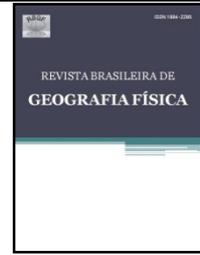




Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Estudo de Caso: Análise Sinótica de um Evento Extremo de Precipitação no Estado de Pernambuco entre os Dias 17 a 19 de Junho de 2010

Giordani Rafael Conceição Sodré¹, José Danilo Costa Souza Filho²

¹Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais na Universidade Federal do Pará-AM.

²Professor da Faculdade de Meteorologia da Universidade Federal do Pará-AM.

Artigo recebido em 27/07/2012 e aceito em 22/12/2012

RESUMO

O uso de parâmetros meteorológicos é importante na investigação de sua atuação nos mecanismos atmosféricos moduladores da precipitação no período de inverno sobre o Nordeste Brasileiro (NEB). Este estudo objetivou caracterizar o fenômeno que modulou a precipitação intensa ocorrida entre os dias de 17 a 19/06/2010 por meio de dados de reanálise do NCEP/NCAR, dados de precipitação da Plataforma de Coleta de Dados (PCD's), do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e imagens de satélite do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE). Observou-se, através dos campos gerados pelo *software* Grads, as características atmosféricas propícias ao favorecimento da convecção sobre o NEB no mês de junho e, em especial, nos dias 17, 18 e 19 de junho, quando foram registrados os valores mais elevados de precipitação, quando foi realizado o diagnóstico dos sistemas sinóticos atuantes neste período, caracterizando as perturbações vindas de leste, como o sistema responsável pela formação do complexo convectivo que atuou sobre o estado de Pernambuco.

Palavras-chave: precipitação, sistemas sinóticos, nordeste brasileiro.

Case Study: Synoptic Analysis of an Extreme Event of Precipitation in the Pernambuco State between the 17 to 19 June 2010

ABSTRACT

The use of meteorological parameters is important to investigate its function on the atmospheric modulators mechanisms of precipitation during the winter over the Northeast Brazil (NEB). This study aimed to characterize the phenomena which modulates the intense precipitation occurred between the days 17 to 19/06/2010 through the reanalysis data of NCEP / NCAR precipitation data of the Platform for Data Collection (PCDs), the National Institutes of Meteorology (INMET) and satellite images of the Center for Weather Forecasting and Climate Studies, National Institute for Space Research (CPTEC / INPE). It was observed, through the fields generated by the software Grads, that the atmospheric characteristics that permit the convection over the NEB in June and, in particular, on days 17, 18 and 19 June when was we registered the highest values of precipitation, when the diagnosis of synoptic systems operating in three days was performed; it characterized the disturbances coming from the east, as the system responsible for the formation of convective complex that occurred on the State of Pernambuco.

Keywords: rainfall, synoptic systems, Brazilian northeast.

Introdução

A precipitação é a variável climatológica mais importante em estudos ambientais nos trópicos. A despeito da simplicidade de sua medida, é uma das variáveis mais difíceis de ser observada com acurácia, uma vez que apresenta erro instrumental, de exposição e de

localização. As precipitações pluviais estão diretamente relacionadas com a convecção local. Esta é caracterizada por movimentos ascendentes de ar úmido, resultantes da ocorrência de pressões atmosféricas mais baixas junto à superfície terrestre, seja em consequência do aquecimento do ar em contato com essa superfície, seja pela ação de fenômenos transientes, de caráter puramente dinâmico, como sistemas frontais ou frentes

* E-mail para correspondência: rafaelsodre2009@hotmail.com.

frias, e perturbações ondulatórias no campo dos ventos (Molion et al., 2000).

Devido à localização no extremo leste da América do Sul tropical, o NEB está submetido à influência de fenômenos meteorológicos, que lhe conferem características climáticas peculiares, únicas em semiáridos de todo mundo. Nobre & Molion (1988) sugeriram que a semiaridez do NEB é devida à adjacência à Região Amazônica, onde ocorrem movimentos convectivos amplos e intensos, sendo um dos ramos ascendentes da Circulação de Walker.

O ar ascendente sobre a Amazônia adquire movimento anticiclônico nos níveis altos (Alta da Bolívia), diverge e, parte dele, desloca-se para leste, criando o ramo descendente e uma forte inversão térmica na região. O centro de subsidência se posiciona sobre o Atlântico Sul, porém se estende para oeste, por sobre o NEB. Esse centro está próximo da costa da África (33°S , 0°) no verão e se desloca para próximo da costa do Brasil (27°S ; 15°W) no inverno, seguindo a direção SE-NW (Hastenrath, 1985). Quando está mais próximo do Brasil, todo o Centro Oeste, o sul da Amazônia e o NEB, com exceção da costa do leste do nordeste, apresentam o período mais seco do ciclo anual. O posicionamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), com a região de movimentos ascendentes localizada mais ao norte do equador geográfico, também contribui para intensificar a subsidência sobre a região.

A convecção tropical é essencialmente controlada - intensificada ou inibida - pela circulação geral da atmosfera, fenômenos de escala global, resultantes da interação complexa entre a superfície do planeta, particularmente a distribuição de continentes e oceanos com fornecimento desigual de energia solar, topografia e cobertura vegetal.

Nobre & Molion (1988) sugeriram que a confluência dos alísios com a brisa de terra (noturna) possa ser um dos mecanismos importantes na produção de chuva na região costeira. O campo dos ventos alísios é frequentemente perturbado por penetrações de sistemas frontais em latitudes baixas, quer sobre o oceano quer sobre o continente. No Atlântico Sul, a convergência dos ventos de sul, associados aos sistemas frontais, com os

ventos de leste, provocam perturbações ondulatórias nos alísios (POA) que se propagam para oeste imerso no campo dos alísios. Cohen et al. (1989) descreveram as perturbações costeiras associadas à brisa marítima e sugeriram que as perturbações são o fator principal para o máximo pluviométrico junto à costa em maio-junho. Tais linhas tinham uma largura de até 170 km, 68% apresentaram um tempo de duração entre 6-12 horas e o número máximo de linhas formadas na costa ocorreu no mês de julho, com um máximo secundário em abril.

Yamazaki (1975) estudou a dinâmica das perturbações da região tropical do Atlântico Sul até a costa brasileira e comparou os resultados com os inferidos através de análises das seções longitude-tempo das imagens de satélite para o inverno de 1967, construídas por Wallace (1970). O autor concluiu que a elevada pluviosidade nos meses de inverno ao longo da costa brasileira estaria associada aos distúrbios de leste por ele definidos.

