



You are free: to copy, distribute and transmit the work; to adapt the work.  
You must attribute the work in the manner specified by the author or licensor

## EFEITO DA INTERAÇÃO DA CONVECÇÃO ATMOSFÉRICA COM O DESENVOLVIMENTO DE BRISAS NO ESTADO DA PARAÍBA

Ewerton C. S. Melo<sup>1</sup>; Maria R. S. Aragão<sup>2</sup>; Enilson P. Cavalcanti<sup>3</sup>;  
Anailton S. Melo<sup>4</sup>; Thiago L. V. Silva<sup>5</sup>

---

### RESUMO

Utilizou-se o *Regional Atmospheric Modeling System* (RAMS) v3b, para simular as circulações de brisa no Estado da Paraíba. A importância da convecção e da interação não-linear com a topografia para as brisas no Estado da Paraíba foi avaliada com base em quatro simulações: (i) com topografia e com convecção; (ii) com topografia e sem convecção; (iii) sem topografia, com convecção e (iv) sem topografia e sem convecção. As integrações foram bidimensionais com tempo de integração de 48 horas, inicializadas com uma atmosfera homogênea e em repouso baseada numa sondagem termodinâmica realizada na cidade de Campina Grande (7°13'S, 35°53'W, 547m), localizada no Estado da Paraíba. Verificou-se que: (i) A brisa marítima atinge seu máximo de 2,5 m/s entre 17 e 18 HL, concordando com estudos observacionais, enquanto que o extremo oeste de seu deslocamento é alcançado em torno das 24 HL; (ii) A convecção pode contribuir ou não para a formação e manutenção da brisa marítima; (iii) O efeito da interação não-linear entre a topografia e a convecção preserva as principais características de ambos os efeitos, como a organização longitudinal das áreas de convergência/divergência e divergência nos altos níveis.

**Palavras-chave:** modelagem numérica; brisas; convecção.

### ABSTRACT

The Regional Atmospheric Modeling System (RAMS) v3b is used to simulate breeze-like circulations in Paraíba state, Northeast Brazil. Four two-dimensional model simulations allow to evaluate the importance of topography, convection and their nonlinear interaction for breezes formation and development by means of differences between experiments; (i) with topography and convection; (ii) with topography, without convection; (iii) without topography, with convection, and (iv) without topography and convection. The 48 hour-long simulations are initialized from a homogeneous atmosphere at rest, based on a thermodynamic vertical profile obtained in Campina Grande (7°13'S, 35°53'W, 547m), located in Paraíba. Results show; (i) The sea breeze attains its maximum strength of 2.5 ms<sup>-1</sup> between 17 and 18 LT, in accordance with observations; its westernmost position is reached around 24 LT; (ii) The convection can favour or not sea breeze formation, and development; (iii) The nonlinear interaction between topography and convection preserves main characteristics of both effects, such as the longitudinal organization of the convergence/divergence areas and upper level divergence.

**Keywords:** numerical modeling; breezes; convection.

---

Trabalho recebido em 18/01/2011 e aceito para publicação em 13/06/2011

---

<sup>1</sup> Meteorologista, doutorando no Programa de Pós-Graduação em Meteorologia. Rua Gerivaldo Luna de Oliveira, 181, Malvinas, Campina Grande/PB CEP 58432-750 e-mail: [ecsmelo@yahoo.com](mailto:ecsmelo@yahoo.com)

<sup>2</sup> Meteorologista, Profa. Adjunta da UFCG, e-mail: [silva\\_aragao@yahoo.com.br](mailto:silva_aragao@yahoo.com.br)

<sup>3</sup> Meteorologista, Prof. Adjunto da UFCG, e-mail: [enilson@dca.ufcg.edu.br](mailto:enilson@dca.ufcg.edu.br)

<sup>4</sup> Físico, doutorando no Programa de Pós-Graduação em Meteorologia.: e-mail: [tonsalo@gmail.com](mailto:tonsalo@gmail.com)

<sup>5</sup> Meteorologista, mestrando do Programa de Pós-Graduação em Meteorologista da UFCG

## 1. INTRODUÇÃO

As brisas são circulações geradas basicamente por contrastes térmicos no ar situado sobre superfícies com características diferentes, em um mesmo nível de altitude. Dentre estas circulações normalmente a mais forte é a brisa marítima (BM), que pode se deslocar grandes distâncias, principalmente quando é formada com o auxílio da topografia. Nesse caso ela transporta umidade e calor para áreas mais afastadas da costa. A presença e interação das brisas com o escoamento de grande escala e outras circulações locais determinam, além do tempo e clima, o horário preferencial de ocorrência de possíveis fenômenos atmosféricos e suas intensidades nas localidades em que atuam. Assim, uma melhor compreensão da forma de atuação dos diversos fatores que contribuem para a formação e desenvolvimento dessas circulações é de extrema importância para a previsão do tempo e clima e, conseqüentemente, para o planejamento sócio-econômico de uma região.

Kousky (1980) mostrou que a penetração da brisa marítima (BM) no norte e nordeste do Brasil (NEB), em conjunto com as circulações de vale-montanha (CVM), determina os horários preferenciais para a ocorrência de precipitação. Mostrou também que a variação sazonal na direção dos ventos

alísios (escala planetária) causa mudança na região de convergência com a BM, determinando a ocorrência de precipitação sobre o continente ou sobre o mar. Através de um modelo não-linear, Franchito & Yamazaki (1984a,b) estudaram as características da circulação da brisa marítima-terrestre na região Norte-Nordeste do Brasil. Verificaram a importância do contraste térmico continente-oceano, da topografia e do escoamento médio. Observaram que a brisa terrestre (BT) foi mais intensa em junho quando, à noite, o continente está mais frio que o oceano; a BM se mostrou mais intensa nos meses de fevereiro, outubro e dezembro, devido ao maior aquecimento terrestre e, conseqüentemente, maior contraste térmico continente-oceano. A inclusão da orografia resultou numa circulação mais intensa do que no caso sem topografia. A presença de escoamento médio de 5 m/s penetrando na costa causou uma pequena diminuição na intensidade das brisas, tanto marítima quanto terrestre, pela advecção de ar marítimo sobre o continente, o que contribui para a diminuição do contraste térmico continente-oceano.

