



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Estudo Numérico do Vento Aracati, um Evento Frequente de Rio Perene no Estado do Ceará-Brasil

Henrique do Nascimento Camelo¹, João Bosco Verçosa Leal Junior²

¹Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Ciências Climáticas (PPGCC) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Natal-RN, Brasil. Prof. do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará-IFCE, Campus Acaraú-CE, Brasil, e-mail: henriquecamelo13@yahoo.com.br (autor correspondente). ²Prof. da Universidade Estadual do Ceará, Dept. de Física (UECE), Fortaleza-CE, Brasil. E-mail: jblealjr@uece.br.

Artigo recebido em 08/05/2015 e aceite em 15/08/2015

RESUMO

Nesse trabalho foi realizado um estudo numérico da circulação local no estado do Ceará, com o objetivo de identificar as ocorrências do vento Aracati. A análise estatística utilizando dados de velocidade do vento a um nível de 10 m de PCDs revelou as ocorrências do Aracati. Com isso, foi possível delimitar as fronteiras da simulação numérica realizada com o modelo (RAMS). A simulação mostrou que o vento Aracati tem origem na costa leste, adentra pelo sertão através do Rio Jaguaribe, um rio perene do estado. O Aracati possui, portanto, características semelhantes de uma brisa marítima, só que com uma grande penetração no continente. Afirmação é baseada no fato de ser possível observar uma região com máxima velocidade de vento na simulação, paralelo à costa do litoral leste do estado do Ceará, nas proximidades do Rio Jaguaribe às 15h, que diminui progressivamente de intensidade depois das 21h, observado em quase todos os dias simulados. Essa região possui características que podem ser atribuídas ao vento Aracati, ou seja, valores anormais de velocidade de vento nas proximidades do Rio Jaguaribe e seus afluentes, bem maior do que o habitual. A explicação para o surgimento do Aracati em regiões mais distantes do litoral pode estar associado ao Rio Jaguaribe, o qual desempenharia um papel importante no sentido de servir como canalizador do vento, de maneira que, essa idéia pode ser uma das possíveis explicações para as ocorrências do Aracati em, por exemplo, Icó, situado aproximadamente 300 km do litoral leste do Ceará.

Palavras-chave: velocidade de vento, modelagem atmosférica, vento Aracati.

Numerical Study of the Aracati Wind, a Frequent Event of Perennial River in Ceará State-Brazil

ABSTRACT

In this work, we present a numerical study of local circulation in the state of Ceará, in order to identify the occurrences Aracati wind. Statistical analysis using wind speed data at a level of 10 m PCDs revealed Aracati instances. Thus, it was possible to delimit the boundaries of the numerical simulation carried out with the model (RAMS). The simulation showed that the wind Aracati comes from the east coast enters the hinterland through the Rio Jaguaribe, a perennial river in the state. The Aracati therefore has similar characteristics of a sea breeze, but with a great penetration on the continent. Statement is based on the fact it is possible to observe a region with maximum wind speed in the simulation, parallel to the east coastline of the state of Ceará, near the Jaguaribe River at 3PM, which progressively decreases in intensity after 9PM observed in almost all simulated days. This region has characteristics that can be attributed to Aracati wind, i.e., abnormal values of wind speed near the Jaguaribe River and its tributaries, much higher than usual. The explanation for the rise of Aracati in more distant regions of the coast can be associated with the Rio Jaguaribe, which play an important role in serving as wind plumber, so that this idea can be one possible explanation for the occurrences the Aracati in, for example, Icó, located about 300 km from the east coast of Ceará.

Keywords: wind speed, atmospheric modeling, Aracati wind.

Introdução

No interior do Estado do Ceará no nordeste brasileiro, diariamente em regiões ribeirinhas, diariamente no fim das tardes e começo das noites quentes da época seca do ano, sopra um vento que, de acordo com moradores, leva uma sensação de

conforto térmico a tais regiões. Esse vento é denominado pelos próprios moradores de vento Aracati, não se sabendo ao certo a partir de que momento ele recebeu tal denominação. Muitos moradores supõem que o Aracati possui origem do mar e acaba adentrando pelo sertão através

do vale do Rio Jaguaribe, o principal rio perene do estado do Ceará, que possui extensão de aproximadamente 610 km (Gatto, 1999), desde a

O Aracati teria, portanto, características semelhantes às de uma brisa marítima, só que com uma grande penetração continente adentro. Vale ressaltar que a ocorrência do Aracati ainda de acordo com moradores está condicionada ao registro de um aumento de velocidade de vento ao longo das regiões ribeirinhas para o dia considerado. A brisa marítima ocorre durante o dia, quando o vento sopra do mar para o continente. A água do mar, que tem um calor específico maior em relação ao do continente, durante o dia sofre variações de temperatura relativamente pequenas. Desse modo, numa região litorânea, a terra se aquece mais do que o mar durante o dia. O ar aquecido em contato com a terra, sobe por ser menos denso, produzindo uma região de baixa pressão sobre a terra, fazendo com que o ar que está sobre o mar siga em direção ao continente. Já durante a noite, ao perder calor, a terra se resfria mais rapidamente do que o mar. Então, o processo se inverte e sopra a brisa terrestre, ou seja, o vento sai do continente em direção ao mar.

Em geral, a brisa marítima é mais intensa e mais persistente do que a brisa terrestre. A circulação de brisa marítima é localmente induzida por um gradiente térmico que se estabelece perpendicular à linha da costa. Quando se observa um gradiente térmico positivo, significa que a temperatura do ar no continente é maior do que sobre o oceano, indicando desta forma, uma circulação no sentido oceano-continente (brisa marítima), ocorrendo geralmente no horário entre às 15:00h e 18:00h, horário local. Do contrário, quando o gradiente térmico é negativo, ou seja, quando a temperatura do ar do oceano é maior do que sobre o continente, indica uma circulação com sentido continente-oceano (brisa terrestre), que é verificada entre os horários de 03:00h às 09:00h.

A interface entre o ar continental quente e o ar marinho frio contido dentro da circulação de brisa marítima está associado com mudanças significativas de temperatura e direção do vento. Essa região de transição, muitas vezes é bem definida, e denominada de frete de brisa marítima (Fovell e Dailey, 2001). Alguns estudos estimam que a velocidade típica de propagação da frente de brisa é de 3 a 7 m/s (Clarke, 1955; Finkle, 1998). Em casos extremos, a frete de brisa pode penetrar 300 Km da costa (Atkinson, 1981). O alcance da penetração, bem como da aceleração do vento, são funções do gradiente térmico e da topografia local. Maiores detalhes sobre os fenômenos de brisas marítimas e terrestres podem ser encontrados em Simpson (1994) e Koo e Reible (1995).

Um dos grandes historiadores cearense, Raimundo Girão, identifica o Aracati como sendo “monção ou

nascente a sudoeste até o litoral a nordeste.

brisa que sopra nas tardes de verão, saindo do mar e entrando no sertão refrescando-os”. Essa frase pode ser comprovada nas cidades que ficam às margens do Rio Jaguaribe, onde parte da população ainda senta-se à calçada no final da tarde para descansar, esperando a passagem do “Aracati”, que segundo esses moradores, é o vento que se desloca do litoral em direção ao interior pelo leito do Jaguaribe.

Em qualquer dicionário da língua portuguesa, a palavra Aracati possui o significado de vento que em regiões nordestinas (especialmente no Ceará) sopra de N.E. para S.O. Mas a palavra Aracati tem origem do Tupi, que possui diversas versões, como por exemplo, “vento ou rajada forte”, “aragem forte”, “vento que cheira” ou ainda “Bonança”. Para o escritor cearense José de Alencar, em seu livro Iracema, o vento Aracati pode ser traduzido como o “Vento que vem do mar” (Alencar, 1829).

O estudo da evolução da atmosfera, em uma dada região pode ser feito com o auxílio de simulações numéricas computacionais. Para isso, é necessário que tenhamos as condições iniciais predominantes de nossa região de estudo para uma determinada época. Atualmente, existem vários modelos numéricos atmosféricos regionais, ou seja, modelos que simulam a atmosfera na sua escala local, que pode ir de dezenas de metros até centenas de quilômetros.

Dentre eles é possível destacar o *Regional Atmospheric Modeling System* (RAMS), desenvolvido pela Colorado State University (CSU). Uma das grandes vantagens dos modelos atmosféricos é a de permitir que a atmosfera seja modelada a partir de condições iniciais realísticas, obtidas a partir de conjuntos de dados observacionais ou resultados de modelos de circulação global, que passam por diversas análises de consistência e veracidade, possibilitando reproduzir a evolução da atmosfera com fins diagnósticos, o que comumente é chamado de dados de re-análise, que leva o nome do projeto. Será utilizado desta capacidade para o estudo da evolução da atmosfera em uma escala regional, em especial a evolução do campo de vento à superfície no vale do Rio Jaguaribe, com o intuito de entender os processos físicos envolvidos na formação e evolução do vento Aracati.

O vento Aracati possui uma significativa importância para o estado do Ceará, pois além de trazer conforto térmico aos moradores de

regiões por onde ele se desenvolve, trata-se de um tipo de circulação local. As circulações locais têm sido muito estudadas nos últimos anos através de modelos regionais. Sua importância está ligada à dispersão de poluentes (Kimura, 1985; Lu e Turco, 1994; Lyons et al., 1995; Nester, 1995; Camps et al., 1996), à distribuição de chuvas (Camberlin e Planchon, 1997; Wilson e Megenhardt, 1997; Case et al., 2002; Raman et al., 2005) e ao potencial eólico (Lavagnini et al., 2003).

