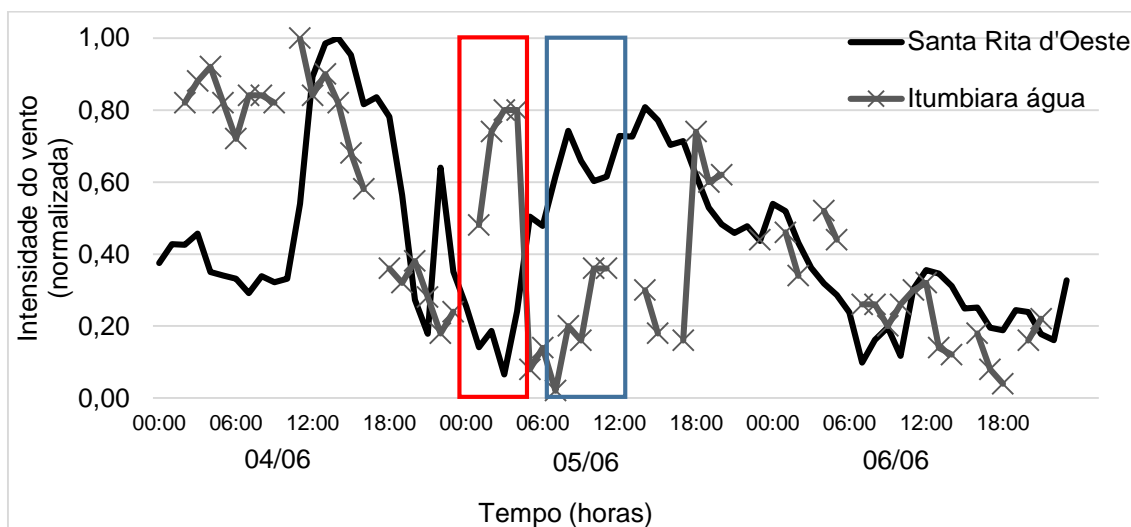


Figura 14: Intensidade do vento (normalizada) para as estações de Santa Rita d'Oeste e Itumbiara água no período de entrada de frente fria. O retângulo vermelho indica a entrada da frente em Santa Rita d'Oeste e o retângulo azul a entrada da frente em Itumbiara água.

A figura 15 mostra o par de estações cujo ponto ficou acima da linha de +2 desvios padrão, para o mesmo período de frente fria da figura 14. O gráfico apresentou curvas bem correlacionadas com exceção do período de 0:00 às 12:00 do dia 06/06, em que pode-se identificar um comportamento inverso entre as curvas, caracterizando certa complementaridade entre as estações. Porém essa complementaridade não pode ser explicada pela atuação do sistema frontal. A possível razão é, que por ser uma complementaridade em uma escala de tempo muito pequena, pode ter sido causada por fatores de microescala ou até mesoescala.