O modelo RAMS foi utilizado por Gandu *et al.* (1994) para estudar as circulações geradas pelas características fisiográficas da Região NEB, considerando uma atmosfera tridimensional, com 14

pontos na vertical e 81x71 pontos nas direções zonal e meridional, respectivamente, com espaçamento horizontal de 20 km e o domínio centrado em (6,5°S, 39,5°W). A versão era a não-hidrostatica, sem a parametrização de cúmulos e sem a microfísica. Foram realizadas duas simulações: na primeira a atmosfera do modelo parte de um estado de repouso com estratificação térmica horizontalmente homogênea e dada pela distribuição vertical da temperatura no centro do domínio, conforme analisada pelo *European Centre for Medium Range and Weather Forecasts* (ECMWF) para as 12 TMG de 09 de agosto de 1988. A segunda simulação é inicializada com os dados do ECMWF desse mesmo dia (ventos inclusive), e utiliza também os dados do mesmo horário do dia seguinte para definir as condições de fronteira lateral do domínio do modelo durante as 24 horas de integração. Os resultados evidenciaram que as características fisiográficas (topografia e litoral) do NEB podem induzir circulações térmicas significativas na região. A primeira simulação mostrou que a forma do contorno da costa, a declividade da topografia e a posição relativa entre a costa e regiões montanhosas favorecem ou não a formação de núcleos de movimento ascendente em determinadas regiões, que seriam regiões preferenciais da ocorrência

de convecção e precipitação. A segunda simulação indicou a necessidade de levar em consideração a interação entre os escoamentos de escalas sinótica e local nos estudos da circulação atmosférica sobre o NEB.

Gomes Filho *et al.* (1990) analisaram a velocidade e direção do vento para o período de cinco anos (1977 a 1981), fazendo um estudo de correlação por defasagem entre as velocidades de Campina Grande (PB), nos horários das 16 e 17 horas, e as de Recife (PE), João Pessoa e Patos. Os resultados sugerem que o fenômeno de intensificação se propaga, com velocidade aproximada de 70 km/h. As análises de direção mostraram que a intensificação ocorre próximo das 17 horas em Campina Grande e em torno das 21 horas em Patos, com um padrão de velocidades determinado pelo regime de vento de Recife e não pelo da brisa em João Pessoa. Os autores especulam que o fator determinante desse fenômeno é o acoplamento entre os alísios e a BM em Recife, intensificado pela forçante orográfica ao atingir o compartimento da Borborema.

Um estudo observacional do comportamento temporal e espacial do vento à superfície realizado por Bento & Cavalcanti (1994), para as localidades de João Pessoa, Campina Grande e Patos, situadas em torno da latitude de 7°S no

Estado da Paraíba, evidenciou que a componente zonal apresenta-se mais intensa (de leste) durante o verão, em torno das 10 horas em João Pessoa, 16 horas em Campina Grande e 21 horas em Patos. A componente meridional (de sul) apresenta valores mais intensos praticamente nos mesmos horários, sendo que ocorrem basicamente na primavera e verão. Nos meses de março, abril, setembro e outubro praticamente não existe variação da componente zonal ao longo do dia em João Pessoa, ficando a componente meridional como a principal responsável pelas variações diurnas, significando que nessa época do ano o escoamento é praticamente paralelo à costa. Espacialmente notaram a existência de um forte gradiente da componente zonal do vento, após as 14 horas, posicionado em torno de 35°W na encosta da Serra da Borborema. Esse gradiente, orientado de leste para oeste, indica existir uma contribuição para a formação de divergência e, portanto, movimento descendente nessa faixa, intensificando-se à noite provavelmente pelo efeito da BT. Durante a noite, mais para o interior, em 38°W (no vale), o gradiente tem sentido contrário e o efeito é inverso; convergência associada a movimento ascendente do ar, possivelmente formando uma outra célula. No que diz respeito à componente meridional, observaram um forte

cisalhamento à noite e entre 5 e 6 horas da manhã. A maior intensidade da componente meridional dos alísios durante o dia (entre 8 e 15 h), interagindo com a topografia na longitude em questão (35°W), parece compensar o efeito subsidente, prevalecendo o efeito da brisa marítima.

Neste trabalho será utilizado o Sistema de Modelagem Atmosférica Regional, o *Regional Atmospheric Modeling System* (RAMS) Versão 3b, para simular circulações tipo brisa no Estado da Paraíba em um plano vertical ao longo da latitude de Campina Grande (7°13'S). A principal motivação para este estudo é dada pela fisiografia do Estado que sugere a existência de circulações tais como as BM e terrestres (BT) e de vale-montanha/montanha-vale e suas interações.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

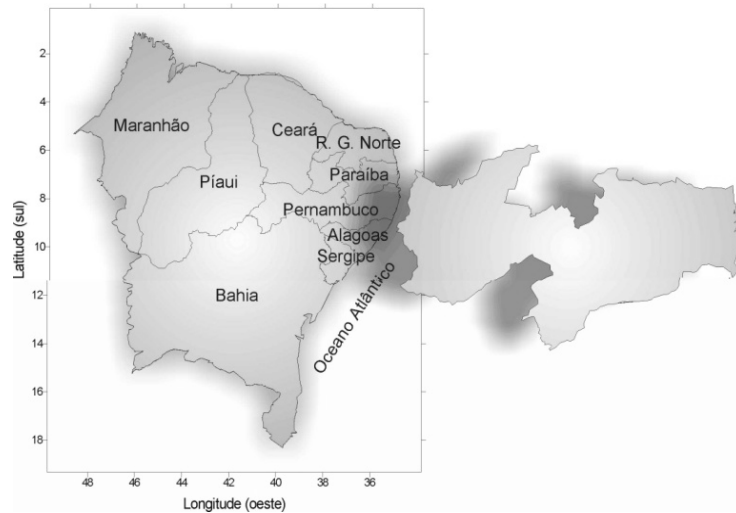
### 2.1 Área de Estudo

O Estado da Paraíba está localizado na Região Nordeste do Brasil (NEB) na faixa tropical da América do Sul (AS) (Fig. 1), entre 34°45'W e 38°45'W de longitude e 6°02'S e 8°19'S de latitude. Sua extensão territorial é de 56372 km<sup>2</sup>, com extensão linear na direção leste-oeste de 443 km e na direção norte-sul de 253 km.