Em termos de energia eólica é considerada como uma fonte de energia limpa e renovável. O impulso para a discussão da utilização das energias renováveis deu-se a partir da crise do petróleo na década de 70. Por um lado, a necessidade de assegurar a diversidade e segurança no fornecimento de energia e, por outro lado, a obrigação de proteger o ambiente, cuja degradação é acentuada pelo uso de combustíveis fósseis, motivaram o renovado interesse pelas energias renováveis.

A maior parte do abastecimento de combustíveis e energia, a nível mundial, é proveniente de combustíveis fósseis, que diariamente emitem o gás dióxido de carbono CO_2 , o qual é um dos principais gases causadores do aumento do efeito estufa. Neste aspecto, a utilização das energias renováveis tem despertado cada vez mais interesse na comunidade científica, principalmente sob a alegação de reduzir a poluição atmosférica, já que são consideradas fontes de energia limpas. Mas, a questão da escassez do petróleo, principalmente dada o aumento populacional, também tem sido um outro fator importante. Então surge a necessidade do homem em buscar novas fontes de energia, para que possa garantir a sustentabilidade das futuras gerações. O Protocolo de Kyoto, neste momento é um dos principais mecanismos com objetivo de atenuar as emissões de CO_2 , provenientes da queima de combustíveis fósseis, pois esse documento tem, em sua maior vertente, o incentivo na utilização de recursos energéticos renováveis, como é o caso da energia eólica, solar, biomassa, dentre outras, cujo impacto ambiental é bem menor em relação aos combustíveis fósseis.

Vale ressaltar que o estado do Ceará é bastante conhecido no que se refere ao aproveitamento dos seus regimes de ventos para aplicações em construção de parques eólicos. Isso se dá, pelo motivo de que sua localização geográfica é muito influenciada pelos ventos alísios, os quais fazem parte da circulação global. Além disso, o Ceará possui ótimas condições

para o aproveitamento energético de outras fontes de energia limpas e renováveis, pois sua posição geográfica também favorece a utilização da radiação solar, através de células fotovoltaicas. Referente a utilização da energia solar, os custos para a conversão em energia elétrica ainda são muito elevados, devido à matéria-prima utilizada, o silício (um bom material semicondutor), o que ainda inviabiliza a sua utilização em larga escala. Por outro lado, a energia eólica envolve custos de instalação e de manutenção bem menores que os da energia solar. Em virtude disso, o estado do Ceará já possui uma boa experiência no assunto, pois é o primeiro local do mundo onde foi implantado um parque eólico em dunas (Carvalho, 2003).

Muito do que se conhece sobre o vento Aracati é baseado em relatos de moradores das regiões por onde é possível observarmos suas ocorrências. Dessa forma, nesse trabalho é proposto um estudo científico com o intuito de saber quais as possíveis origens do vento Aracati, além de quais as consequências de seu aparecimento em localidades ao longo do Rio Jaguaribe.

Esse trabalho tem como objetivo realizar simulação numérica de mesoescala com o modelo (RAMS) para identificar a evolução do campo de vento à superfície no vale do Rio Jaguaribe, com o intuito de entender os processos físicos envolvidos na formação e evolução do vento Aracati, identificando sua passagem ao longo do rio.

Material e Métodos

O estado do Ceará está localizado na região norte do Nordeste do Brasil. Seu regime de ventos sofre uma boa influência dos ventos alísios, os quais fazem parte da circulação global atmosférica. No segundo semestre do ano, a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) migra para sua posição mais ao norte de sua normal climatológica. É nessa época que os ventos alísios são mais intensos sobre o estado. A área de estudo foi a de atuação do vento Aracati, mapeada segundo relato de moradores da região Figura 1. Essa região possui proximidade com o rio Jaguaribe, o principal rio perene do Estado do Ceará.



Figura 1. Mapa do estado do Ceará, mostrando regiões de atuação do vento Aracati segundo relatos de moradores (retângulo de contorno em vermelho). Fonte: <http://www.guianet.com.br>.

Uma importante característica da ocorrência do vento Aracati, em uma determinada localidade, é o fato de ser possível registrar na sua passagem o máximo valor de média horária de velocidade para o dia de sua ocorrência.

Para ilustrar o que foi dito acima, através dos dados de medição de médias horárias de velocidade do vento a um nível de 10 m de altura, fornecidos pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME), a Figura 2 mostra, graficamente, uma ocorrência do vento Aracati na

cidade de Icó, segundo relato de moradores, durante a noite do dia 14 de novembro de 2005. No início da noite, a velocidade média às 18h chegou a $2,3 \text{ m.s}^{-1}$ e às 20h a $4,6 \text{ m.s}^{-1}$. Às 21h, a velocidade média chegou a quase $6,0 \text{ m.s}^{-1}$, ou seja, bem maior em relação à média durante o dia. Esse comportamento pôde ser observado durante quase todo os dias do mês de novembro de 2005, novamente segundo relato de moradores.

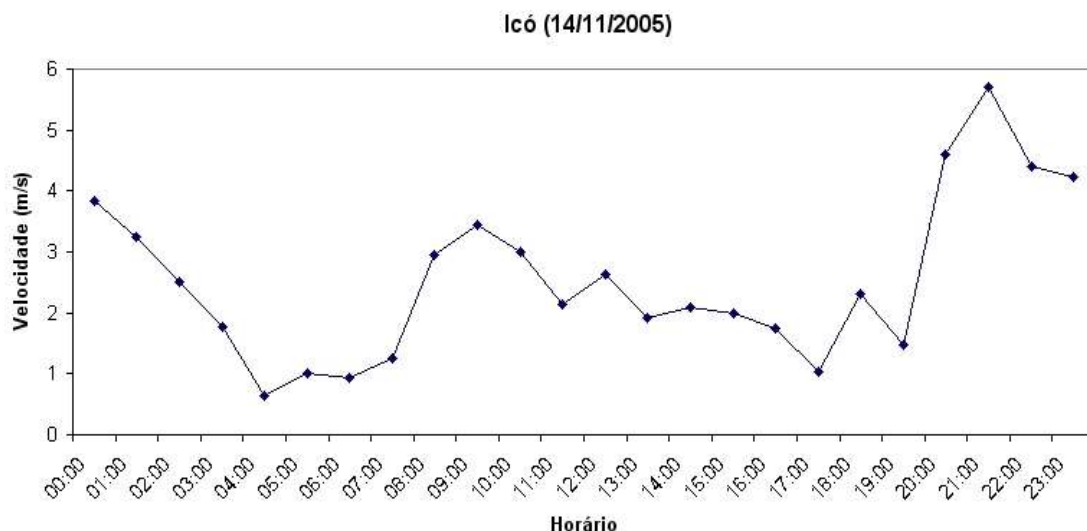


Figura 2. Médias horárias da velocidade do vento a um nível de 10 m de altura na cidade de Ico, para o dia 14 de novembro de 2005.

Outro lugar onde foi possível identificar a ocorrência do Aracati, também a partir de relatos de moradores, foi na cidade de Solonópole, que fica nas proximidades do Riacho do Sangue, um dos afluentes do Rio Jaguaribe. Novamente, através dos dados de velocidade do vento da FUNCEME, para uma nível de referência a 10 m de altura em relação ao solo, e para o mesmo dia 14 de novembro de 2005, é possível observar a ocorrência do vento Aracati, chegando a uma máxima velocidade média horária de aproximadamente 9,0 m/s em torno das 19:00h, como ilustrado na Figura 3. Novamente, esse comportamento, ou seja, um maior valor de

velocidade média horária do vento durante a noite em relação ao dia, pôde ser observado durante quase todos os dias do mês de novembro de 2005 em Solonópole.

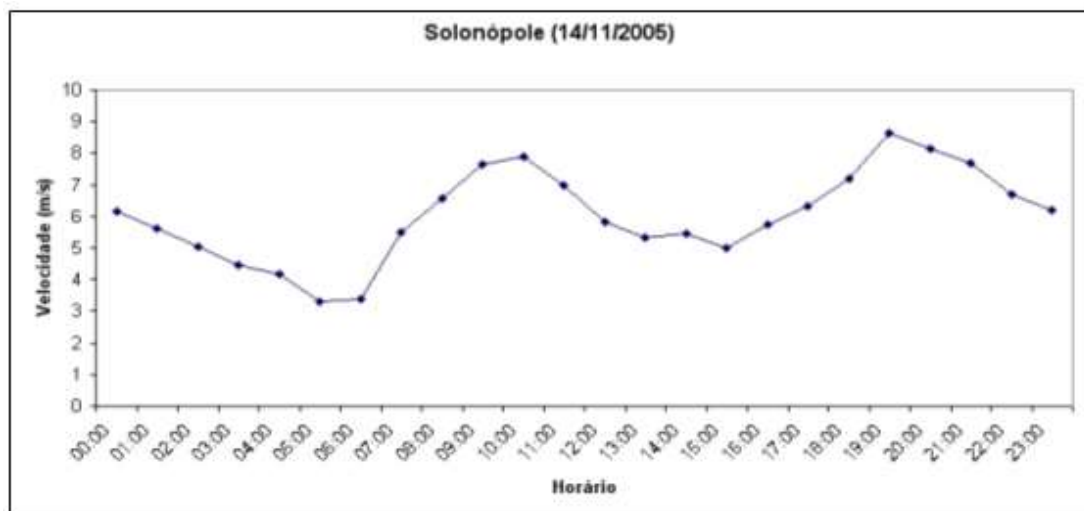


Figura 3. Médias horárias da velocidade do vento a um nível de 10 m de altura na cidade de Solonópole, para o dia 14 de novembro de 2005.