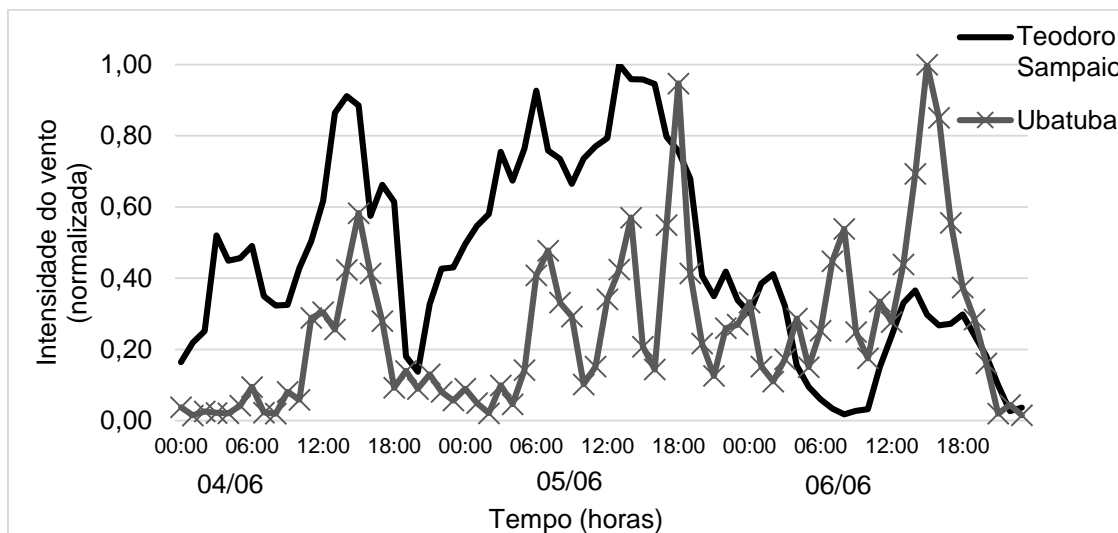


Figura 15: Intensidade do vento (normalizada) para as estações de Teodoro Sampaio e Ubatuba no período de entrada de frente fria

Fazendo a mesma análise para um período de atuação de um anticiclone, espera-se que as curvas de intensidade do vento descrevam comportamentos semelhantes, pois a região toda está sob influência de ventos com direção predominante de nordeste, causados pela borda oeste do anticiclone, cuja atuação é praticamente a mesma em toda região de estudo. As figuras 16 e 17 são gráficos de intensidade do vento normalizada para os dois pares de estação selecionados, porém para um período de atuação de anticiclone, ou seja, uma atmosfera estável. O que se pode notar foram curvas bem correlacionadas em ambos os casos, como era de se esperar. Pode-se destacar, na figura 16, que a estação de Itumbiara água apresentou um pico de intensidade defasado em aproximadamente quatro horas em relação a curva de Santa Rita d'Oeste. Esse foi o único comportamento das curvas que, significativamente, remete a complementaridade, porém como o sistema que está atuando nessa situação é um anticiclone não é possível, a princípio, associar essa defasagem a algum sistema atmosférico em particular.

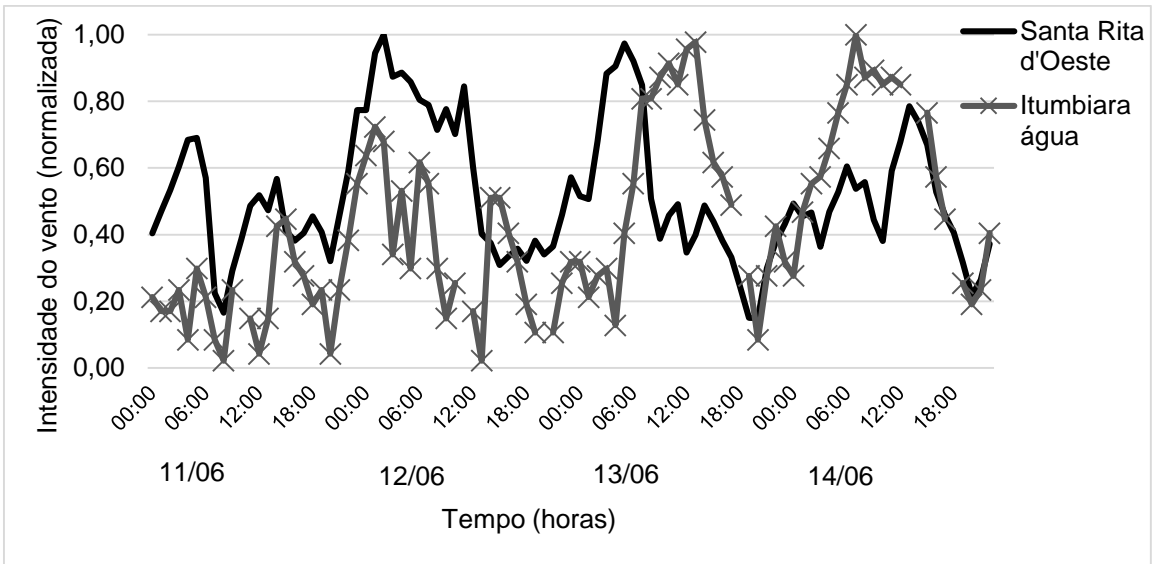


Figura 16: Intensidade do vento (normalizada) para as estações de Santa Rita d'Oeste e Itumbiara água no período atuação de um anticiclone