Silvestre (1996), utilizando dados de vento meridional para um período de 10 anos, mostrou que esses distúrbios ondulatórios existem através do ano todo com diferentes comprimentos de onda e que nas estações de verão (dezembro, janeiro e fevereiro), outono (março, abril e maio) e inverno (junho, julho e agosto), eles se deslocam atingindo a costa norte do NEB. No verão, o comprimento de onda é de 6000 km a 7000 km, e velocidade de fase de 10 m.s^{-1} a 14 m.s^{-1} , no outono o comprimento de onda é de 5000 km a 6000 km e a velocidade de fase de 10 m.s^{-1} a 13 m.s^{-1} e no inverno os comprimentos de onda são mais curtos variando de 3500 km a 4000 km, velocidade de fase de 10 m.s^{-1} e 13 m.s^{-1} .

Um mecanismo importante de produção de chuva para o sul do Nordeste e para o este do Nordeste é a penetração de sistemas frontais, entre as latitudes 5°S e 18°S . A penetração até latitudes equatoriais ocorre, mais frequentemente, no inverno do Hemisfério Sul (HS), pois o posicionamento médio da ZCIT, o equador meteorológico, está em torno de 10°N a 14°N nessa época.

Oliveira (1986), através de uma análise da climatologia usando imagens de satélite geoestacionário entre 1979-1984, verificou que os sistemas frontais frequentemente se

associam e interagem com convecção tropical, embora nem todos os sistemas frontais o façam com a mesma intensidade.

O objetivo deste estudo é realizar o diagnóstico da atmosfera durante um evento extremo de precipitação no Nordeste Brasileiro no mês de junho de 2010. Este trabalho foi realizado utilizando dados de precipitação em dois municípios do estado de Pernambuco, Barreiros e Palmares, os quais foram os mais afetados pela intensidade da precipitação incidente na região, e imagens de satélite e dados, em ponto de grade, de reanálise do NCEP/NCAR, com a finalidade de identificar e analisar parâmetros que permitam a compreensão do fenômeno.

Material e métodos

Localização e características físicas dos municípios de Barreiros e Palmares

O município de Barreiros, latitude -08°49'06", longitude 35°11'11", altitude 22 m,

localiza-se a 13 km do litoral. O clima é predominantemente Tropical quente e úmido. A precipitação média varia entorno de 1500 mm a 2500 mm anuais, distribuídos em dois períodos distintos, outono e inverno, principalmente do mês de junho ao mês agosto. O município de Palmares, latitude -08°41'00", longitude 35°35'30" e altitude 125 m, localizam-se a 68.5 km do litoral. O clima é predominantemente tropical, com fortes chuvas no outono e inverno. A precipitação média varia entorno de 1500 mm a 2500 mm anuais, distribuídos em dois períodos distintos, outono e inverno, principalmente do mês de junho ao mês agosto.

A Figura 1 mostra a localização das duas cidades Barreiros e Palmares no estado de Pernambuco escolhidas para esse estudo devido aos altos níveis de precipitação registrados nessas localidades pelas estações meteorológicas do INMET localizadas nas mesmas.

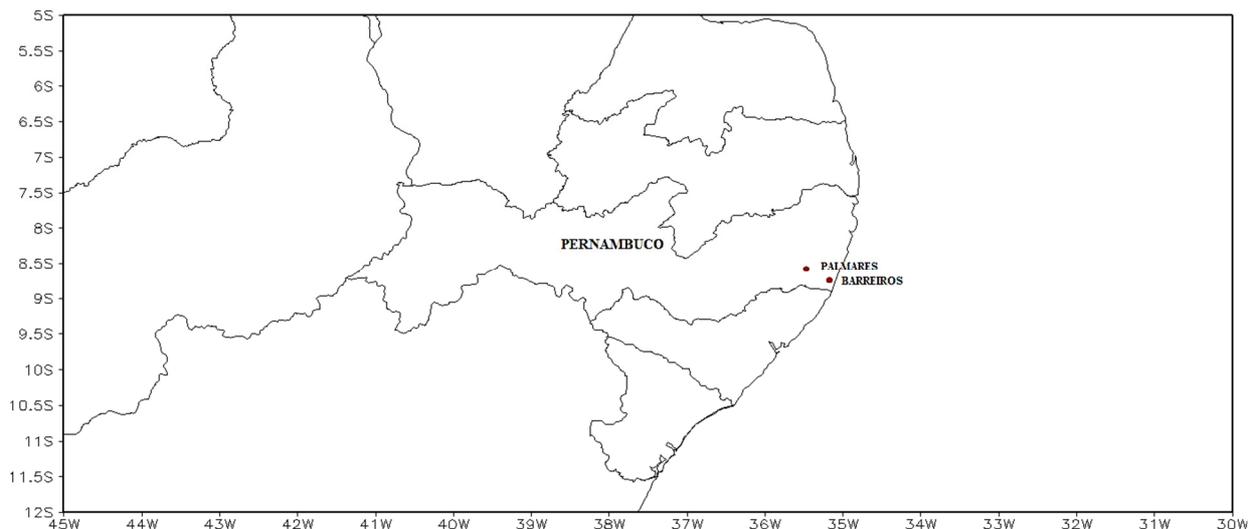


Figura 1. Mapa da área de estudo, com a localização das cidades de Barreiros e Palmares.

Dados

Os dados diários de precipitação foram obtidos através da plataforma de coleta de dados (PCD), de responsabilidade do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), para o mês de junho de 2010. Foram utilizadas imagens do Satélite Meteorológico GOES 12, no canal infravermelho para os dias 17, 18 e 19 de junho, com objetivo de identificarmos os sistemas sinóticos atuantes durante o período de estudo. Dados de reanálises do NCEP/NCAR (*National Centers for Environmental Prediction/National Center for*

Atmospheric Research) obtidos no site NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) do governo dos Estados Unidos referentes ao mês de junho de 2010. Os dados do NCEP possuem uma grade global com resolução espacial de 2,5° x 2,5° (o que equivale a 300 km²) e resolução temporal de seis horas. Para a análise e descrição dos sistemas atmosféricos que possam ter atuado sobre o NEB foi estabelecido uma grade de latitude de 30°S a 10°N e longitude de 75°W0°. Os parâmetros gerados foram; Campo de vento, Omega, umidade relativa

(UR), divergência, Vorticidade, diagramas de longitude x tempo (Hovmoller).

Metodologia

Utilizando o *software* de visualização GRADS foram geradas imagens dos diversos parâmetros meteorológicos propostos no item anterior para a análise sinótica dos eventos de DOL, paralelamente foi feita a relação com os volumes pluviométricos cedidos pelo INMET do período estudado, e observação da intensidade da anomalia de precipitação usando métodos matemáticos.