Sua topografia é morfologicamente formada pela Planície Costeira oriental, a Serra da Borborema e as baixadas do Norte

e do Oeste da Bacia do Rio Piranhas. Estas áreas correspondem a regimes climáticos distintos embora estejam dentro da faixa dos ventos alísios de sudeste. A Serra da Borborema, cuja orientação é transversal à

direção dos alísios, atua modificando o regime dos ventos sobre a Serra e sobre as outras sub-regiões (Atlas Climatológico do Estado da Paraíba, 1984).



**Figura 1:** Localização da Região Nordeste do Brasil e Estado da Paraíba (em destaque)

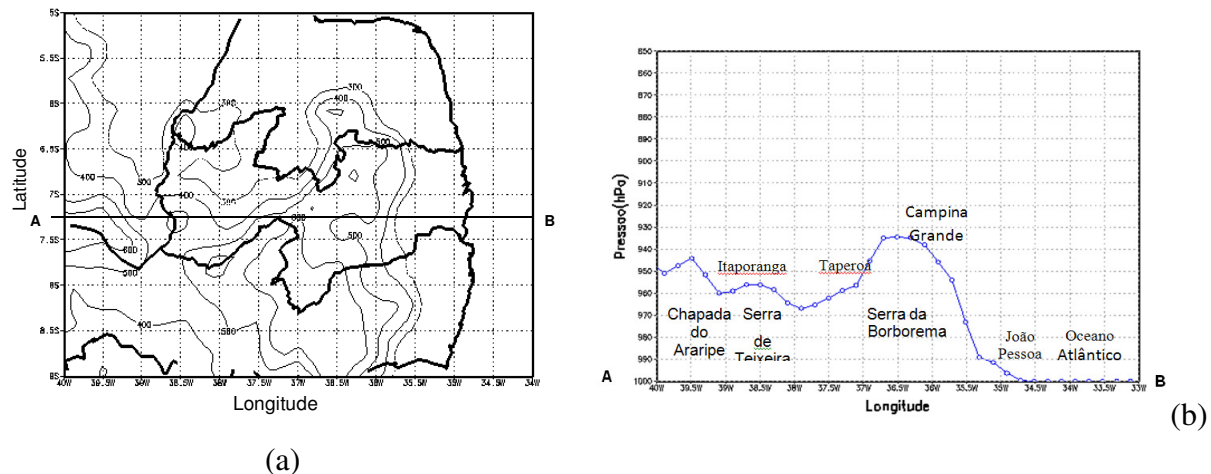
A Planície Costeira (litoral), Serras do Brejo e a Serra da Borborema são atingidas pelos ventos úmidos de sudeste vindos do Atlântico, que ultrapassam o bordo oriental da Serra da Borborema, aproximadamente em Campina Grande, entram na Bacia do Picuí e chegam a atingir o Sertão do Seridó e o Baixo Sertão, onde os ventos predominantes também são de sudeste.

As integrações numéricas discutidas neste trabalho foram realizadas num espaço bidimensional representado por um corte vertical ao longo da latitude de  $7^{\circ}13'S$ , aproximadamente. A topografia é a que está disponível no modelo com

resolução de 10 minutos de arco (aproximadamente 18,5 km) (Fig. 3.3).

A grade utilizada, que se compõe de 60 pontos na horizontal com espaçamento de 22 km, está centrada na longitude de  $34^{\circ}45'W$  no extremo leste do Estado da Paraíba. Dessa forma, a metade oeste (leste) da grade corresponde ao continente (oceano).

O extremo oeste da grade, com longitude de  $40^{\circ}45'W$ , está situado no Estado do Ceará. Este valor foi escolhido para evitar reflexões de ondas indesejadas dentro da área de estudo. O extremo leste corresponde à longitude de  $28^{\circ}45'W$ . Há 24 pontos de grade na vertical e 7 níveis de profundidade no solo.



**Figura 2:** (a) Topografia disponível no modelo com espaçamento de 10 minutos de arco, sendo seu intervalo dos contornos de 100 m. (b) Corte vertical ao longo da reta AB em torno da latitude de  $7^{\circ}13'S$ .

## 2.2 Modelagem Numérica

O modelo utilizado nos experimentos numéricos deste trabalho é o Modelo de Sistemas Atmosféricos Regional, o *Regional Atmospheric Modeling System* (RAMS), Versão 3b. Este modelo foi desenvolvido na Universidade do Colorado nos Estados Unidos, sob a orientação dos Drs. William R. Cotton e Roger A. Pielke, com o suporte da Fundação Nacional de Ciências e do Escritório de Pesquisas do Exército dos Estados Unidos da América.

O método proposto para avaliar as interações entre os fatores que influenciam as circulações de brisas no estado da Paraíba é o proposto por Stein & Alpert (1993), que possui o propósito de isolar o efeito de diferentes fatores sobre um campo atmosférico, de forma que facilita a interpretação da contribuição dos fatores desejados.

Os experimentos aqui propostos visam o estudo das características básicas das brisas marítima/terrestre e de vale/montanha e suas interações no Estado da Paraíba.

As características atmosféricas e fisiográficas necessárias para realização das simulações são informadas ao RAMS pela especificação dos valores de variáveis e seleção das muitas opções disponíveis no RAMSIN, um arquivo responsável por informar ao conjunto de programas que formam o modelo o comportamento da atmosfera e como os métodos numéricos devem ser processados como, por exemplo, as características da grade, parâmetros e variáveis de interesse, etc.