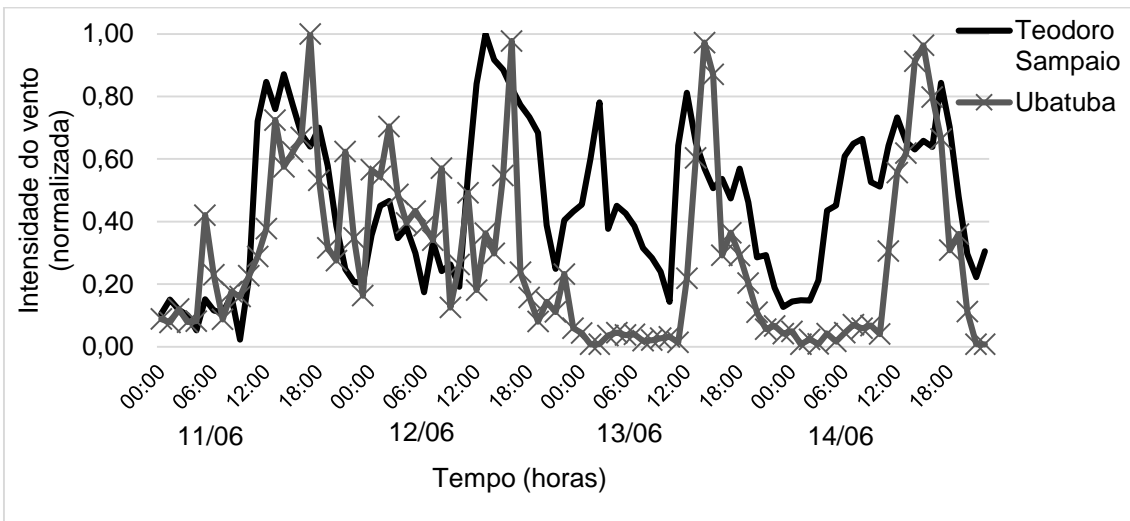


Figura 17: Intensidade do vento (normalizada) para as estações de Teodoro Sampaio e Ubatuba no período de atuação de um anticiclone

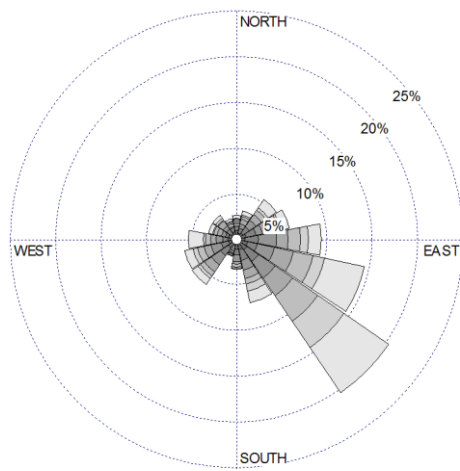
4.6. Dispersão do IT por direção do vento

Foram gerados gráficos de IT por direção predominante do vento a fim de investigar se os maiores valores de turbulência ocorrem em alguma direção preferencial do vento. O que se pode concluir é que em alguns casos isso ocorre, porém não se identificou nenhuma relação com sistemas atmosféricos. Portanto, foi analisado o perfil do relevo ao redor de cada estação, a fim de encontrar as possíveis causas de tal comportamento.

A figura 18 e 19 mostram a rosa dos ventos, IT por predominância do vento e o mapa digital de elevação (MDE) para as estações de Teodoro Sampaio e Rio Claro respectivamente. Analisando visualmente o MDE, foi encontrado um padrão entre as imagens que é a possível explicação para o comportamento da direção do vento em períodos de IT intenso. Em Teodoro Sampaio o MDE mostra que não existe nenhum obstáculo ao redor da plataforma de medição, conseqüentemente a nuvem de dispersão dos IT's não apresenta direção predominante. Já na estação de Rio Claro, nota-se no MDE que no entorno existem depressões significativas no terreno fazendo com que altos valores de turbulência tenham direção preferencial de nordeste da mesma maneira que a intensidade do vento. Conclui-se então a partir desses resultados que a turbulência encontrada nessa estação pode estar intimamente relacionada ao relevo no entorno.