Resultados e discussão

Precipitação

Na Figura 2 é apresentado o total diário de precipitação para o município de Barreiros durante o mês de junho de 2010. Identificam-se, claramente, três períodos de precipitação intensa ao longo do mês. O primeiro período compreende os dias 3, 4 e 5 de junho com precipitação acumulada de 91,7 mm. O segundo período compreende os dias 17, 18 e 19 de junho, com precipitação acumulada de 210,5 mm. O terceiro período compreende os dias 27 e 28 de junho, com precipitação acumulada de 135 mm. O total acumulado do mês foi de 610,1 mm.

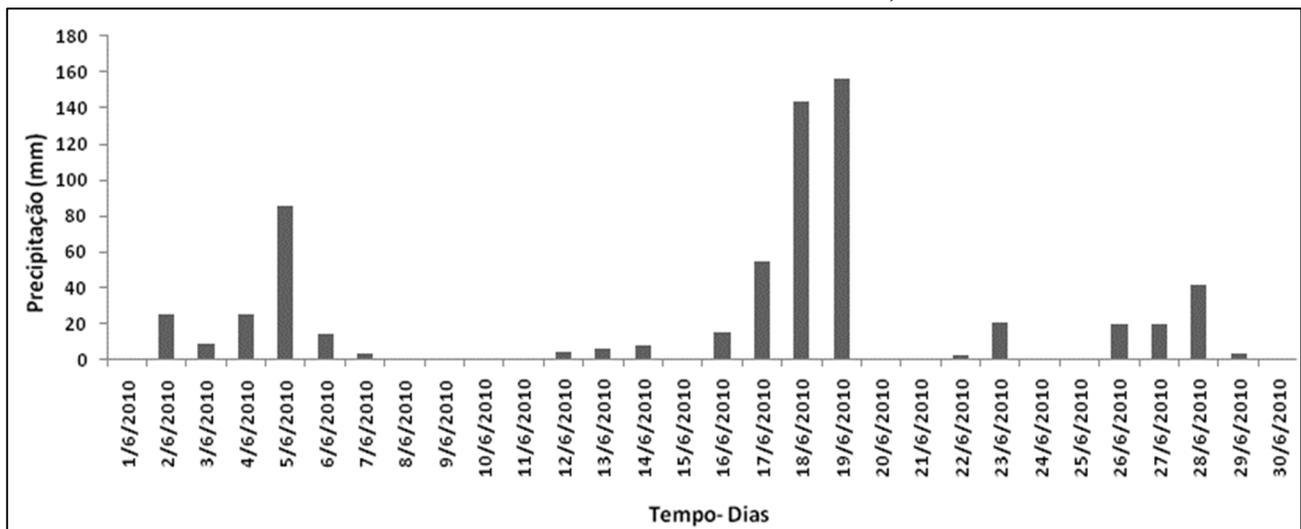


Figura 2. Precipitação pluviométrica acumulada diária para a cidade de Palmares-PE para o mês de junho de 2010. Fonte: dados do INMET.

Na Figura 2 é mostrada a distribuição de precipitação para o mês de junho no município de Palmares. Observa-se uma distribuição temporal semelhante à do município de Barreiros (Figura 3), variando apenas no número de dias com precipitação e sem precipitação. Ocorreram dois períodos de precipitação intensa ao longo do mês. O primeiro período compreende os dias 2, 3, 4 e 5 de junho, com precipitação acumulada de 144,3 mm. O segundo período compreende os dias 17, 18 e 19 de junho, com precipitação acumulada de 354,5 mm. O total acumulado do mês foi de 659,3 mm. A normal climatológica da precipitação para o mês de junho para o município foi de 247 mm, portanto a precipitação incidente foi de 166,8 % acima do normal.

Através da análise das imagens de satélite pode-se observar os sistemas atmosféricos durante os dias 17, 18 e 19 de junho, quando ocorreu a formação de um complexo convectivo, o qual foi responsável pelas chuvas intensas sobre o estado de Pernambuco.

Sobre a região norte da América do Sul existe uma grande formação de nebulosidade influenciada pelos pulsos da zona de convergência intertropical (ZCIT) que está no hemisfério norte (HN). Sobre o centro do Brasil predomina uma massa de ar seco e quente, característica do inverno do hemisfério sul (HS), a qual atua como uma barreira, impedindo que os sistemas frontais avancem sobre o Brasil, deixando estáveis as condições de tempo sobre o centro-oeste e centro-sul do país.

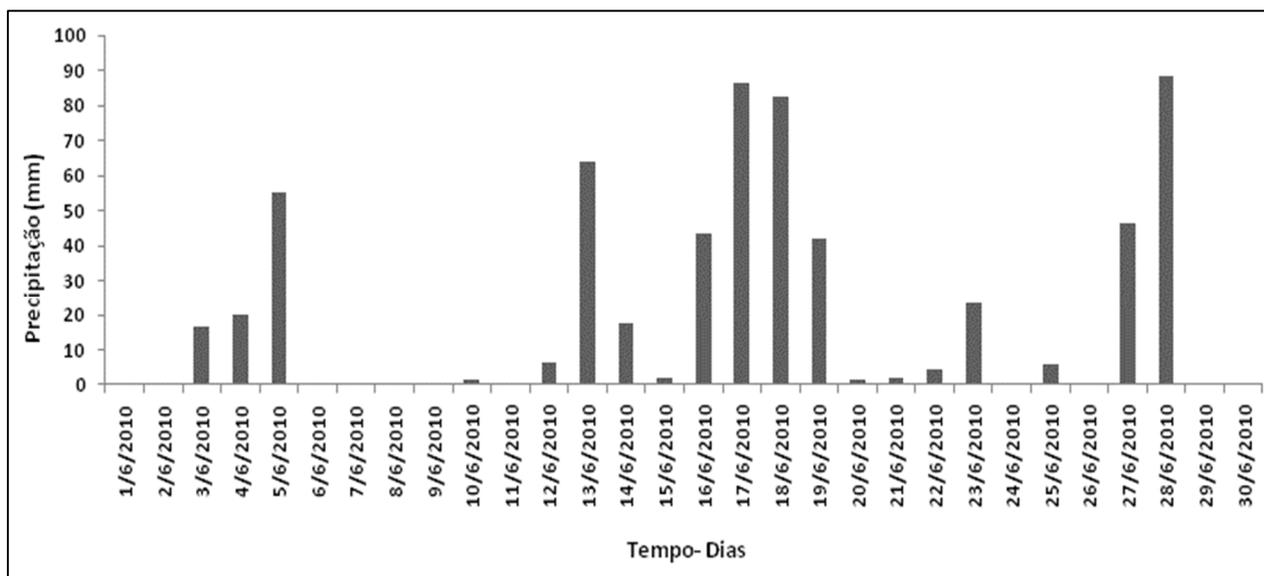


Figura 3. Precipitação pluviométrica acumulada diária para a cidade de Barreiros-PE para o mês de junho de 2010. Fonte: dados do INMET.