De acordo com um estudo elaborado pela Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (CHESF), que realizou médias horárias da velocidade do vento ao longo do dia em 10 estações meteorológicas distribuídas pelo estado do Ceará, durante o período de 1977 a 1981, os ventos sobre o Ceará são mais intensos durante o dia em comparação com à noite (Amarante, 1987). Com a ocorrência do vento Aracati, esta tendência continua, porém, em alguns locais não é mais observado a maior intensidade de ventos durante o dia, tendo em vista que a maior intensidade dos ventos com o aparecimento do Aracati ocorre entre o final da tarde e a meia-noite, como pudemos constatar nas Figuras 2 e 3. O vento Aracati possui características semelhantes às de uma brisa marítima, só que com uma grande penetração continente adentro, como por exemplo, na cidade de Morada Nova que fica distante da costa leste do Ceará de aproximadamente 100 km. Outra cidade ainda mais distante com ocorrência do Aracati é a de Icó, situada a cerca de 300 km do litoral leste

do estado.

O estudo do vento Aracati, que possui médias horárias superiores a 5 m.s^{-1} a 10 m de altura, como ilustrado nos dados das PCDs (Figuras 2 e 3) poderá servir de motivação para a investigação de um possível aproveitamento de seu potencial eólico, em localidades que possuem suas maiores ocorrências. Dessa forma, esse trabalho poderá auxiliar na busca de regiões para exploração do potencial eólico fora do litoral cearense, já que o mesmo é bastante conhecido, e de incentivar e orientar os tomadores de decisão para que possam vir a aproveitar a energia eólica no seu potencial total no estado.

Para realizar a simulação numérica do vento Aracati foi utilizado o modelo *Regional Atmospheric Modeling System* (RAMS), desenvolvido pela Colorado State University (CSU). O período analisado foi o mês de novembro de 2005, isto, pelo motivo de ter sido

apresentado na seção anterior o dia 14 do de novembro de 2005 como um período de ocorrência do Aracati segundo relato de moradores, e também por representar um período seco no estado do Ceará, período no qual, ainda de acordo com os moradores das regiões onde ocorre o Aracati, podem ser verificadas as suas maiores ocorrências.

A inicialização do modelo foi feita utilizando dados de reanálise do *National Center for Environmental Prediction* (NCEP), com intervalo de frequência de 6h. Os dados de re-análise são um conjunto de dados atmosféricos refinados, originários de medidas atmosféricas diversas coletadas em várias fontes, processados em modelos numéricos computacionais, cujos resultados são disponibilizados para a comunidade científica com o intuito de fornecer condições iniciais para outros modelos numéricos, permitindo não só uma previsão de tempo e clima mais precisa como também a possibilidade de iniciar uma simulação em um tempo passado com propósito de investigar ou diagnosticar a evolução da atmosfera (Kalnay et al., 1996).

A simulação foi feita através do uso de duas grades aninhadas, com as seguintes resoluções 40 km por 40 km, e 10 km por 10 km. Na primeira grade, cobre praticamente todos os estados do Nordeste do Brasil. Na segunda grade, estado do Ceará em maior destaque, em conjunto com as regiões ao longo do Rio Jaguaribe. As grades são do tipo polar estereográficas, concêntricas em 5,3°S, e 38,0°W. As coordenadas verticais são do tipo sigma-z.

A simulação teve início às 00:00h (UTC) do dia 1 de novembro de 2005, tendo fim às 23h (UTC) do dia 30 de novembro de 2005. No tocante as parametrizações, foi utilizado nas duas grades:

- Parametrização de Harrington (Walko et al., 1995) para a radiação, tanto de ondas curtas como também de ondas longas;
- Parametrização de Mellor e Yamada (1974) para o esquema de turbulência; e
- Parametrização de Kuo (1974) para convecção.

O número de pontos de grades utilizado foi:

- Direção x, para a primeira grade 48 pontos, e para a segunda, 50 pontos;
- Direção y, para a primeira grade 64 pontos, e para a segunda, 66 pontos; e
- Direção z, nas duas grades 35 pontos.

A microfísica utilizada foi a que considera todas as formas de hidrometeoros, ou seja, microfísica resolvida para as duas grades. O tipo de vegetação

utilizada foi a *deciduous needleleaf tree*. Foram utilizados 11 níveis de solo no modelo. O esquema de topografia utilizado nas duas grades foi o *reflected envelope orography*.

Todos os cálculos e visualizações gráficas foram produzidos pelo software livre *Grid Analysis and Display System* (GrADS), desenvolvido pelo *Center for Ocean-Land Atmosphere* (COLA). Esse software nos permite visualizar os resultados da simulação atmosférica de mesoescala através de mapas das regiões em estudo, elaborados a partir de seções horizontais e/ou verticais.

Uma vez feita a simulação numérica com um modelo atmosférico de mesoescala, faz-se necessário saber o quanto os resultados fornecidos estão próximos da realidade, ou seja, será necessário comparar os dados simulados com os dados observados. Nesse sentido, diversas são as formas de comparação que podem ser encontrar na literatura, como por exemplo:

- Análise estatística de erros através de cálculos de desvio padrão, erro quadrático médio, e erro quadrático médio descontado de erro sistemático (ou do inglês, *bias*);
- Comparação direta entre os dados da simulação numérica computacional com os dados das estações meteorológicas, instaladas nos locais onde as grades do modelo atmosférico estão inseridas.

A comparação da simulação no modelo RAMS foi realizada utilizando os dados das Plataformas de Coleta de Dados (PCDs) da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUMCEME) que possuem proximidade com o Rio Jaguaribe. Isso ocorreu em virtude de ter sido mostrado, na seção anterior, uma região de máxima intensidade de velocidade de vento ao nível de 10 m de altura, que possui características que podem ser atribuídas ao vento Aracati, começando, aproximadamente, às 15h, horário local, nas proximidades do litoral leste do estado do Ceará, em quase todos os dias do mês de novembro de 2005, que diminui de intensidade aproximadamente às 21h do mesmo dia, seguindo a trajetória do Rio Jaguaribe e seus afluentes. As PCDs comparadas serão: Icapuí, Jaguaruana, Quixeré, Russas, Icó e Iguatu.

A Tabela 1 mostra a localização geográfica das grade do modelo RAMS mais próximos dessas

PCDs que foram utilizadas na análise estatística. Na Tabela 2 é possível verificar os pontos de PCDs.

Tabela 1. Coordenadas das PCDs para Icapuí, Jaguaruana, Quixeré, Russas, Icó, e Iguatu.

Cidades	Latitude	Longitude
Icapuí	04,7322°S	037,306°W
Jaguaruana	04,8447°S	037,757°W
Quixeré	05,0839°S	037,857°W
Russas	05,0417°S	038,119°W
Icó	06,4272°S	038,923°W
Iguatu	06,3958°S	039,271°W

Tabela 2. Pontos de grade do modelo atmosférico de mesoescala RAMS mais próximo das PCDs para Icapuí, Jaguaruana, Quixeré, Russas, Icó, e Iguatu.

Cidades	Latitude	Longitude
Icapuí	04,7082°S	037,324°W
Jaguaruana	04,8882°S	037,774°W
Quixeré	05,0682°S	037,864°W
Russas	06,4181°S	038,134°W
Icó	06,4181°S	038,944°W
Iguatu	06,4181°S	039,304°W

Finalmente, outra forma de comparação numérica que será realizada é a proposta por Pielke (2002), que consiste em saber de que forma os dados da simulação no RAMS estão de acordo com os dados obtidos nas PCDs. Utilizando elementos estatísticos definidos como erro quadrático médio, E , erro quadrático médio descontado do bias, E_{UB} , desvio padrão para os dados simulados, σ , e desvio padrão para os dados observados, σ_{obs} .

Resultados e Discussão

Realizada a simulação numérica com o RAMS para o período desejado, a segunda grade foi a que melhor representou o padrão de circulação local ao longo do Rio Jaguaribe, o que era de se esperar, pois a resolução da mesma é quatro vezes maior do que a primeira. Todos os resultados obtidos da simulação serão mostrados relativos ao horário local.

Quando foi verificado a variável de saída do modelo “*speed10m*”, ou seja, a velocidade de vento a 10 m de altura, foi possível observar que na maioria dos dias simulados ocorre a formação de uma região

de máxima intensidade de velocidade de vento paralela ao litoral leste do estado do Ceará, aproximadamente às 15:00h, que com o passar do tempo, diminui progressivamente de intensidade até o seu desaparecimento aproximadamente às 21:00h, do mesmo dia, seguindo um trajetória no sentido do mar para o continente.

É possível visualizar um exemplo do fenômeno descrito acima na Figura 4, onde a região de máxima intensidade do vento começa por volta de 15h do dia 14 de novembro de 2005, se estendendo até às 21h do mesmo dia. Essa região de máximo valor de velocidade (acima de 6 m.s⁻¹) possui também valores de pressão entre 990 hPa a 1000 hPa, esses valores para o segundo nível da simulação com o RAMS, ou seja, aproximadamente a 24 m de altura, que, à medida que o tempo passa, se desloca para localidades de menores valores de pressão atmosférica.