TEODORO SAMPAIO

Intensidade do vento



WIND SPEED (m/s)

- >= 8,0
- 7,0 - 8,0
- 6,0 - 7,0
- 5,0 - 6,0
- 4,0 - 5,0
- 3,0 - 4,0
- 2,0 - 3,0
- 1,0 - 2,0
- 0,0 - 1,0

Calms: 0,00%

IT

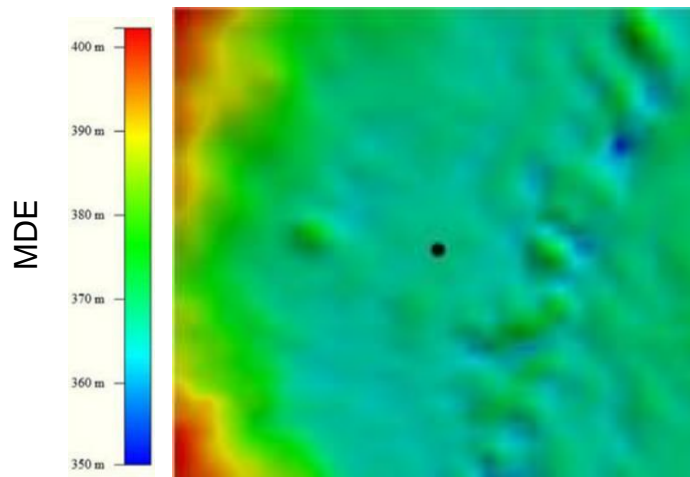
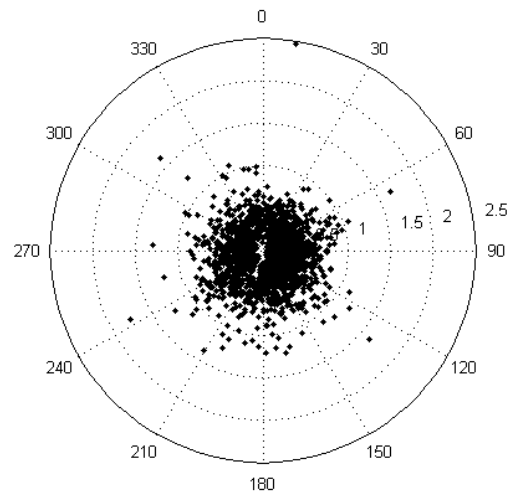


Figura 18: Rosa dos ventos, dispersão do IT por direção predominante do vento e MDE (Fonte: Assireu et. al. 2012) para Teodoro Sampaio