No NEB, sobre o leste do estado de Pernambuco, observar-se a evolução de um complexo convectivo isolado que se inicia no dia 17 e perdura por mais de 24 horas se dissipando no final da tarde do dia 18 caracterizando-se pelo tempo de duração como um fenômeno de escala sinótica.

Para fazer uma relação de consistência dos dados de reanálise do NCEP/NCAR foi gerado um gráfico de longitude X tempo da velocidade vertical (ω), com uma grade de latitude de 6°S a 9°S e longitude de 45°W a 0°, cobrindo a área entre a costa oeste do continente africano e o estado de Pernambuco, no qual os valores negativos indicam movimentos ascendentes (convecção) e positivos indicando ausência de convecção. Comparando com os períodos de precipitação registrados pelas estações meteorológicas do INMET e as imagens de satélite, percebe-se a coerência dos dados na descrição do evento estudado, gerando confiança e credibilidade para o trabalho com os dados de reanálises. Usando os dados do NCEP/NCAR, percebe-se a evolução espacial e temporal do movimento vertical da costa oeste do continente africano até o nordeste brasileiro, especificamente sobre Pernambuco (Figura 4). Observa-se que a predominância sobre a costa da África é de valores positivos de Ω indicando ausência de movimentos ascendentes, mostrando que a influência das perturbações atmosféricas vindas de leste derivam de outra

região da costa do continente africano que interagindo com a dinâmica da atmosfera do NEB contribuiu de forma significativa para a formação dos três complexos convectivos que se formaram sobre Pernambuco nos dias de maior precipitação (03 a 05, 13 a 19, 26 a 29/jun 2010). Os movimentos ascendentes estão bem intensos indicando que ocorreu precipitação na região nesse período; nos demais dias não foram identificados movimentos ascendentes significativos, fator consistente com os gráficos gerados com os dados observados pela estação do INMET.

O Próximo campo a ser observado será a anomalia da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) do Oceano Atlântico equatorial e Oceano Pacífico equatorial que através do comportamento das suas características modulará as circulações atmosféricas sobre a região tropical da América do sul.

A Figura 5 mostra a anomalia da TSM nas bacias do Oceano Pacífico e Oceano Atlântico equatorial para o mês de Junho de 2010; as condições oceânicas no Pacífico Equatorial mostram uma área significativa de anomalia negativa de -0.9°C de TSM, indicando a formação do fenômeno La Niña, o qual favorece os processos convectivos sobre o NEB. Na bacia do atlântico equatorial, a anomalia positiva ainda está bastante intensa, aproximadamente a 1.5°C . O gradiente de temperatura entre os dois oceanos provoca alterações na circulação zonal, célula de

Walker, que pode vir a favorecer ou inibir a convecção na região tropical. No entanto como a anomalia positiva sobre o Atlântico equatorial está mais intensa que a anomalia negativa do oceano Pacífico equatorial, a precipitação no norte e nordeste está sendo

modulada pelas circulações geradas da anomalia positiva sobre a bacia do Atlântico equatorial, o qual está inibindo a formação nuvens sobre o continente com esse padrão de TSM.

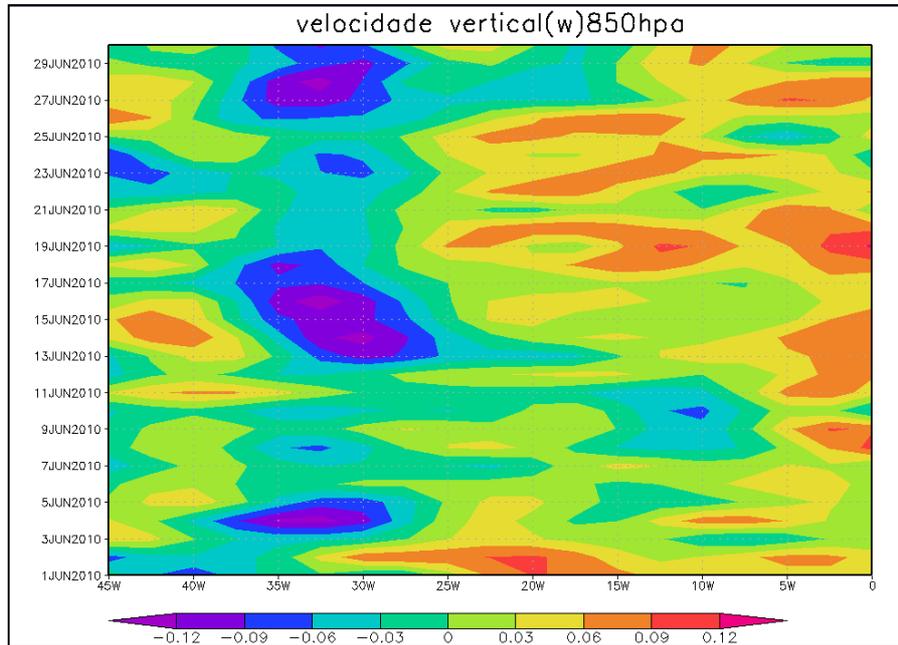


Figura 4. Diagrama de longitude X tempo da velocidade vertical sobre Pernambuco no mês de junho, em 2010.

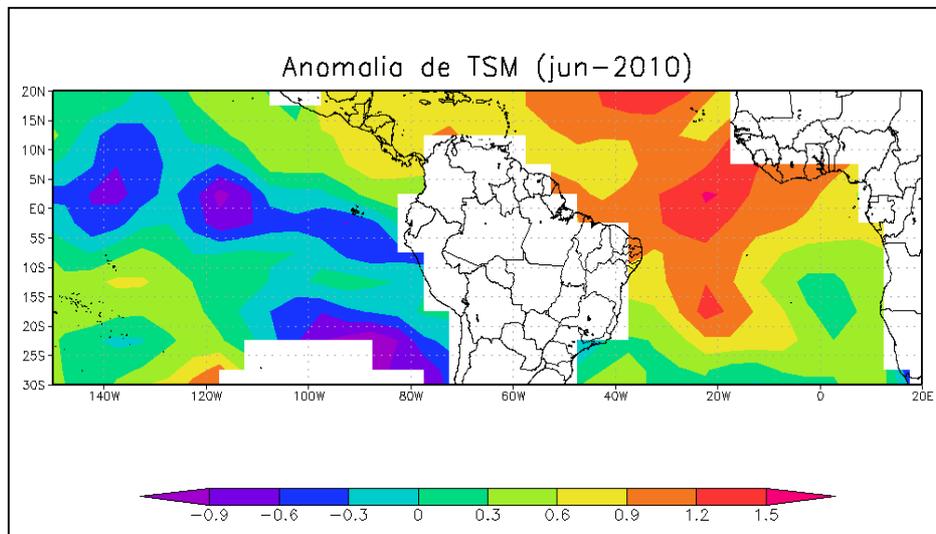


Figura 5. Anomalia de TSM em junho de 2010.