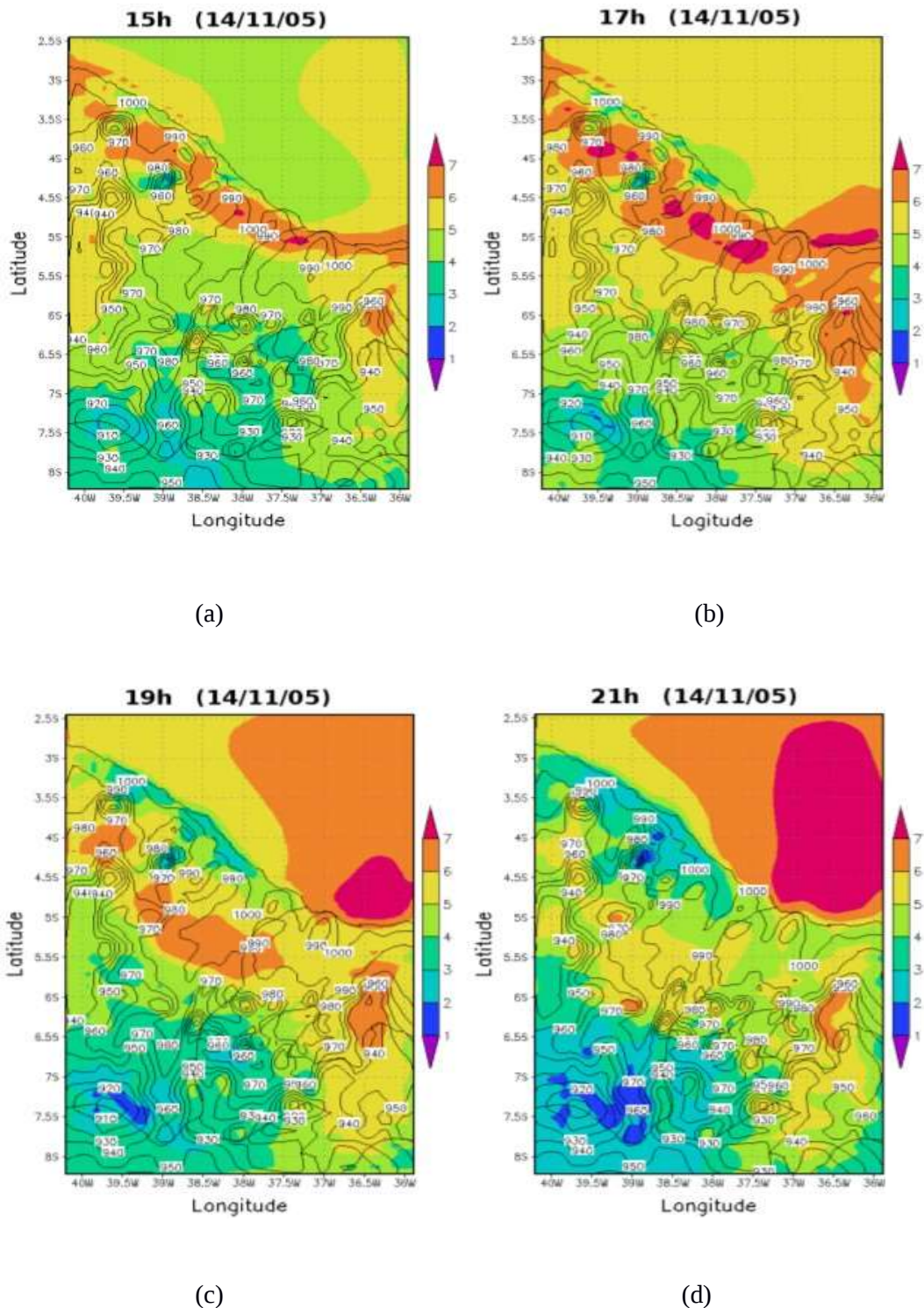


Figura 4. Comparação entre velocidade de vento a 10 m de altura (em m/s) e umidade relativa do ar medida (em %) para 24 m de altura, do dia 14 de novembro de 2005, para os seguintes horários: a) 15:00h; b) 17:00h; c) 19:00h; e d) 21:00h, todas para a grade 2.

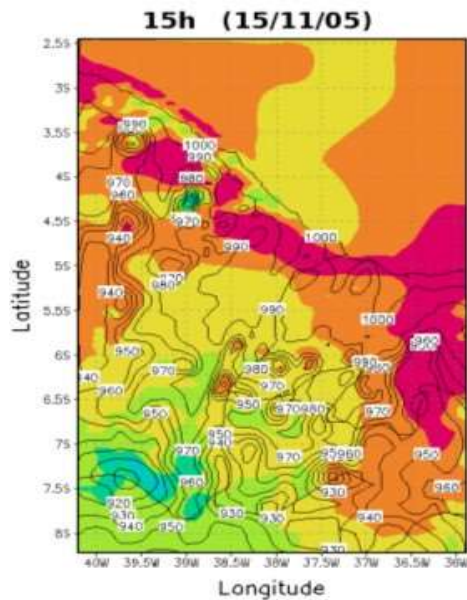
A região de máxima intensidade de velocidade do vento mostrado na Figura 4, se repetiu na maioria dos dias do mês de novembro de 2005, como também ilustrado na Figura 5, onde é verificado os mesmo horários para o dia seguinte, ou seja, 15 de novembro de 2005. Agora a região de máxima velocidade (com

valores acima de 7 m.s^{-1}) na cor roxa ocupa uma área maior no litoral leste do Estado do Ceará se intensificando as 17 h, e a partir desse horário reduzindo até quase desaparecer as 20h na região centro-sul do Estado do Ceará.

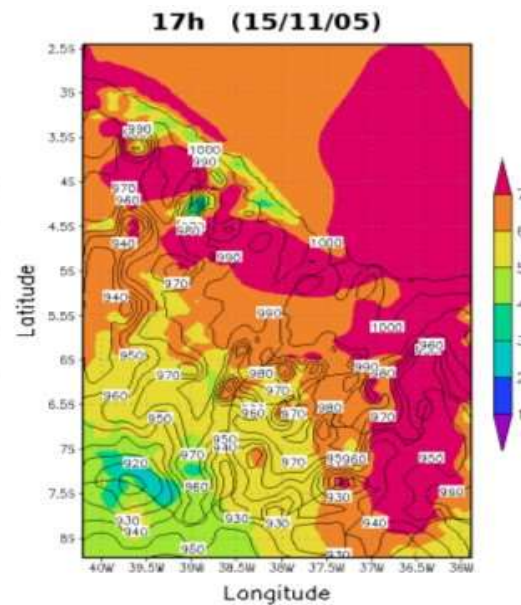
Os ventos de brisa marítima ocorrem

durante o dia e são mais intensos entre os horários de 13 às 15h, horário local. De acordo com Atkinson (1981), a frente de brisa marítima pode penetrar até 300 km da costa. A região com máximo valor de velocidade de vento descrita acima, possui características que podem ser atribuídas ao vento Aracati, ou seja, valores superiores anormais de velocidade de vento nas proximidades do Rio Jaguaribe. Essa região possui características que podem ser atribuídas ao vento Aracati, ou seja, valores anormais de velocidade de vento nas proximidades do Rio Jaguaribe e seus afluentes, bem maior do que o habitual. Desta forma, é possível observar que uma das possíveis causas do vento Aracati pode ser explicada através de um fenômeno de brisa marítima. Para isso, foi tomando por base a formação do Aracati às 15:00h, próximo ao litoral leste do estado do Ceará. De acordo com Atkinson (1981) e Simpson et al. (1977),

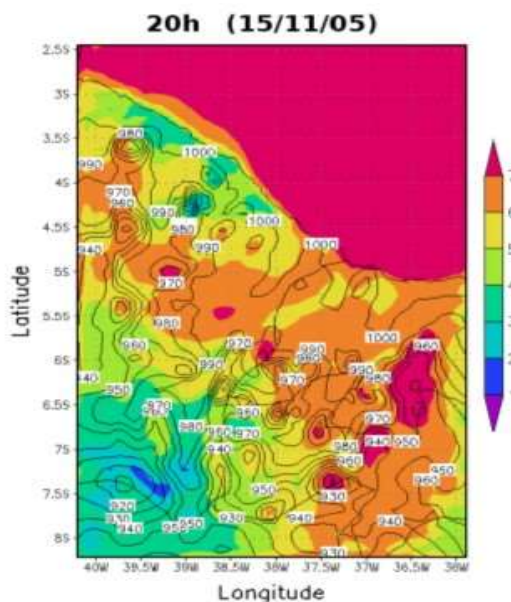
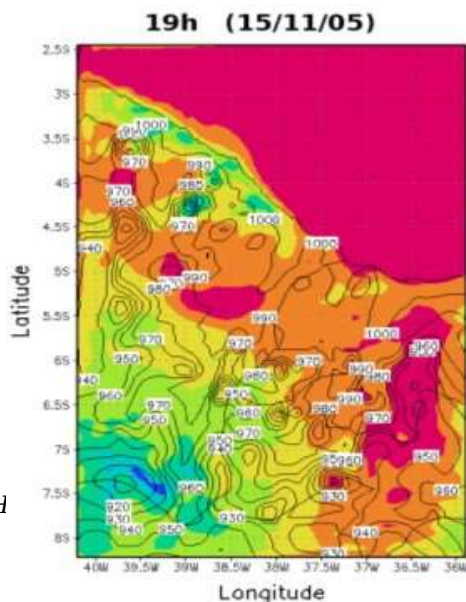
algumas das condições para o estabelecimento da brisa marítima podem ser caracterizadas pelo aumento na intensidade do vento, aumento da umidade do ar e mudança de direção do vento.