RIO CLARO

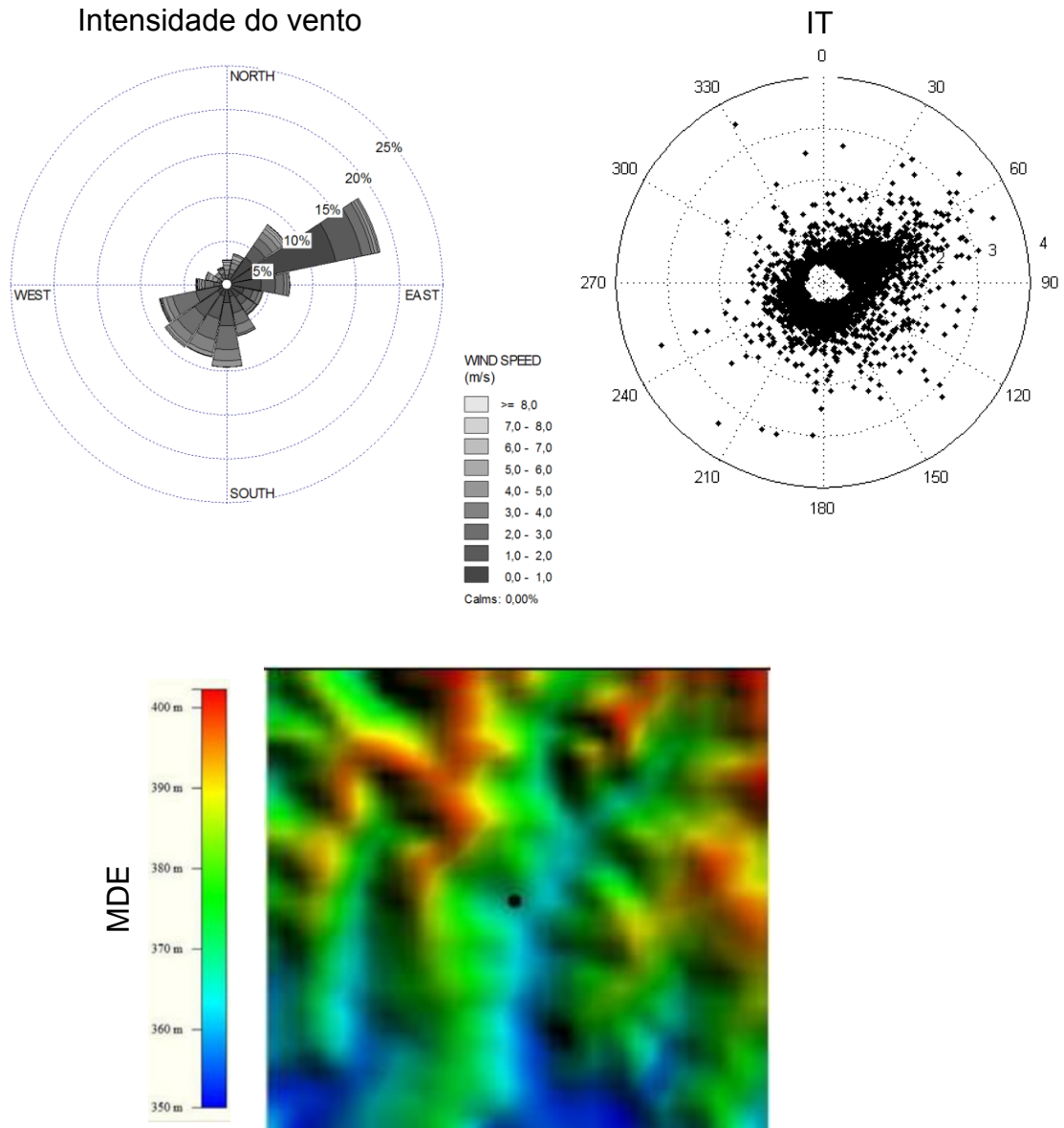


Figura 19: Rosa dos ventos, dispersão do IT por direção predominante do vento e MDE (Fonte: Assireu et. al. 2012) para Rio Claro

4.7. Maritimidade

Como já foi brevemente discutido na seção 4.4, a maritimidade exerce importante influência no escoamento do ar. Portanto, estações meteorológicas próximas à costa geralmente sofrem com esse tipo de ação. A brisa, por exemplo, é um sistema de mesoescala que é gerado pelo gradiente de temperatura entre continente e oceano. A influência da maritimidade não impacta somente a variável vento mas também temperatura, umidade, precipitação e variáveis relacionadas. Segundo Manwell (2002) o IT “offshore” é menor que o IT em terra pois no continente existe a rugosidade do terreno e grandes gradientes de temperatura. No oceano, o raio solar penetra vários metros dentro da água e, já no continente, atinge somente a camada superficial, aquecendo-a mais. Esse aquecimento ainda é reforçado pela diferença entre o calor específico entre os meios.

A figura 20 apresenta o gráfico de dispersão entre a distância de cada estação à costa e a intensidade do vento. Conclui-se, a partir desse gráfico, que não existe relação alguma entre essas duas variáveis. Porém, quando se analisa a direção do vento obtêm-se resultados mais interessantes (figura 21).