O modelo foi inicializado com a atmosfera considerada em repouso ( $u=0$ ) e os dados termodinâmicos de uma radiossondagem, de forma que o domínio é

homogêneo na horizontal no instante inicial. A sondagem atmosférica utilizada foi obtida na primeira fase do Subprojeto I, Experimento de Mesoescala na Atmosfera do Sertão (EMAS), realizado no período de 26 de março a 5 de abril de 1995, o EMAS teve como um de seus objetivos a obtenção de dados meteorológicos com resolução espacial e temporal adequadas ao estudo de sistemas atmosféricos de mesoescala. Durante todo o período do EMAS-I, a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) foi o principal sistema meteorológico que provocou precipitação na região norte do NEB (VITORINO *et al.*, 1996a). Com relação ao escoamento nos baixos níveis durante este experimento foi verificado que a componente zonal de leste foi fortalecida durante a noite e que a componente meridional é de sul (SILVA e GANDU, 1998). A componente zonal do vento na cidade de Campina Grande evidenciou circulação predominante de leste em todos os horários no período do EMAS-I, sendo de oeste nas camadas compreendidas entre os níveis de 250 Pa e 150 hPa.

Devido a circulação de brisa ser um fenômeno de mesoescala, foi escolhido um dia do EMAS em que a circulação de grande escala teve a menor influência possível na área em estudo e a variação térmica diária estava melhor caracterizada. Tal escolha foi efetuada com base em imagens de satélite (METEOSAT Image

Bulletin, 1995) e em informações extraídas das 56 observações de superfície e ar superior realizadas em Campina Grande (7°13'S, 35°53'W, 547m) no período do experimento (CORREIA, 1995). A seleção do horário levou em conta que as brisas têm seu ciclo ditado pela radiação solar. O horário selecionado foi aquele em que a atmosfera se encontrava estável e o Sol ainda não havia nascido correspondendo às 2:59 HL do dia 26 de março de 1995. O uso dessa sondagem no RAMS exigiu a extrapolação dos dados termodinâmicos até o nível médio do mar utilizando a taxa de resfriamento média das camadas mais próximas da superfície.

O tipo de vegetação adotado foi o de semi-deserto, para representar a vegetação predominante no Estado que é a caatinga (GANDU *et al.*, 1994; SISMANOGLU *et al.*, 1996; VITORINO *et al.*, 1996b; HERDÍES, 1998). O valor de umidade do solo utilizado nas simulações foi de 46%, que é o valor médio do mês de março estimado por um modelo de umidade de solo utilizado por Dantas (1999). A temperatura da superfície do mar utilizada corresponde à média climatológica para o mês de março disponível no modelo RAMS. A microfísica das nuvens foi desativada e a parametrização cúmulos utilizada foi a de Kuo modificada por Molinari (1985).

Os experimentos realizados, analisados segundo o método de separação de fatores de Stein & Alpert (1993), são os seguintes:

- I. Área de estudo com topografia, com parametrização de convecção ( $f_{12}$ );
- II. Área de estudo com topografia, sem parametrização de convecção ( $f_1$ );
- III. Área de estudo plana (sem topografia), com parametrização de convecção ( $f_2$ );
- IV. Área de estudo plana (sem topografia), sem parametrização de convecção ( $f_0$ ).

O método foi aplicado aos campos da velocidade zonal ( $u$ ), velocidade vetical ( $w$ ), e Temperatura Potencial ( $\theta$ ) para avaliar a influência sobre as brisas da topografia ( $\hat{f}_1$ ), da convecção ( $\hat{f}_2$ ) e da interação não linear ( $\hat{f}_{12}$ ), com base nas seguintes equações:

$$\hat{f}_0 = f_0 \quad (3.16)$$

$$\hat{f}_1 = f_1 - f_0, \quad (3.17)$$

$$\hat{f}_2 = f_2 - f_0, \quad (3.18)$$

$$\hat{f}_{12} = f_{12} - (f_1 + f_2) + f_0,$$

$$(3.19)$$

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As simulações bidimensionais realizadas são apresentadas, analisadas e discutidas a seguir, com ênfase nas brisas entre vale e montanha e terra e mar, geradas por gradientes horizontais no fluxo

de calor sensível entre duas áreas com características diferentes. Os efeitos gerados pela convecção e sua interação não-linear com a topografia são avaliados utilizando o método de separação de fatores de Stein & Alpert (1993).

Experimento de controle: topografia e parametrização da convecção

No instante inicial de integração o modelo está com a atmosfera estável e sem escoamentos, de modo que a inicialização é homogênea a partir do repouso. Com o aquecimento radiativo é formado gradientes térmicos gerados pelos contrastes na superfície resultando na formação de brisas. O gradiente térmico mais intenso ocorre às 16:00 HL, uma a duas horas antes do horário de maior intensidade da brisa. Haurwitz (1947) atribuiu este fenômeno ao atrito que, além de diminuir a intensidade da brisa, afeta sua fase, ou seja, quanto maior o atrito, maior o atraso na intensidade da brisa em relação ao ciclo diurno de temperatura. Característica semelhante foi observada por Nóbrega *et al.* (2000) ao avaliar o comportamento do vento à superfície na cidade de Campina Grande. A BM atinge seu máximo (2,5 m/s) entre 17 e 18:00 HL (Fig. 3), conforme observado por outros autores (BASTOS *et al.*, 1986; BENTO ; CAVALCANTI, 1994), enquanto que a

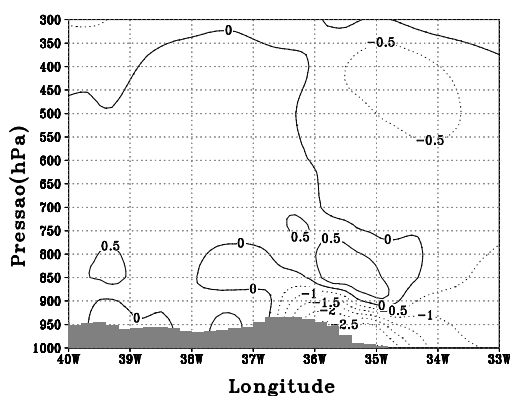


convergência mais intensa na área costeira ocorre às 20:00 HL do mesmo dia. O maior deslocamento da BM ocorre após o anoitecer (Fig. 4), com velocidade estimada em 10,3 m/s, devido à redução na mistura turbulenta sobre a superfície do Estado. A BM penetra no continente até a longitude de 38°W, distante 441,2 km do litoral, onde chega em torno das 24:00 HL. Uma explicação para esta grande extensão de deslocamento da BM é que para a latitude escolhida a força de Coríolis é praticamente desprezível (MAHFOUF *et al.*, 1987).