(a)



(b)



(c)

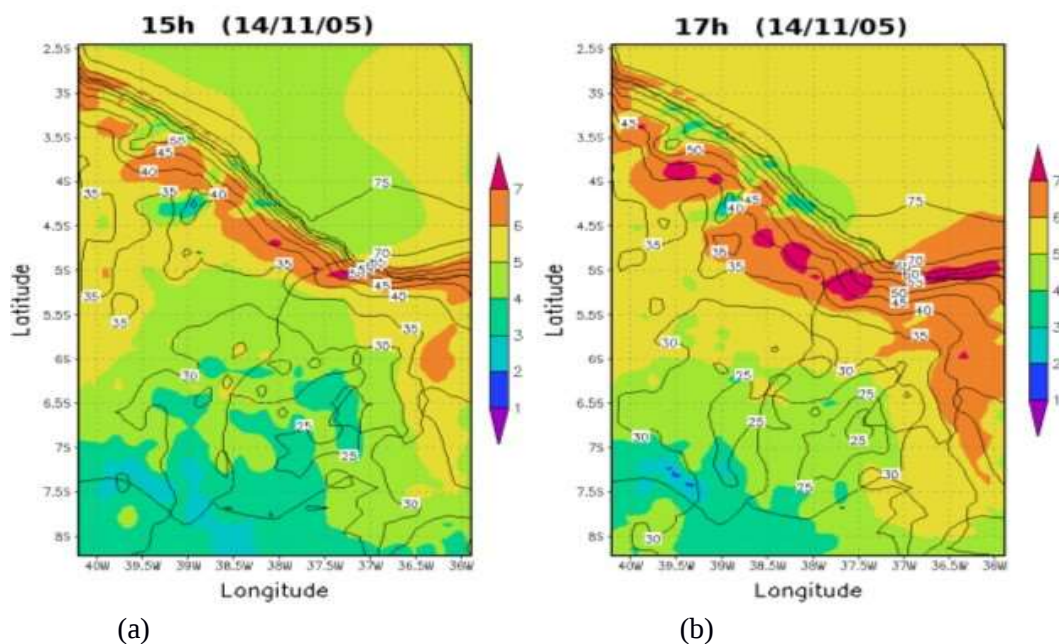
(d)

Figura 5. Comparação entre velocidade de vento a 10 m de altura (em m/s) e umidade relativa do ar medida (em %) para 24 m de altura, do dia 15 de novembro de 2005, para os seguintes horários: a) 15:00h; b) 17:00h; c) 19:00h; e d) 21:00h, todas para a grade 2.

A Figura 6, representa uma comparação entre a velocidade de vento a 10 m de altura e a umidade relativa do ar (%), representada pela variável do modelo “*relhum*”, para o segundo nível, aproximadamente 24 m de altura. O período foi do dia 14 de novembro de 2005, para os seguintes horários: 15h, 17h, 19h e 21h, todas para a grade 2 da simulação.

Nela, é possível verificar que a região de maior umidade relativa do ar encontra-se sobre o oceano, com valores acima de 75%. No interior, os valores situam-se inicialmente entre 30% e 40%. Porém, à

medida que o tempo passa, é possível observar um aumento da umidade tanto no interior do continente como também nas proximidades do litoral leste. No final do período observado (como ilustrado na Figura 4 (d), nas regiões onde houve a passagem do Aracati, a umidade, que era inicialmente de 30% a 40%, chegou a atingir valores entre 60% e 80%, mostrando possivelmente as características de brisa marítima do vento Aracati.



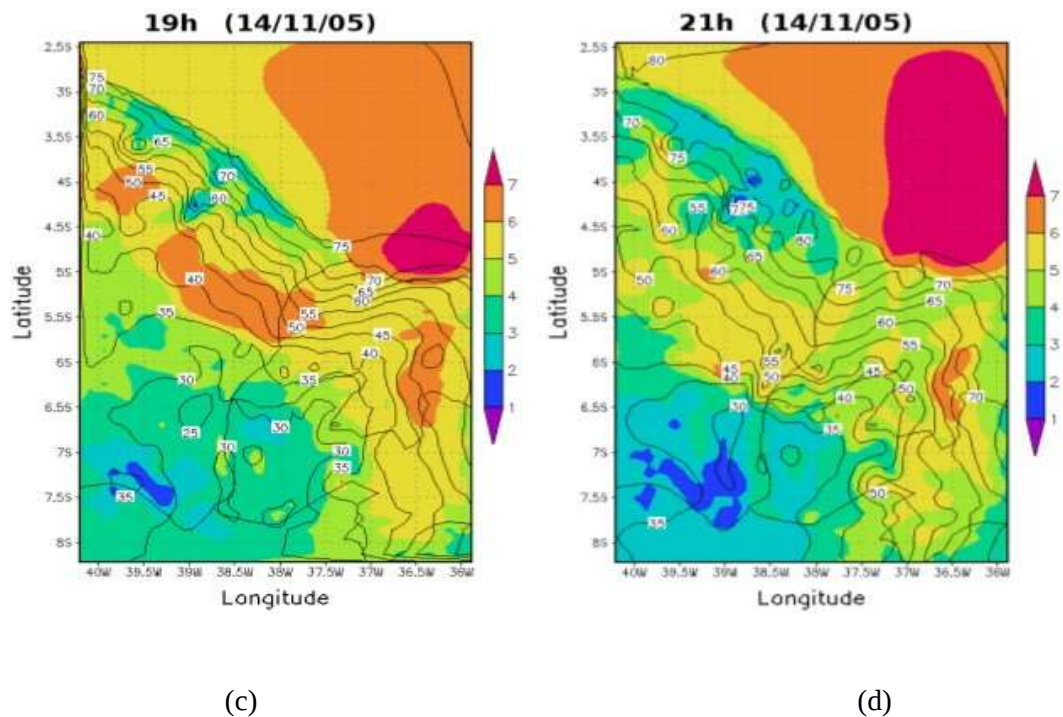
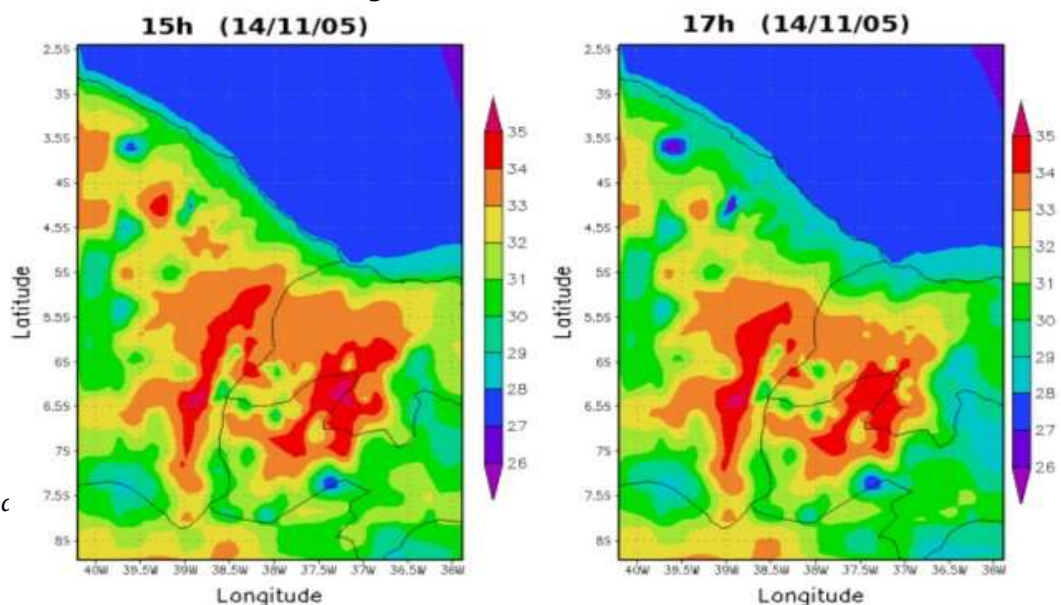


Figura 6. Comparação entre velocidade de vento a 10 m de altura (em m/s) e umidade relativa do ar medida (em %) para 24 m de altura, do dia 14 de novembro de 2005, para os seguintes horários: a) 15:00h; b) 17:00h; c) 19:00h; e d) 21:00h, todas para a grade 2.

A Figura 7 representa a variável de saída do modelo “tempc” para o segundo nível da simulação. Ela foi obtida para os mesmos horários em que foi apresentado os resultados da variável “speed10m”. Nela, identificamos que, às 15h do dia 14 de novembro de 2005, os maiores valores estão acima de 35°C nas regiões localizadas ao centro-sul do estado do Ceará.

Nas proximidades do litoral leste do estado, onde é possível encontrar a região de máxima intensidade de velocidade de vento, os valores de temperatura estão entre 27 °C e 29 °C. Porém, à medida que o tempo passa, é possível observar que, com o deslocamento do vento Aracati, as regiões mais quentes vão se resfriando progressivamente, de tal forma que, às 21h do dia 14 de novembro de 2005, algumas localidades que antes registravam temperaturas acima de 35°C, com a passagem do Aracati, agora registram valores entre 26 °C à 30 °C, como mostrado na Figura 7d.

Os resultados da temperatura na simulação com o RAMS podem revelar que de fato, como os próprios moradores da região de incidência do vento Aracati relatam, o seu deslocamento é responsável por levar um conforto térmico às regiões mais distantes do litoral leste do estado, com temperaturas mais amenas e um ar mais úmido.