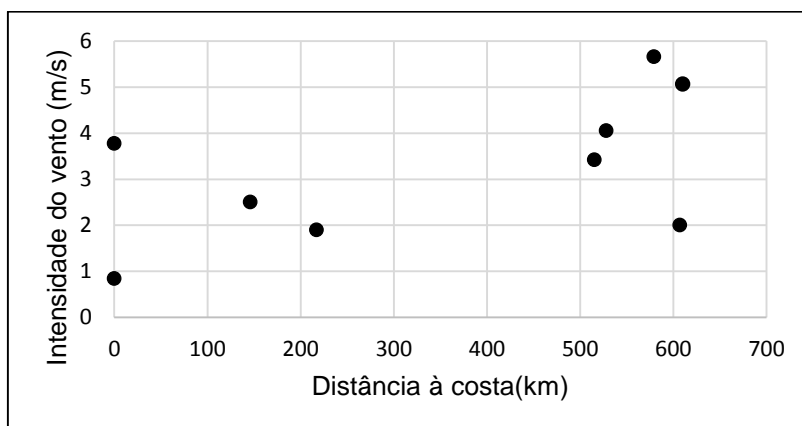


Figura 20: Dispersão entre a distância à costa e intensidade do vento de cada estação.

A figura 21 mostra o sinal de brisa para um período de alta pressão (11 a 14 de junho de 2010), para as estações de Cananéia (litorânea) e Andradina (continental). O período de alta pressão foi escolhido pois o sinal de brisa fica mais evidente.

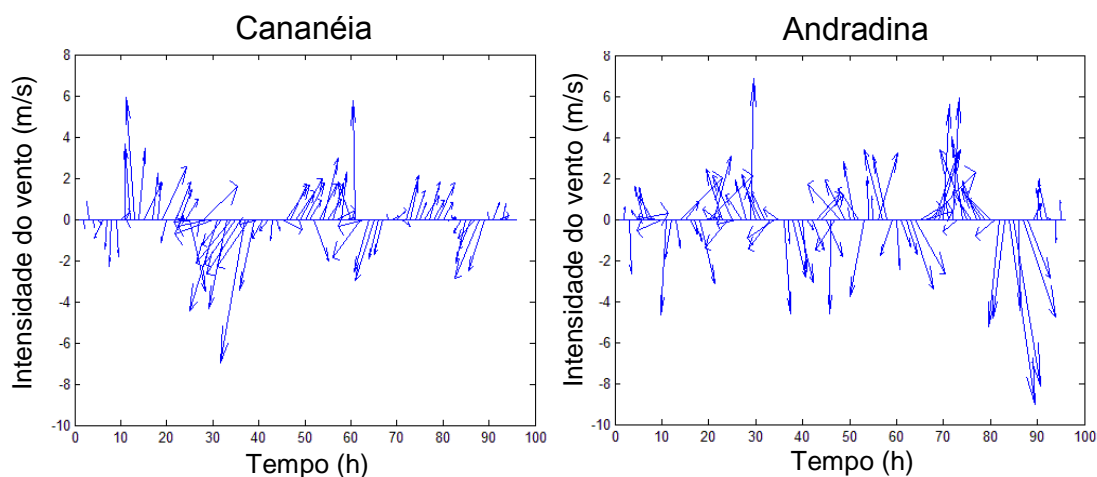


Figura 21: Sinal de brisa nas estações de Cananéia e Andradina para um período de atuação de anticiclone

O eixo y é a intensidade do vento e os vetores apontam a direção do vento, foi feita a rotação do vento para se representar os ventos paralelos e perpendiculares à costa. O eixo x é o tempo em horas, o período estudado foi de 96 horas. Analisando a figura nota-se de imediato que, apesar da estação de Andradina apresentar certa oscilação da direção do vento, o agrupamento dos vetores do gráfico de Cananéia se mostra muito mais comportado do que o de Andradina. Isso mostra claramente a influência da brisa no escoamento do ar de Cananéia

5. CONCLUSÃO

O presente estudo buscou conhecer o comportamento do vento na região do estado de São Paulo e identificar padrões de complementaridade do vento entre estações, investigando se foram causados por fatores atmosféricos ou não. Os resultados indicaram que:

- Devido às influências do grande reservatório nas condições atmosféricas, as estações de Itumbiara apresentaram baixa correlação em alguns pares (Itumb. terra, Itumb. água; Itumb. água, S. Rita d'Oeste; Itumb. Terra,

Votuporanga e Itumb. Terra, S. Rita d'Oeste) evidenciando uma complementaridade entre elas.