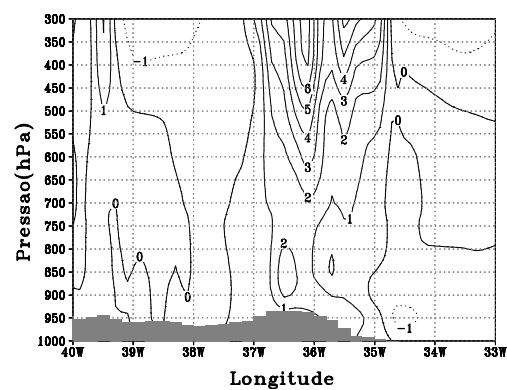
A atmosfera tende a estabilizar-se durante a madrugada do segundo dia de integração. A brisa terrestre (BT) vem a ser notada apenas entre (08:00 e 10:00 HL) do segundo dia, quando há uma diferença de temperatura potencial entre o ar sobre a área costeira e o oceano em torno de 1K,

mantendo-se restrita à costa. Não é possível distinguir a brisa de montanha na encosta oeste da Serra da Borborema devido à superposição com a circulação de grande escala gerada pelo modelo e a brisa marítima.

É perceptível a presença de uma célula de movimento ascendente próximo à área litorânea na maior parte do tempo de integração. Physick (1976) demonstrou com um experimento numérico sob condições diferentes das utilizadas neste trabalho, que pode haver a formação de uma pequena célula de movimento ascendente próximo ao litoral, mesmo quando a brisa já penetrou continente adentro. Essa célula é formada pelo contraste entre o ar sobre o mar e o ar marítimo que penetrou no continente, já bastante modificado por este.

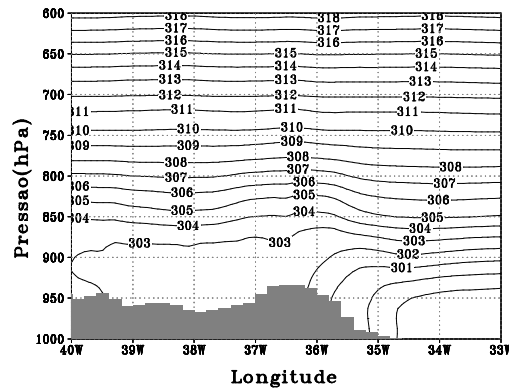


(a)



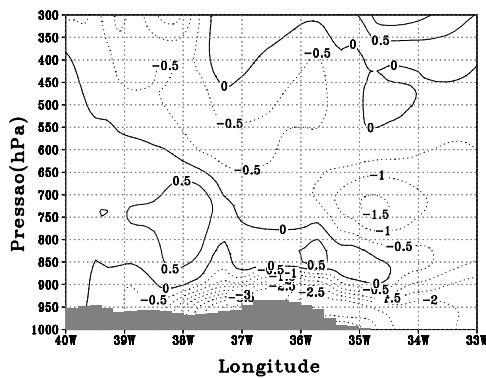
(b)

Figura 03 (a) (b) continua em (c)

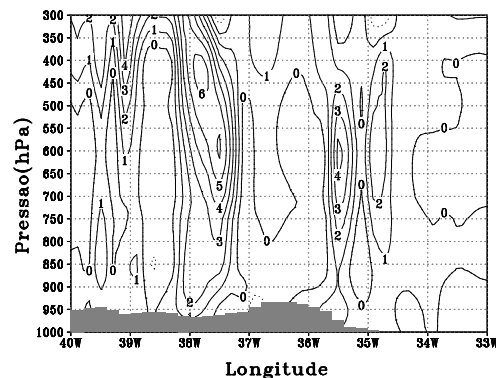


(c)

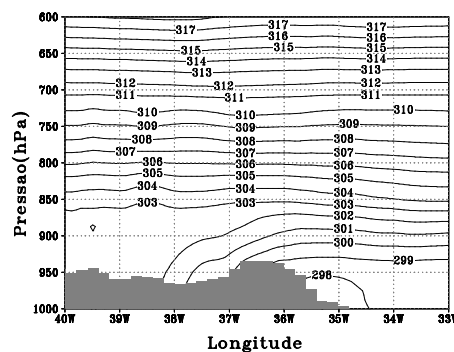
**Figura 3:** Experimento de controle às 18:00 HL: (a) componente zonal (intervalo de análise:  $0,5 \text{ ms}^{-1}$ ), (b) movimento vertical (intervalo de análise:  $10^{-2} \text{ ms}^{-1}$ ), (c) temperatura potencial (intervalo de análise: 1K). Linhas contínuas (pontilhadas) indicam escoamento de oeste/movimento ascendente (escoamento de leste/movimento descendente). O limite superior no eixo das ordenadas é 600 hPa/300 hPa em (c)/(a) e (b).