A Figura 6 apresenta as linhas de corrente, no nível de 850 hPa, nos dias 17, 18, e 19 de junho, período em que a precipitação acumulada foi mais significativa.

No dia 17 de junho percebe-se a confluência dos ventos sobre o atlântico equatorial no escoamento de leste que se estende até o continente passando pelo nordeste brasileiro, o que localmente deixa as condições atmosféricas instáveis sobre o NEB,

sobre o centro sul a uma difluência sobre o Atlântico se intensificando à medida que se aproxima do continente e uma crista está configurada, indicando estabilidade nessa área.

Na circulação observada no dia 18 de junho percebe-se a intensificação da alta pressão que está sobre o centro sul do país, confirmando as condições estáveis observadas no dia 17 de junho, e o aumento na intensidade da confluência do vento sobre o norte da Bahia

e Pernambuco intensificando a instabilidade atmosférica sobre o NEB.

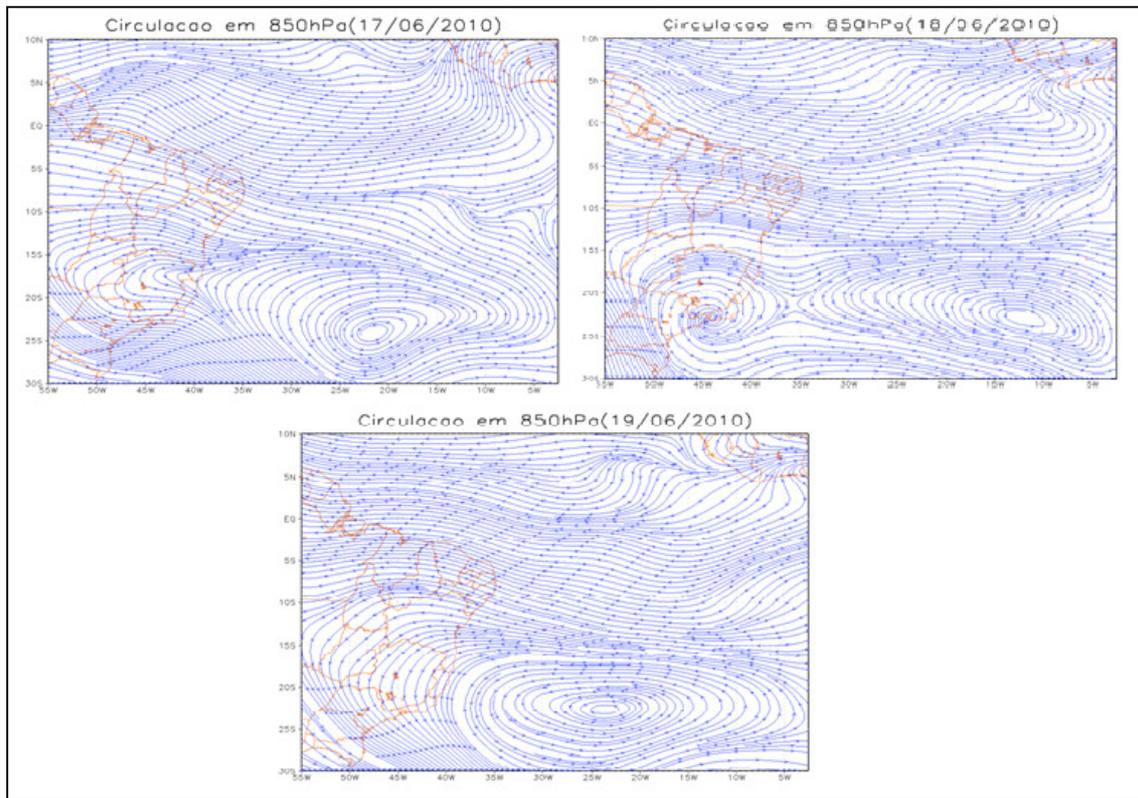


Figura 6. Linhas de corrente sobre o nordeste brasileiro no nível de 850 hPa.

O Padrão médio da circulação observado no dia 19 de junho já não apresenta o sistema de alta pressão que estava posicionada sobre o sudeste brasileiro no dia 18 de junho. Sobre o NEB, a confluência dos ventos vindos de sudeste torna-se mais intensa, elevando a instabilidade atmosférica que foi estabelecida desde o dia 17 de junho, favorecendo as condições para a formação de células convectivas e possível precipitação sobre a região nordeste.

Objetivando uma melhor identificação de áreas favoráveis, a formação de células convectivas e precipitação no NEB foram geradas figuras de divergência e vorticidade. Através do campo de vorticidade, no nível de 850 hPa (Figura 7), podemos identificar intensificação ou desintensificação dos sistemas atuantes sobre o nordeste do Brasil,

em especial sobre o estado de Pernambuco. No dia 17 percebe-se a que a vorticidade positiva está dominando quase todo o Brasil, com exceção apenas do extremo norte do NEB e a região nordeste do estado do Pará. Sobre o estado de Pernambuco, a vorticidade é predominantemente positiva e próxima da neutralidade no nordeste do estado, o que mostra uma tendência à instabilidade nessa região. A vorticidade positiva no dia 18 mostra uma alteração, diminuindo de intensidade sobre o norte e sudeste do país; em Pernambuco a vorticidade negativa começa a se intensificar no litoral do estado, caracterizando a instabilidade gerada pela confluência dos ventos sobre a região (Figura 8) e dando condições para a intensificação da convecção.