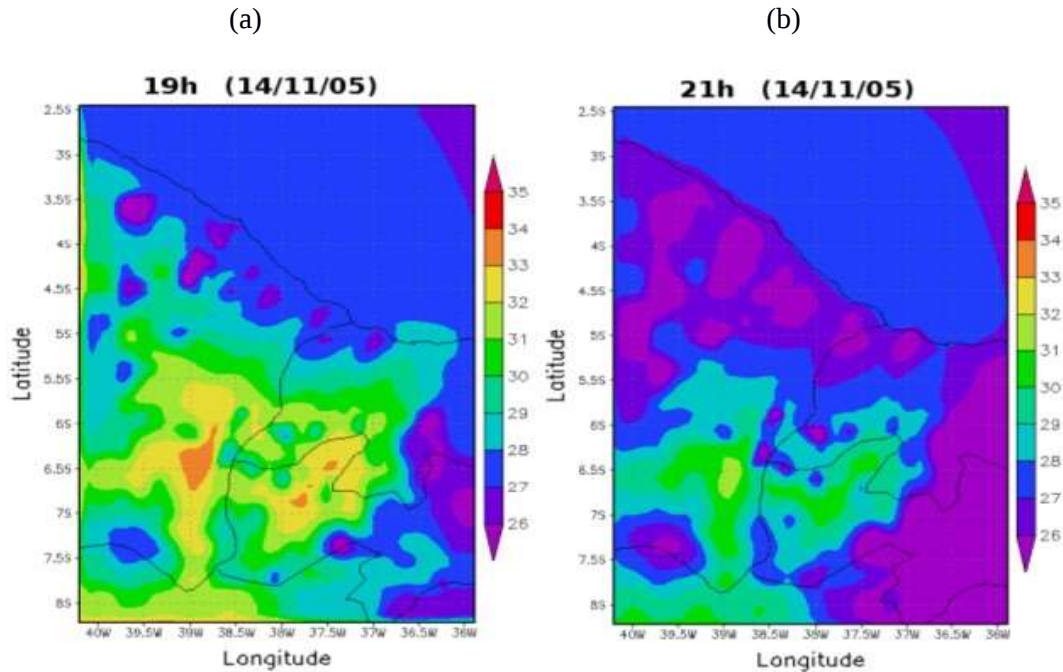


Figura 7. Temperatura (em °C) para o nível de aproximadamente 24 m de altura, do dia 14 de novembro de 2005, para os seguintes horários: a) 15h; b) 17; c) 19h; e d) 21h, todas para agrade 2 da simulação.

Uma das possíveis explicações, para a ocorrência do vento Aracati em regiões mais afastadas do litoral leste, onde a simulação com o RAMS mostrou o início do Aracati, pode estar associado ao Rio Jaguaribe, tendo em vista, que o mesmo pode desempenhar um papel importante, servindo como canalizador do vento.

A cobertura vegetal influencia no regime de ventos na medida em que sua presença modifica totalmente os fluxos de energia à superfície. Características como albedo, rugosidade, tipo de vegetação e cobertura foliar devem ser levadas em conta nos modelos numéricos computacionais. Diversos estudos envolvendo simulação numérica regional mostram o importante papel que a vegetação desempenha na circulação local (Mahfouf et al., 1987; Pinty et al., 1989; Clark e Arritt, 1995). No caso do vale do Rio

Jaguaribe, existe toda uma vegetação própria, diferente do restante do estado, que pode influenciar na distribuição de ventos.

No tocante à topografia, vários estudos numéricos computacionais mostram o papel que ela desempenha na distribuição de ventos locais, desenvolvendo as circulações de vale e montanha (Pielke e Mahrer, 1975; Varvayanni et al., 1993). Apesar de sua importância, não possuímos no Ceará nenhum vale ou montanha que possa permitir que atribuamos essa característica como importante causa do vento Aracati, até mesmo porque o vale do Rio Jaguaribe não é profundo. A observação da topografia da região está ilustrada na Figura 8, percebe-se que o vento Aracati surge em localidades do chamado baixo Jaguaribe, ou

seja, uma região de baixa topografia (exemplo 100 m em relação ao nível do mar) localizada próxima ao litoral leste do estado do Ceará. Porém, na medida que o tempo evolui, o Aracati se desloca para regiões ao longo do Rio Jaguaribe, até o seu desaparecimento em regiões de maior topografia, chamadas de médio e até mesmo alto Jaguaribe (exemplo 500 m em relação ao nível do mar).

As Figuras 9 e 10, representam as comparações entre os dados observados das PCDs e os dados da simulação com o RAMS. Nelas, se identifica uma boa relação entre a

simulação e os dados coletados, principalmente no caso das PCDs localizadas nos municípios de Russas, Quixeré e Jaguaruana, na medida em que o ciclo diário é bem simulado, seus máximos e mínimos se assemelham e os horários em que ocorrem são próximos entre si. Ressalta-se que essas PCDs estão localizadas próximas ao Rio Jaguaribe.

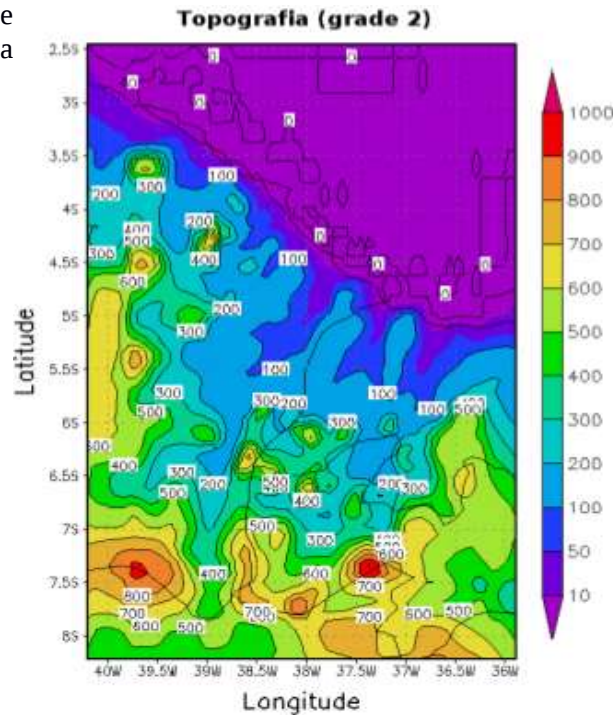
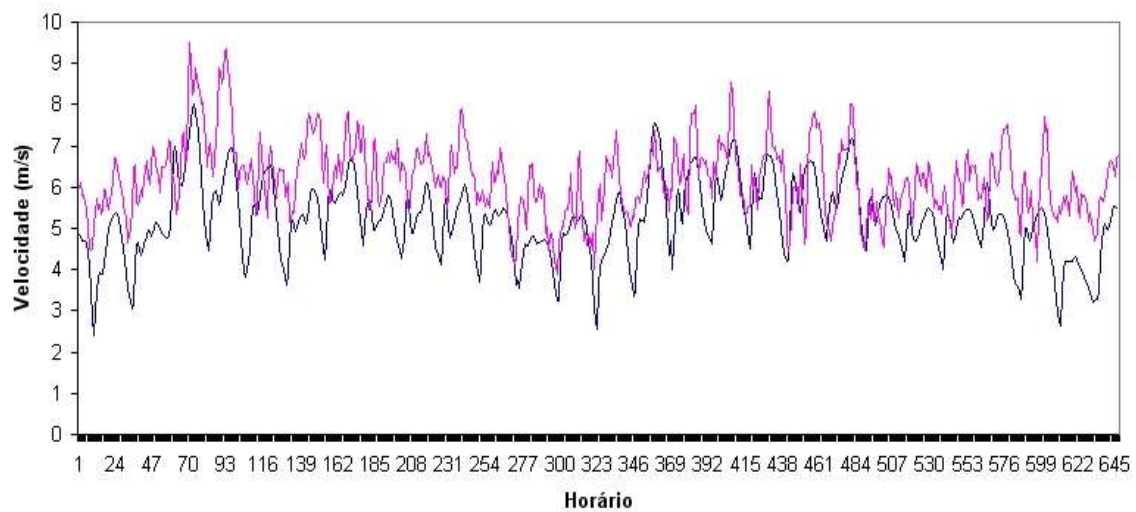


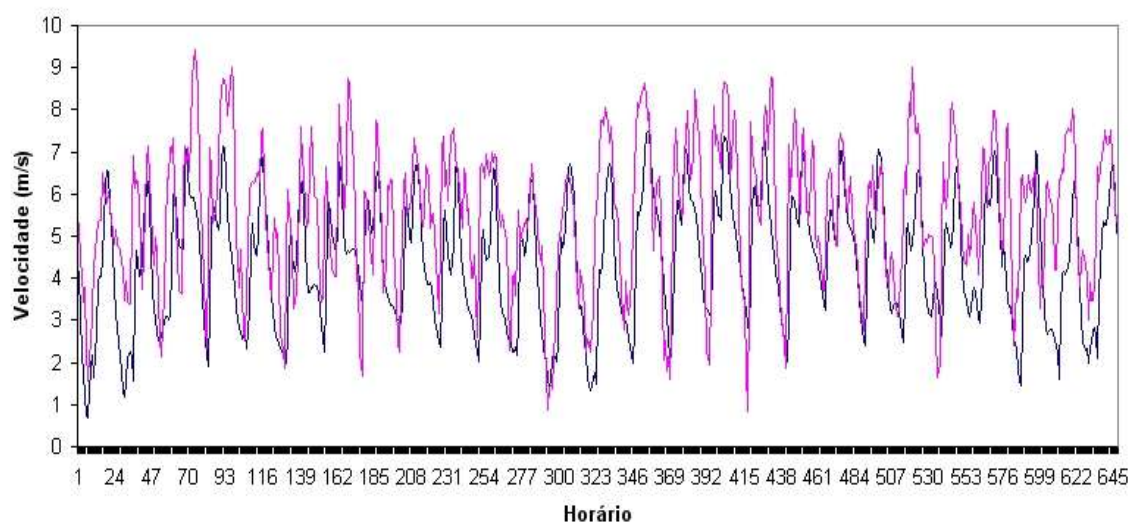
Figura 8: Topografia obtida através do modelo RAMS medida (em m), com resolução de 10 km x 10 km.