(a)



(b)



(c)

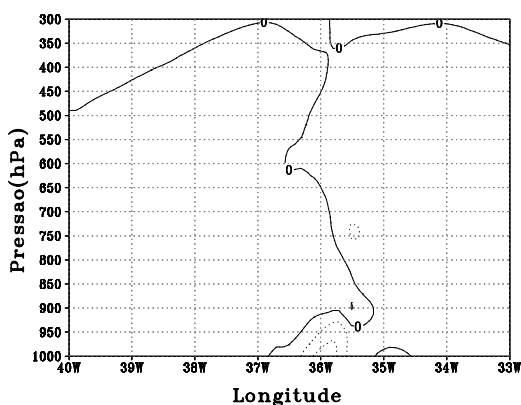
**Figura 4:** Experimento de controle às 24:00 HL: (a) componente zonal (intervalo de análise:  $0,5 \text{ m/s}$ ), (b) movimento vertical (intervalo de análise:  $10^{-2} \text{ ms}^{-1}$ ), (c) temperatura potencial (intervalo de análise: 1K). Linhas contínuas (pontilhadas) indicam escoamento de oeste/movimento ascendente (escoamento de leste/movimento descendente). O limite superior no eixo das ordenadas é 600 hPa/300 hPa em (c)/(a) e (b).

### Efeito da convecção

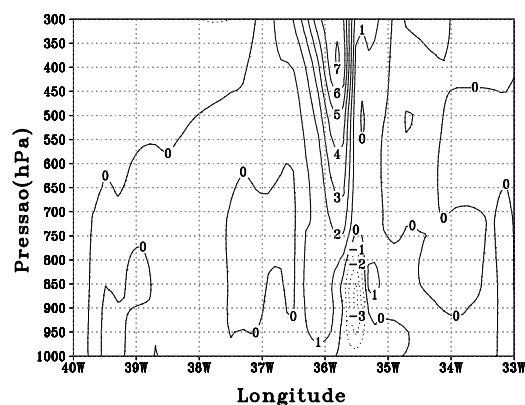
O efeito da convecção é notado no período da noite por volta das 20:00 HL, em que atua ocasionando o surgimento de um escoamento de leste em 36°W (Fig. 5a), contribuindo para a intensificação da BM neste horário. No campo do movimento vertical nota-se a presença de um ramo descendente em 35,5°W e ascendente em 36°W, este último centrado nos altos níveis (Fig. 5b). No campo da temperatura potencial não é observada nenhuma influência neste horário (Fig. 5c).

Uma característica melhor definida às 24:00HL (Fig. 6a), causada pela convecção, é a presença de divergência nos níveis mais altos. Tal padrão também foi observado por Bernardet (1993). Houve

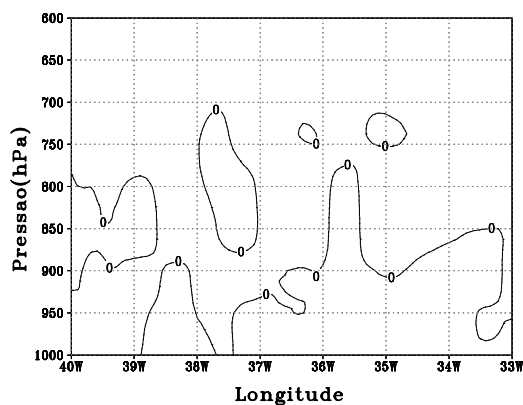
intensificação na componente de leste nos baixos níveis, e no escoamento de oeste associado, centrado em torno de 900 hPa. O escoamento de leste, com núcleo em torno de 800 hPa, contribuiu desintensificando o núcleo com escoamento de oeste próximo a 35,5°W em 850 hPa (Fig. 6a). Como o efeito convectivo está intrinsecamente ligado ao movimento vertical, pode-se verificar que o escoamento de leste observado está associado ao ramo ascendente relativamente forte situado em torno de 36,5°W, com núcleo em 650 hPa. O ramo descendente associado está centrado em 900 hPa, na longitude de 36°W (Fig. 4.6b). O resultado da circulação gerada é um esfriamento em torno de 1K próximo à superfície (Fig. 6c).



(a)

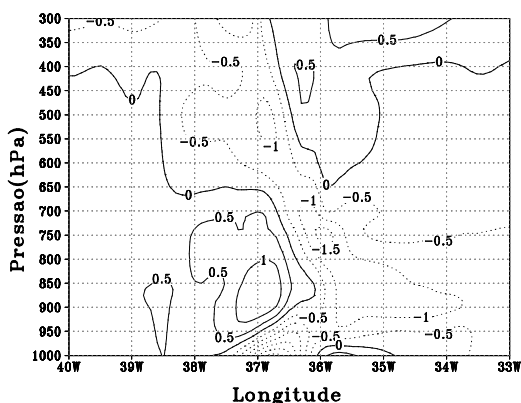


(b)

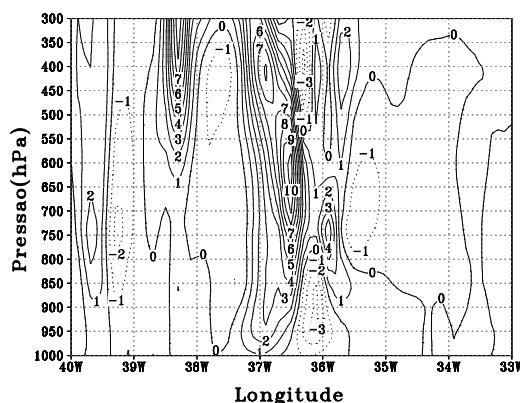


(c)

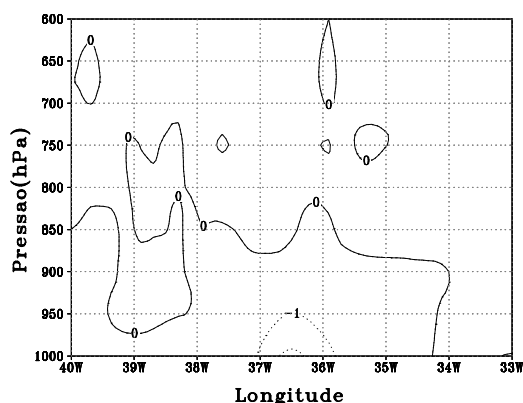
**Figura 5:** Efeito da convecção às 20:00 HL: (a) componente zonal (intervalo de análise:  $0,5 \text{ ms}^{-1}$ ), (b) movimento vertical (intervalo de análise:  $10^{-2} \text{ ms}^{-1}$ ), (c) temperatura potencial (intervalo de análise: 1K). Linhas contínuas (pontilhadas) indicam escoamento de oeste/movimento ascendente (escoamento de leste/movimento descendente). O limite superior no eixo das ordenadas é 600 hPa/300 hPa em (c)/(a) e (b).