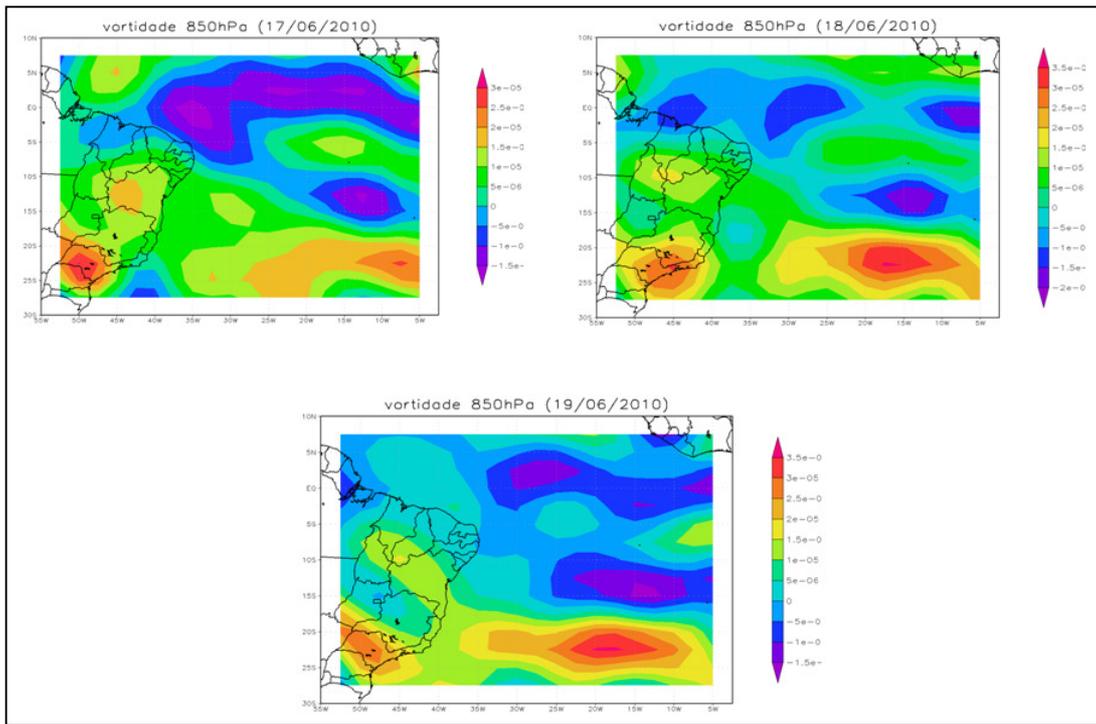


Figura 7. Vorticidade no nível de 850 hPa para os dias 17, 18, e 19/jun/2010.

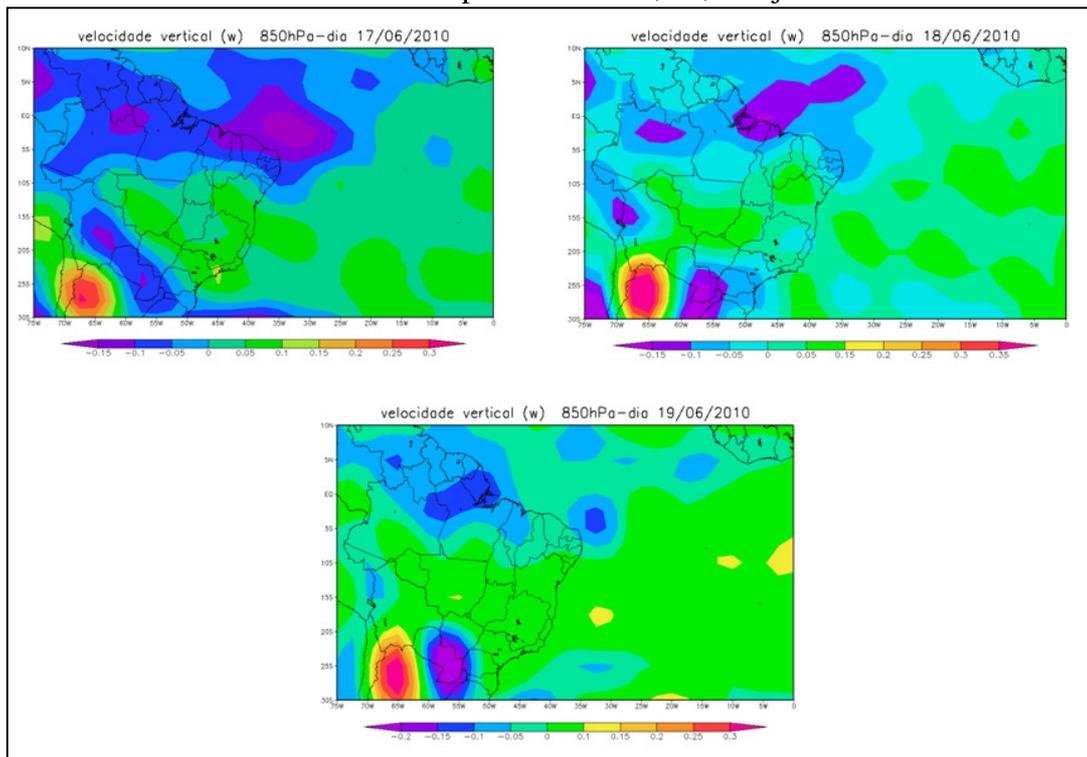


Figura 8. Divergência em 300 hPa nos dias 17, 18, e 19/jun/2010.

No dia 19, a instabilidade atmosférica se intensifica e a tendência negativa da vorticidade aumenta, se estendendo do estado de Alagoas até o norte do Brasil, assim, a existência de algum mecanismo atmosférico atuando sobre o NEB se torna mais evidente, quando os dois parâmetros observados mostram condições favoráveis para a

intensificação da instabilidade atmosférica sobre o NEB.

A Figura 9 apresenta o campo de divergência em altos níveis, através do qual é possível analisar o comportamento da circulação atmosférica sobre a área de estudo. O campo de divergência em 300 hPa para o dia 17 de junho, onde tem-se a predominância da divergência negativa, indica movimento

descendente em baixos níveis sobre a maior parte do Oceano Atlântico e nordeste brasileiro, do norte de Santa Catarina até o sudoeste da Bahia predomina divergência positiva, indicando movimentos convectivos em baixos níveis. No dia 18 observa-se que no sudeste do Brasil, a divergência positiva permanece bem acentuada, indicando a presença de um sistema frontal sobre a região.

Este sistema está bastante enfraquecido, como podemos constatar através das imagens de satélite. A região norte e grande parte do nordeste apresentam o mesmo padrão do dia 17 de junho, com predominância de divergência negativa, com exceção dos estados localizados no leste do NEB, onde uma faixa de divergência positiva é observada, o que indica fluxo ascendente em baixos níveis.