- Na variabilidade diurna do vento, as estações apresentaram pico entre aproximadamente 9 e 13 horas com exceção da estação de Cananéia, que se mostrou defasada com pico às 14 horas. Nesse caso a estação de Cananéia apresentou ventos intensos no mesmo período em que outras estações indicaram ventos mais fracos, resultado que evidencia complementaridade.

- O relevo se mostrou bastante influente na geração de turbulência no escoamento induzindo a turbulência em direções específicas.

- Uma frente fria que passou na região de estudo no dia 5 de junho de 2010 e uma alta dos dias 11 a 14 de junho de 2010 perturbaram o escoamento do ar em grande parte das estações. A partir disso, pode-se concluir que sistemas sinóticos se mostram importantes no comportamento do escoamento.

- Uma frente fria que entrou na região de estudo no dia 5 de junho de 2010 induziu de maneira significativa a complementaridade do vento entre as estações de Itumbiara água e Santa Rita d'Oeste. Foram identificados outros padrões de complementaridade entre estações que não puderam ser explicados pelos processos sinóticos, mas que podem ser investigados em estudos futuros.

- Na análise da maritimidade o gráfico de dispersão entre a distância das estações à costa e a intensidade do vento não mostrou nenhuma correlação entre os pontos indicando que essas variáveis não estão relacionadas entre si. Porém o gráfico do sinal de brisa que relaciona a direção do vento mostrou, para um período de alta pressão, que a maritimidade influencia significativamente no escoamento em estações próximas ao oceano, como Cananéia.

A partir dessas conclusões pode-se dizer que a complementaridade temporal do vento entre algumas estações foi identificada, e mesmo se fazendo necessário um estudo como esse em um período de tempo maior, o resultado se mostrou importante nas diversas aplicações relacionadas ao conhecimento do comportamento do vento.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARANTE, O. A. C.; SCHULTZ, D. J.; BITTENCOURT, R. M.; ROCHA, N. A. Wind/Hydro Complementary Seasonal Regimes in Brazil, DEWI Mag, 19, p79-86. 2001.

ARCHER, C.L., JACOBSON, M.Z., Evaluation of Global Wind Power. J Geophys Res 110:D12110.1029/2004JD005462. 2005.

ASSIREU, A. T., PEREIRA, R. R., SOUZA, V. C. O., SOUZA, A. F., FRANCHITO, S. H. Aplicação do Operador de Fragmentação Assimétrica (FA) para estimativas da rugosidade superficial a partir de mapas digitais de elevação. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. 2012

BJERKNES, J.; SOLBERG, H. Life Cycle of Cyclones and Polar Front Theory of Atmospheric Circulation. Geof. Publ., 3(1), 3-18. 1922.

DEGOLA, T. S. D., AMBRIZZI, T., REBOITA, M. S. Climatologia da posição do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 17., 2012, Gramado-RS.

HASTENRATH, S. Interannual Variability na Annual Cycle: Mechanisms of Circulation and Climate in the Tropical Atlantic Sector. Monthly Weather Review, v. 112, p. 1097-1107, 1984.

KEMPTON, W., PIMENTA, F.; VERON; COLLE, B., Eletric Power from Offshore Wind via Synoptic-Scale Interconnection. PNAS, v.107, n.16, p.7240-7245. 2009.

KOUSKY, V.E., ELIAS, M. Meteorologia Sinótica: Parte I. INPE-2605-MD/021.1982.

LEMOS, C. F.; CALBETE, N. O. Sistemas Frontais que Atuaram no Brasil de 1987 a 1995. In Climanálise Especial de 10 anos. CPTEC, 1996.