(a)



(b)



(c)

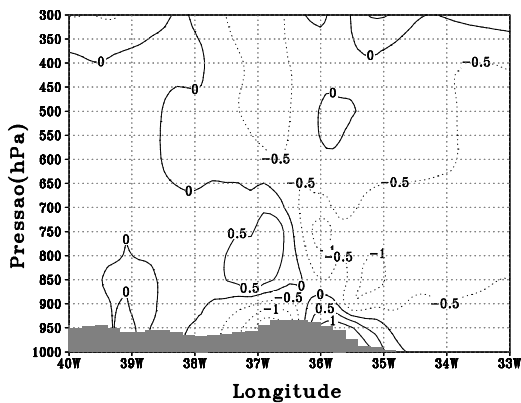
**Figura 6:** Efeito da convecção às 24:00 HL: (a) componente zonal (intervalo de análise:  $0,5 \text{ ms}^{-1}$ ), (b) movimento vertical (intervalo de análise:  $10^{-2} \text{ ms}^{-1}$ ), (c) temperatura potencial (intervalo de análise: 1K). Linhas contínuas (pontilhadas) indicam

escoamento de oeste/movimento ascendente (escoamento de leste/movimento descendente). O limite superior no eixo das ordenadas é 600 hPa/300 hPa em (c)/(a) e (b).

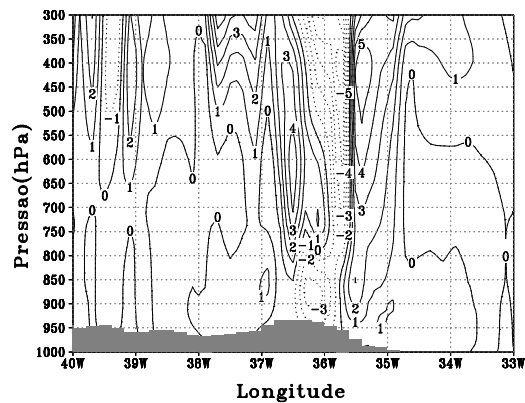
**Efeito da interação não-linear entre a topografia e a convecção**

A contribuição da interação não-linear entre os efeitos da convecção e topografia começa a ser observada a partir das 18:00 HL, quando ocorre um fraco escoamento de leste sobre o cume da Serra da Borborema. O movimento vertical neste horário é caracterizado por movimento ascendente sobre a Serra, que se estende da superfície aos altos níveis. Em que a influência observada sobre o campo da temperatura potencial é o esfriamento de (1K) numa camada relativamente rasa situada entre 35,6°W e 36,5°W.

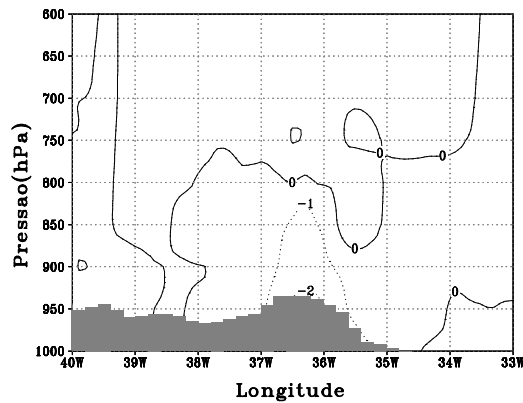
Às 20:00 HL pode-se observar a presença da brisa de montanha, que se estende pela vertente oriental da Serra da Borborema com intensidade de 1 m/s (Fig. 6a), enquanto que na encosta oeste verifica-se a presença de escoamento de leste que também pode ser atribuído à brisa de montanha. Esta configuração determina uma área de divergência expressa como uma célula de movimento descendente em 36°W (Fig. 6b). O ar sobre a Serra da Borborema está mais frio até o nível de 800 hPa, aproximadamente (Fig. 6c).



(a)



(b)



(c)

**Figura 7** Efeito da interação não-linear entre a topografia e a convecção às 20:00 HL: (a) componente zonal (intervalo de análise:  $0,5 \text{ ms}^{-1}$ ), (b) movimento vertical (intervalo de análise:  $10^{-2} \text{ ms}^{-1}$ ), (c) temperatura potencial (intervalo de análise: 1K). Linhas contínuas (pontilhadas) indicam escoamento de oeste/movimento ascendente (escoamento de leste/movimento descendente). O limite superior no eixo das ordenadas é 600 hPa/300 hPa em (c)/(a) e (b).

Em suma, o efeito da interação não-linear entre a topografia e a convecção preserva as principais características de ambos os efeitos como a organização longitudinal das áreas de convergência/divergência e divergência nos altos níveis.

## 5. CONCLUSÃO

Avaliando o efeito da convecção neste estudo, observou-se que esta atua na área de frente de brisa contribuindo positivamente para a formação da BM.

O efeito não-linear entre a topografia e a convecção mantém as principais características de ambos como a organização longitudinal dos movimentos ascendentes e divergência nos altos níveis. Este efeito influencia no estado térmico da

atmosfera, esfriando bastante o interior do Estado, induzindo escoamento de grande escala de oeste, o que favorece a formação da BT.

Este estudo evidenciou algumas características dinâmicas da convecção e de sua interação não linear nas circulações de brisa no Estado da Paraíba, trazendo uma valiosa contribuição ao conhecimento sobre o desenvolvimento de circulações de mesoescala no Estado da Paraíba. Uma extensão evidente deste trabalho é a realização de experimentos bidimensionais que permitam isolar a contribuição da umidade de solo e do vento de grande escala para as circulações de brisa.

## 6. REFERÊNCIAS

ATLAS CLIMATOLÓGICO DO ESTADO DA PARAÍBA.

- Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1984. (Sem Paginação).
- BENTO, P.B., CAVALCANTI, E.P. Comportamento do Vento à Superfície na Paraíba e Correlação com Outras do Nordeste do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 1984, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte, Sociedade Brasileira de Meteorologia: 1984.
- BERNARDET, L. R. Simulação Numérica da Brisa Marítima e de sua Interação com a Topografia na Presença de Processos Úmidos. São Paulo, 1993. 113p. **Dissertação** (Mestrado em Meteorologia) Universidade de São Paulo.
- CORREIA, M. F. **Relatório de Atividades**. Sub-Projeto I - EMAS – Experimento de Mesoescala na Atmosfera do Sertão, DCA - UFPb, 1995.
- DANTAS, P.R.C. Estudo Agrometeorológico Baseado em Alguns Modelos de Umidade do Solo. Campina Grande, 1999. 70 f. **Dissertação** (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1999.
- FLOHN, H. **General Climatology**, 2. Elsevier Publishing Company Amsterdam – London – New York, p. 139-171, 1969.
- FRANCHITO, S. H., YAMAZAKI, Y. Efeitos da Topografia e Escoamento Médio Sobre as Circulações locais na região N e NE do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 3, 1984, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte, Sociedade Brasileira de Meteorologia: 1984a.
- FRANCHITO, S. H., YAMAZAKI, Y. Simulação das Circulações Locais com um Modelo Numérico em três Dimensões. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 3, 1984, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte, Sociedade Brasileira de Meteorologia: 1984b.
- GANDU, A. W., SILVA FILHO, V. P., SILVA, R. R. Aplicação de um Modelo Numérico de Mesoescala sobre o Nordeste Brasileiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 8, 1994, Campos Jordão. **Anais...** Campos Jordão, Sociedade Brasileira de Meteorologia: 1994.
- GOMES FILHO, M. F., CEBALLOS, C. J., LACERDA, L. M. M., Um Estudo da Intensificação do Vento

- Próximo a Superfície no Verão do Estado da Paraíba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 6, 1990, Salvador. **Anais...** Salvador, Sociedade Brasileira de Meteorologia: 1990. 2v., v.2.
- HAURTIZ, B. Comments on the sea-breeze circulation. *J. Met.*, v. 4, p1-8, 1947.
- HERDÍES, D. L. A Influencia das Características Fisiográficas no Leste do Nordeste do Brasil Utilizando o Modelo RAMS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10, 1998, Brasília. **CD...** Brasília, Sociedade Brasileira de Meteorologia: 1998.
- KOUSKY, V. Diurnal rainfall variation in northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, v. 108, p. 488-498, 1980.
- KUO, H. L. Further Studies of the Parametrization of the Influence of Cumulus Convection on Large-Scale Flow. **Journal of the Atmospheric Sciences**. v. 31 p. 1232-1240, 1974.
- MAHFOUF, J. F., RICHARD, E., MASCART, P. The influence of Soil and Vegetation on the Development of Mesoscale Circulations. **American Meteorological Society**, v. 26, p.1483-1495.1987.
- METEOSAT IMAGE BULLETIN, MEP/Data Service. Sem paginação, 1995.
- MOLINARI, J. A General Form of Kuo's Cumulus Parameterization. **American Meteorological Society**, v. 113, p. 1411-1416, 1985.
- MOLINARI, J., CORSETTI, T. Incorporation of Cloud-Scale and Mesoscale Downdrafts Into a Cumulus Parameterization: Results of One- and Three-Dimensional Integrations. **Monthly Weather Review**, v. 113,p. 485-501, 1985.
- NÓBREGA, R. S., MELO, E. C. S., ARAÚJO, J. A. P., PAIVA NETO, A. C., SARAIVA, F. A. M., SOARES, D. B., SOARES, D. N. B. Um Estudo Observacional de Vento à Superfície na Cidade de Campina Grande-PB. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11, 2000, Rio Janeiro. **CD...** Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Meteorologia: 2000.
- PHYSICK, W. A numerical Model of the Sea-Breeze Front as Shown by



- Numerical Model. **J. of Atmos Sci.**, v. 33, p. 2107-2135, 1976.
- SELLERS, W. D. **Physical Climatology**. University Chicago Press., Chicago, p. 272. 1965.
- SILVA, A. J. N., GANDU, A. W. Circulações Locais no Nordeste Durante o EMAS-I: Radiossondagens e Comparação com as Reanálises do NCAR-NCEP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10, 1998, Brasília. **CD...** Brasília, Sociedade Brasileira de Meteorologia: 1998.
- SIMPSON, J. E. **Sea Breeze and Local Winds**. Cambridge University Press, Nova Iorque, EUA, 1994.
- SISMANOGLU, R. A., PRATES, J. E., CHAN, C. S., MELO, J. G. Simulações com um Modelo Regional em Superfícies Não Homogêneas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 9, 1996, Campos Jordão. **Anais...** Belo Horizonte, Sociedade Brasileira de Meteorologia: 1996a.
- SOUZA, E. P. Estudo Teórico e Numérico da Relação entre Convecção e Superfícies Heterogêneas na Região Amazônica. São Paulo 1999. 60 f. **Tese** (Doutorado) – Universidade de São Paulo.
- STEIN, U., ALPERT, P. Factor Separation in Numerical Simulations. **Journal of The Atmospheric Sciences**. v.50, pp.2107-2115, 1993.
- VITORINO, M. I., ALVES, J. M. B., SILVA, R. R., SILVA FILHO, V. P. Relação entre as Variáveis Termodinâmicas Locais com a Precipitação Observada Durante o EMAS-I. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 9, 1996, Campos Jordão. **Anais...** Belo Horizonte, Sociedade Brasileira de Meteorologia: 1996a. 2v, v.2.
- VITORINO, M. I., SILVA, R. R., COSTA, A. A. Sistema Convectivo de Mesoescala- Parte II: Modelagem Numérica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 9, 1996, Campos Jordão. **Anais...** Belo Horizonte, Sociedade Brasileira de Meteorologia: 1996b.