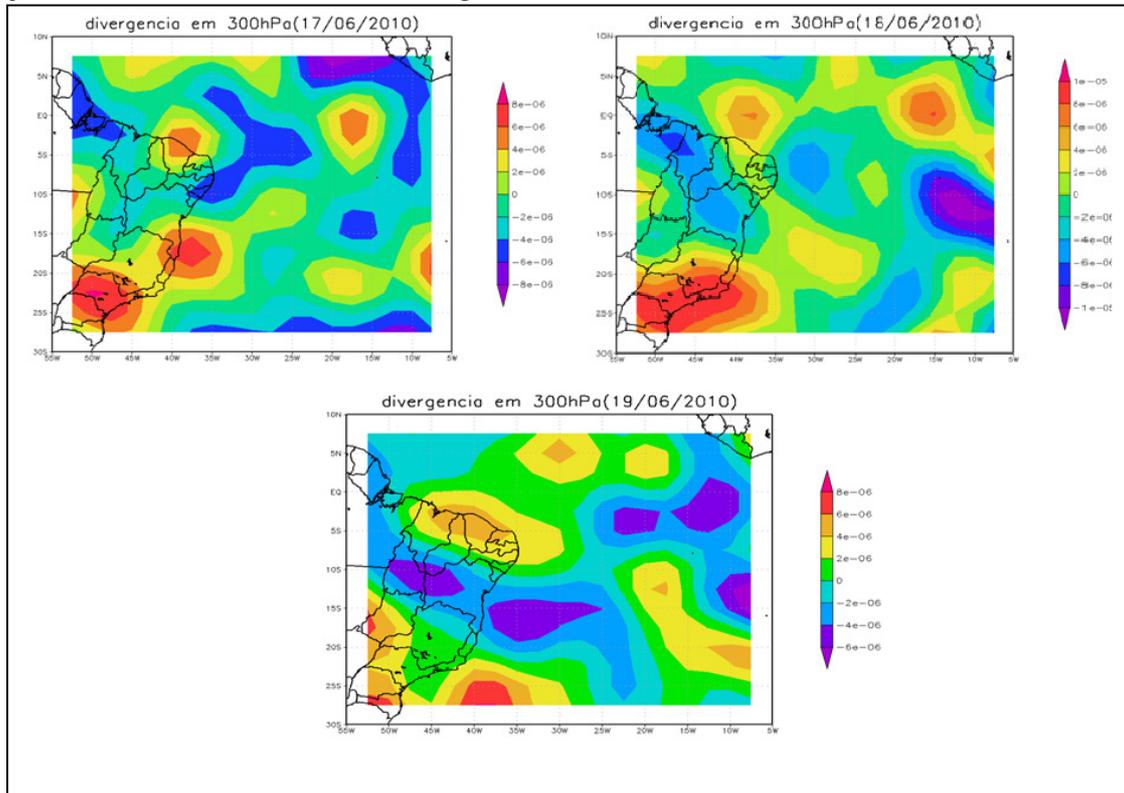


Figura 9. Divergência em 300 hPa nos dias 17, 18, e 19/jun/2010.

No dia 19 de junho, o campo de divergência apresenta-se bem diferente do dia 18 de junho, onde havia uma faixa de divergência positiva sobre o leste da região nordeste; sobre o sudeste do Brasil a divergência negativa atuava com menor intensidade. A faixa de divergência sobre o nordeste se intensifica e passa a dominar toda a porção norte e nordeste do NEB, indicando o fortalecimento dos movimentos convectivos em baixos níveis, principalmente na área que vai do estado do Maranhão até o oeste do estado do Rio Grande do Norte. No litoral de Pernambuco, a divergência positiva também se intensificou, indicando que toda a região norte e nordeste do NEB está sob condições atmosféricas instáveis em baixos níveis. Observa-se uma faixa de divergência negativa que segue do estado do Amapá até o litoral do estado da Bahia, tendo sobre o centro do estado

de Tocantins, extremo sul do Maranhão e Piauí e oeste da Bahia, uma área com valores mais intensos de divergência negativa, indicando que nessa região compreendida entre esses quatro estados está com condições bem estáveis em baixos níveis.

Na região sul, o sistema frontal estacionário que estava em processo de frontólise se desconfigurou sobre a região sudeste do Brasil, diminuindo os processos convectivos em baixos níveis sobre o leste do estado de São Paulo, sul de Minas Gerais e sobre o estado do Rio de Janeiro, e o sistema continua perdendo força mesmo estando sobre o oceano. Foram gerados mapas de velocidade vertical (ω) para o nível de 850 hPa (Figura 8), objetivando confrontar o padrão de divergência observado em altos níveis.

No dia 17 de junho, observa-se que na região norte e nordeste do Brasil predominam

o ω negativo, que indicam movimentos ascendentes (convecção), correspondendo a uma divergência positiva em altos níveis (Figura 10), mostrando que a presença de nebulosidade com precipitação ocorreu sobre essa região, principalmente sobre a faixa mais ao norte da região nordeste. No restante do Brasil predominam valores positivos de ω ,

indicando ausência de movimentos ascendentes, portanto estabilidade atmosférica. Percebe-se sobre os países vizinhos da região sul do Brasil que um sistema frontal bem intenso está configurado e gerando uma grande área de instabilidade sobre o oeste da região sul do Brasil.

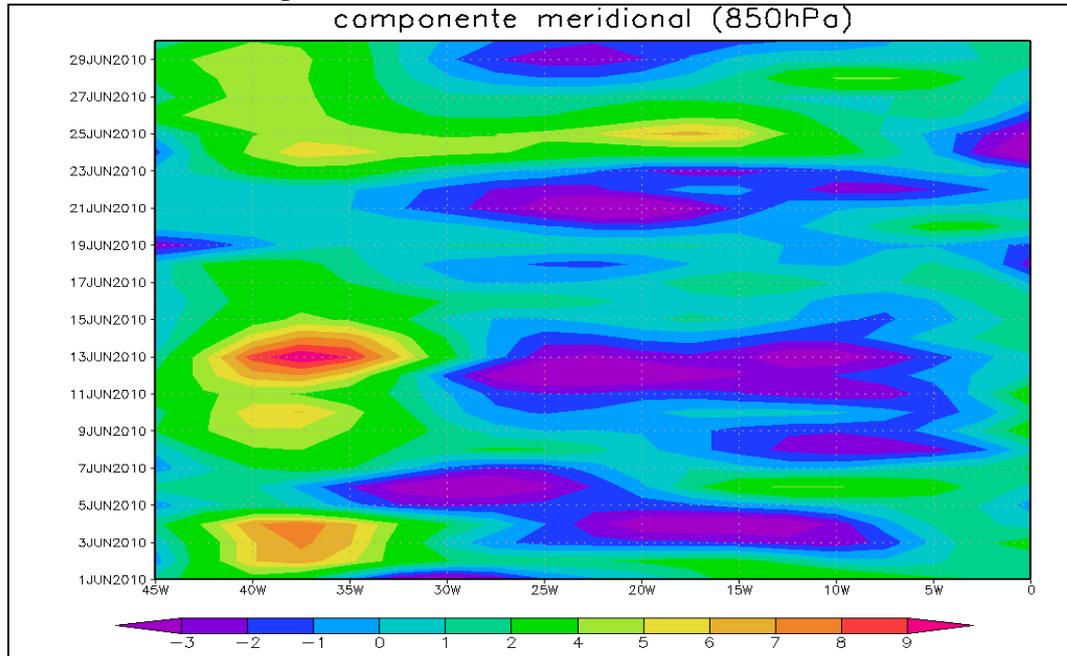


Figura 10. Diagrama de longitude X tempo sobre o nordeste brasileiro.