MACHEL, H.; KAPALA, A.; FLOHN, H. Behaviour of the centres of action above the atlantic since 1881. Part I: Characteristics of season and interannual variability. International Journal of Climatology, v. 18, p. 1-22, 1998.

MANWELL, J. F., McGOWAN, J.G., ROGERS, A.L. Wind Energy Explained. JOHN WLEY & SONS, LTD. 2002.

OLIVEIRA, A. P.; SILVA DIAS, P. L. Aspectos observacionais da Brisa Marítima em São Paulo. Anais II Congresso Brasileiro de Meteorologia. Pelotas, v.2, p. 129-141, 1982.

PEREIRA, R. R., Relação entre Processos Sinóticos e Ventos Locais Medidos no Atlântico Sudoeste. Trabalho Final de Graduação (Graduação em Ciências Atmosféricas) Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2013.

PIANEZZOLA, G. Mapas de complementaridade dos potenciais solar e eólico no estado do Rio Grande do Sul. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

REBOITA, M. S., da ROCHA, R. P., AMBRIZZI, T., SUGAHARA, S. South Atlantic Ocean cyclogenesis climatology simulated by regional climate model (RegCM3). Climate Dynamics, v. 35, p. 1331-1347, 2010.

SANDERS, F., Real front or baroclinic trough?. Weather and Forecasting, 20, 647-651. 2005

SILVA, L. C., Complementaridade espaço-temporal do vento relacionada a influências morfométricas. Trabalho Final de Graduação (Graduação em Engenharia Ambiental) Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2013.

SIMONSEN, T.K., STEVENS, B.G., Regional Wind Energy Analysis for the Central United States. Proc Global Wind Power (American Wind Energy Association, Chicago) p 16, 2004.

UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap8/cap8-2.html>>. Acesso em: 30 de abril de 2014

ANEXO A – Rotina de Matlab usada para plotar a dispersão dos IT's

```
%ROTINA QUE PLOTA EM COORDENADAS POLARES A DISPERSÃO DE ALGUMA  
VARIÁVEL  
%POR DIREÇÃO, NESSE CASO INTENSIDADE DE TURBULENCIA DO VENTO
```

```
clear all  
close all  
fid = fopen('wind_rose.txt');  
dados=textscan(fid, '%f%f%f%f%f%f%f%f%f%f%f%f%f',  
'delimiter','\t', 'Headerlines',1);  
fclose (fid);
```

```
dir_and=dados{1,1};  
it_and=dados{1,2};  
dir_can=dados{1,3};  
it_can=dados{1,4};  
dir_rc=dados{1,5};  
it_rc=dados{1,6};  
dir_sr=dados{1,7};  
it_sr=dados{1,8};  
dir_tat=dados{1,9};  
it_tat=dados{1,10};  
dir_ts=dados{1,11};  
it_ts=dados{1,12};  
dir_tl=dados{1,13};  
it_tl=dados{1,14};  
dir_uba=dados{1,15};  
it_uba=dados{1,16};  
dir_vot=dados{1,17};  
it_vot=dados{1,18};
```

```
figure (1)  
polar(dir_and.*pi/180,it_and,'k.')  
view(90,-90)
```

```
figure (2)  
polar(dir_can.*pi/180,it_can,'k.')  
view(90,-90)
```

```
figure (3)  
polar(dir_rc.*pi/180,it_rc,'k.')  
view(90,-90)
```

```
figure (4)  
polar(dir_sr.*pi/180,it_sr,'k.')  
view(90,-90)
```

```
figure (5)  
polar(dir_tat.*pi/180,it_tat,'k.')  
view(90,-90)
```

```
figure (6)  
polar(dir_ts.*pi/180,it_ts,'k.')  
view(90,-90)
```



```
figure (7)
polar(dir_tl.*pi/180,it_tl,'k.')
view(90,-90)
```

```
figure (8)
polar(dir_uba.*pi/180,it_uba,'k.')
view(90,-90)
```

```
figure (9)
polar(dir_vot.*pi/180,it_vot,'k.')
view(90,-90)
```