PCD de Icapuí



(a)

PCD de Jaguaruana



(b)

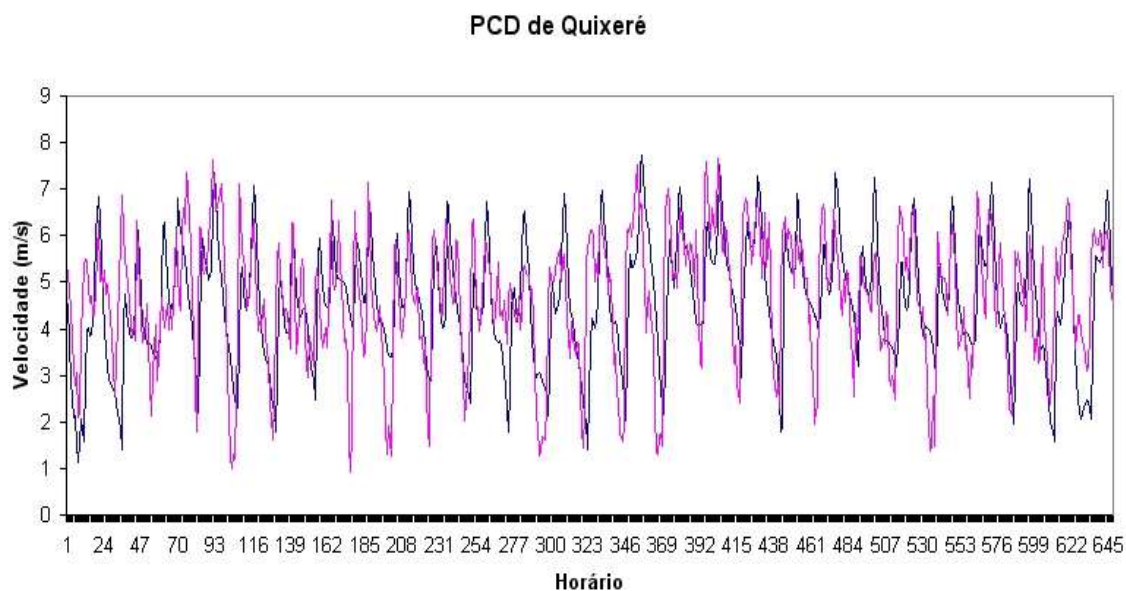
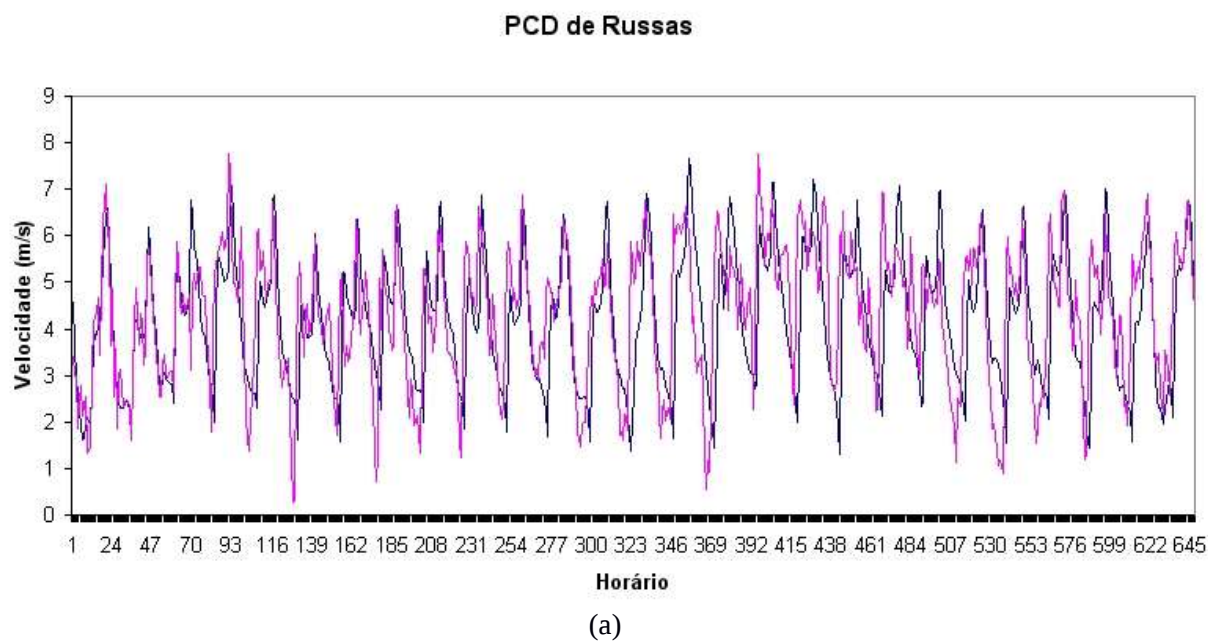


Figura 9. Comparação da velocidade de vento a 10 m de altura (em m/s), dos dias 01 a 27 de novembro de 2005, a partir dos dados observados (linha magenta) com a simulação no RAMS (linha preta), para os municípios de, a) Icapuí, b) Jaguaruana e c) Quixeré, todas para a grade 2.



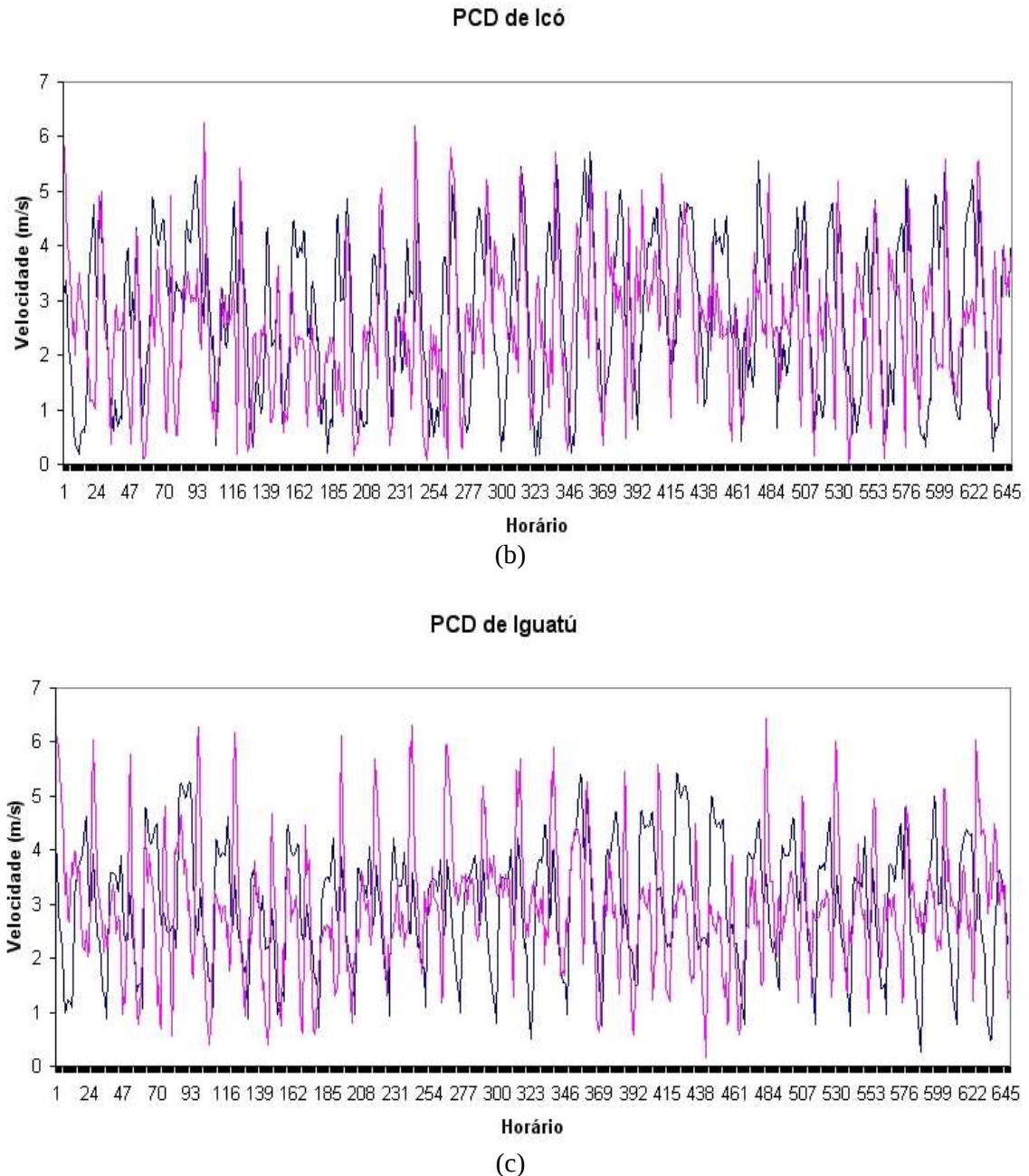


Figura 10. Comparação da velocidade de vento a 10 m de altura, dos dias 01 a 27 de novembro de 2005, a partir dos dados observados (linha magenta) com a simulação no RAMS (linha preta), para as PCDs instaladas nos municípios de, a) Russas, b) Icó e c) Iguatu, todas para a grade 2.

Os resultados da comparação proposta por Pielke (2002) estão listados na Tabela 3, onde analisamos os resultados para a grade 2. Os critérios para que tenhamos uma boa simulação estabelecem que: 1) $\sigma \approx \sigma_{obs}$; 2) $E < \sigma_{obs}$; e 3) $E_{UB} < \sigma_{obs}$. Quando afirmado que a condição (1) acima deve ser satisfeita para que a

simulação seja válida, deve-se levar em conta a ordem de grandeza da variável estudada, nesse caso a velocidade do vento. Por esse motivo, foi incluído nessa tabela o valor médio das velocidades observadas nas PCDs, para o período proposto na comparação.

Tabela 3. Validação da simulação da grade 2 do modelo com a velocidade de vento a 10 m de altura das PCDs, para o período de 01 a 27 de novembro de 2005, para os municípios de Icapuí, Jaguaruana, Quixeré, Russas, Icó, e Iguatu.

Cidades	E	E_{UB}	σ	σ_{obs}	v_{obs}
	$m.s^{-1}$				

Icapuí	1,201	0,001	0,823	0,838	6,205
Jaguaruana	1,691	0,008	1,607	1,716	5,504
Quixeré	1,331	0,053	1,328	1,369	4,638
Russas	1,245	0,051	1,421	1,437	4,424
Icó	1,584	0,134	1,480	1,388	2,501
Iguatu	1,344	0,137	0,985	1,078	2,952

Dessa forma, na Tabela 3, é possível identificar que, nas cidades de Icapuí e Quixeré os desvios padrões nos casos simulados e observados se assemelham muito e a diferença relativa entre ambos não chega a 1%, dado o valor de v_{obs} para cada uma delas. As outras localidades, no entanto, não deixam de satisfazer a condição (1) de validação para a simulação, pois as diferenças relativas entre σ e σ_{obs} , para cada uma delas, não ultrapassa 5% do valor de v_{obs} . Isto nos mostra que a condição (1) é satisfeita para todas as cidades avaliadas no período.

Ainda na Tabela 3, somente nas PCDs de Jaguaruana, Quixeré e Russas, o valor de E é menor do que o σ_{obs} . Isso quer dizer que a condição (2) só é satisfeita para as cidades destacadas acima, ficando de fora dessa última condição as localidades de Icapuí, Icó e Iguatu.

Por último, pode-se verificar que, para todas as PCDs, o E_{UB} é menor do que σ_{obs} . Isso nos mostra que a condição (3) é satisfeita para todas as localidades avaliadas no período, mostrando que a correção de *bias* produz bons resultados.

Conclusões

Na simulação com o RAMS, a variável “speed10m” mostrou uma região com máxima intensidade de velocidade de vento, paralelo à costa do litoral leste do estado do Ceará, nas proximidades do vale do Rio Jaguaribe, aproximadamente às 15:00h, que diminui progressivamente de intensidade depois das 21:00h, observado em quase todos os dias simulados. Essa região possui características que podem ser atribuídas ao vento Aracati, ou seja, valores anormais de velocidade de vento nas proximidades do Rio Jaguaribe e seus afluentes, ou seja, bem maior do que o habitual. Dessa forma, uma das possíveis causas do vento Aracati é que o mesmo pode surgir, como um vento de brisa marítima, dado o horário de sua formação e também a proximidade com o litoral leste do estado do Ceará.

A explicação para o surgimento do Aracati em regiões mais distantes do litoral pode estar associado ao Rio Jaguaribe, o qual desempenharia um papel importantíssimo no sentido de servir como canalizador do vento, de maneira que, essa idéia pode ser uma das possível explicação para as ocorrências do Aracati em, por exemplo, Icó, situado

aproximadamente 300 km do litoral leste do Ceará.

Ainda com relação à simulação numérica, os resultados da temperatura podem revelar, que, de fato, como os próprios moradores da região relatam, o seu deslocamento é responsável por levar um conforto térmico às regiões mais distantes do litoral leste do Ceará.

Esse trabalho poderá contribuir, cada vez mais, na divulgação do potencial eólico do estado do Ceará, bem como na procura de outras regiões, fora do litoral cearense, tendo em vista que o mesmo já é bastante conhecido, nas quais seu potencial eólico poderia ser aproveitado para geração de energia elétrica.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) por ter disponibilizado os dados de velocidade de vento.

Referências

- Alencar, J.D., 1829. Iracema. Hedra, São Paulo.
- Amarante, O.A.C., 1987. Energia Eólica - Inventário, Tecnologia. Companhia Hidro Elétrica do São Francisco-CHESF, Rio de Janeiro. (CHESF. Fontes Energéticas Brasileiras, 5).
- Atkinson, B.W., 1981. Meso-scale Atmospheric Circulations. Academic Press, London.
- Camberlin, P., Planchon, O., 1997. Coastal precipitation regimes in kenya. Geografiska Annaler 79, 109-119.
- Camps, J., Massons, J., Soler, M.R., 1996. Numerical modelling of pollutant dispersion in sea breeze conditions. Annales Geophysicae 14, 665-677.
- Clark, C.A., Arritt, R.W., 1995. Numerical simulations of the effect of soil-moisture and vegetation cover on the development of deep convection. Journal of Applied Meteorology 34, 2029-2045.
- Clarke, R.H., 1955. Some observations and comments on the sea breeze. Australian Meteorological Magazine 11, 47-68.
- Carvalho, P.C.M., 2003. Geração Eólica.

- EdUFC, Fortaleza.
- Case, J.L., Manobianco, J., Dianic, A.V., Wheeler, M., Harms, D.E., Parks, C.R., 2002. Verification of high-resolution RAMS forecasts over East-Central Florida during the 1999 and 2000 summer months. *Weather and Forecasting* 17, 1133-1151.
- Finkele, K., 1998. Inland and offshore propagation speeds of a sea breeze from simulations and measurements. *Boundary-Layer Meteorology* 87, 307-329.
- Fovell, R.G., Dailey, P.S., 2001. Numerical simulation of the interaction between the sea-breeze front and horizontal convective rolls. Part ii: Alongshore ambient flow. *Monthly Weather Review* 129, 2057-2072.
- Gatto, L.C.S., 1999. Diagnóstico Ambiental da Bacia do Rio Jaguaribe. IBGE, Salvador. Disponível: <ftp://geofp.ibge.gov.br/documentos/recursosnatura/is/diagnosticos/jaguaribe.pdf>. Acesso: 25 abr. 2013.
- Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., Iredell, M., Saha, S., White, G., Woollen, J., Zhu, Y., Leetmaa, A., Reynolds, R., 1996. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bulletin of the American Meteorological Society* 77, 437-471.
- Kimura, F., 1985. A numerical-simulation of local winds and photochemical air-pollution .2. Application to the Kanto Plain. *Journal of The Meteorological Society of Japan* 63, 923-936.
- Kuo, H.L., 1974. Further studies of parameterization of influence of cumulus convection on large-scale flow. *Journal of the Atmospheric Sciences* 31, 1232-1240.
- Koo, Y.S., Reible, D.D., 1995. Flow and transport modeling in the sea-breeze .2. flow model application and pollutant transport. *Boundary-Layer Meteorology* 75, 209-234.
- Lavagnini, A., Sempreviva, A.M., Barthelmie, R.J., 2003. Estimating wind energy potential offshore in Mediterranean areas. *Wind Energy* 6, 23-34.
- Lu, R., Turco, R.P., 1994. Air pollutant transport in a coastal environment .1. 2-dimensional simulations of sea-breeze and mountain effects. *Journal of the Atmospheric Sciences* 51, 2285-2308.
- Lyons, W.A., Pilk, R.A., Tremback, C.J., Walko, R.L., Moon, D.A., Keen, C.S., 1995. Modeling impacts of mesoscale vertical motions upon coastal zone air-pollution dispersion. *Atmospheric Environment* 29, 283-301.
- Mahfouf, J.F., Richard, E., Mascart, P., 1987. The influence of soil and vegetation on the development of mesoscale circulations. *Journal of Climate and Applied Meteorology* 26, 1483-1495.
- Massons, J., Camps, J., Soler, M.R., 1997. Modeling of pollutant dispersion in sea breeze conditions using a lagrangian model. *Theoretical and Applied Climatology* 56, 255-266.
- Mellor, G.L., Yamada, T., 1974. Hierarchy of turbulence closure models for planetary boundary-layers. *Journal of the Atmospheric Sciences* 31, 1791-1806.
- Nester, K., 1995. Influence of sea-breeze flows on air-pollution over the Attica Peninsula. *Atmospheric Environment* 29, 3655-3670.
- Pielke, R.A., Mahrer, I., 1975. Effect of topography on sea breeze. *Bulletin of the American Meteorological Society* 56, 330-330.
- Pilke, R.A., 2002. *Mesoscale Meteorological Modeling*. 2nd ed. Academic Press, San Diego.
- Pinty, J.P. Mascart, P., Richard, E., Rosset, R., 1989. An investigation of mesoscale flows induced by vegetation inhomogeneities using an evapotranspiration model calibrated against hapex-mobilhy data. *Journal of Applied Meteorology* 28, 976-992.
- Raman, S., Aaron, S., Robb, E., Ryan, B., 2005. Numerical simulation of mesoscale circulations in a region of contrasting soil types. *Pure and Applied Geophysics* 162, 1689-1714.
- Simpson, J.E., 1994. *Sea Breeze and Local Winds*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Simpson, J.E., Mansfield, D.A., Milford, J.R., 1977. Inland penetration of sea-breeze fronts. *Quarterly Journal of The Royal Meteorological Society* 103, 47-76.
- Varvayanni, M., Helmis, C.G., Amanatidis, G.T., Asimakopoulos, D.N., Bartzis, J.G., Soilemes, A., Papadopoulos, K.H., kambezidis, H.D., 1993. Effects of onshore and offshore topography on sea-breeze circulation - an observational study at eastern Attica, Greece. *Pure and Applied Geophysics* 140, 681-720.
- Walko, R.L., Cotton, W.R., Meyers, M.P., Harrington, J.Y., 1995. New RAMS cloud microphysics parameterization. 1. The single-moment scheme. *Atmospheric Research* 38, 29-62.
- Wilson, J.W., Megenhardt, D.L., 1997. Thunderstorm initiation, organization, and lifetime associated with florida boundary layer convergence lines. *Monthly Weather Review* 125, 1507-1525.