No dia 18 de junho tem-se a desintensificação dos movimentos ascendentes sobre o norte e nordeste do país, no entanto temos convecções profundas sobre o extremo norte do Pará. O leste do NEB ainda está sob o domínio de ω negativo, mostrando que a área de instabilidade sobre o NEB ainda está configurada. Comparando com a divergência em altos níveis do dia 18 (Figura 8), temos a confirmação desse comportamento, onde a divergência positiva também se desintensificou, assim como a dos movimentos convectivos em baixos níveis, caracterizando o enfraquecimento do sistema atuante. No restante do país, o valor de ω se mantém positivo, sem movimentos ascendentes, com exceção do sul do Mato Grosso do Sul e oeste da região Sul do Brasil, onde a presença do sistema frontal, enfraquecido, ainda favorece a instabilidade. Sobre o oeste da região sul do Brasil o sistema frontal que está sobre o Paraguai e Argentina deslocou-se um pouco para o sul do Brasil e sua área de instabilidade se intensificou, dando condições para a

formação de um complexo convectivo de mesoescala (CCM) sobre a região sul do Brasil.

No dia 19 observa-se a inversão do padrão de ω sobre o nordeste do Brasil dos últimos dois dias, quando o ω passou a se caracterizar de forma neutra, mostrando que a área de instabilidade presente sobre o NEB desintensificou-se e as condições atmosféricas tornaram-se mais estáveis, mostrando o mesmo comportamento de neutralidade para quase todo o território brasileiro, com exceção da parte norte da região norte e o estado do Maranhão, que ainda apresentam áreas com instabilidade atmosférica e valores de ω predominante negativos. Na área oeste da região sul do Brasil, o sistema frontal se manteve estacionário, passando a perder força e diminuindo gradativamente sua intensidade.

Para a confirmação e descrição do sistema atmosférico que modulou a precipitação no período estudado, foram gerados gráficos de tempo *versus* longitude, conhecidos como Hovmoller, através dos quais

é possível identificar o surgimento e evolução espacial e temporal da perturbação atmosférica através da inversão de sentido da componente meridional do vento (v).

A Figura 10 mostra uma projeção espacial de longitude de 45W a 0E e latitude de 1S a 20S no nível de 850 hPa, englobando toda a região nordeste do Brasil, buscando identificar a propagação de perturbações na corrente básica de leste. Percebe na Figura 11 a evolução de uma perturbação vinda do Oceano Atlântico alcançado a costa do Brasil nos dias 5 a 7/jun e nos dias estudados, 18 e 19/jun, caracterizando que houve influência de perturbações atmosféricas na formação do complexo convectivo que se formou sobre o estado de Pernambuco.

Na Figura 11 tem-se a representação do gráfico de longitude *versus* tempo, com projeção somente sobre Pernambuco, nos mostrando como o distúrbio vindo de leste se

caracterizou sobre o estado. Os diagramas de Hovmoller da componente meridional do vento nos níveis de 850, 700 e 500 hPa foram utilizados para a identificação dos distúrbios de leste e também para a caracterização dos seus parâmetros básicos, onde as oscilações apresentaram-se bastante intensas durante o período investigado, principalmente no nível de 500 hPa. Também se observou que as amplitudes dos distúrbios diminuíram no litoral do estado de Pernambuco. As perturbações atmosféricas que são caracterizadas com a mudança no sentido normal da componente meridional do vento que no caso normal seria positiva na direção norte, passando a ser negativa na direção sul com a passagem da perturbação de leste, observadas no nível de 850 hPa sobre o Oceano Atlântico, onde se desintensificam antes de chegar ao litoral brasileiro.

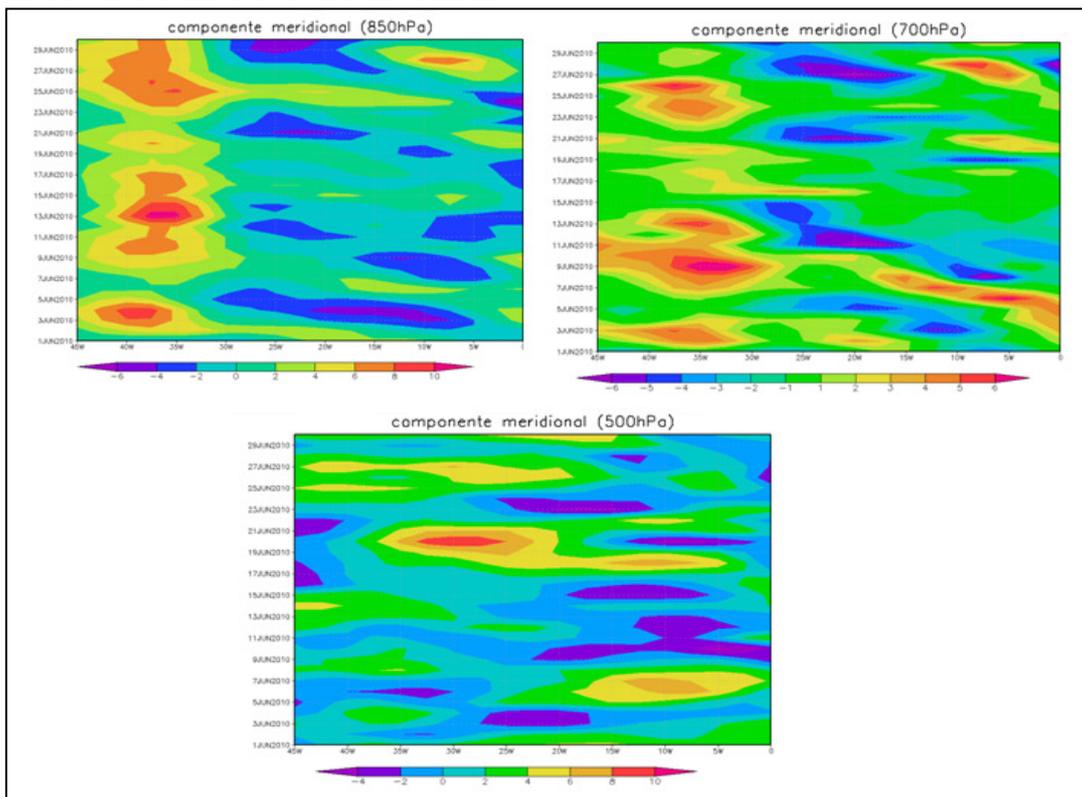


Figura 11. Diagrama de Hovmoller da componente meridional do vento sobre o estado de Pernambuco.

A convecção sobre o continente, no nível de 700 hPa, onde as perturbações são menos intensas e sua variação espacial é bem maior, sua intensidade é bem menor, não causando resultados significativos em relação a influência no complexo convectivo observado na Figura 6. No nível de 500 hPa, a perturbação

vinda de leste foi mais intensa que nos outros níveis; percebe-se a penetração do distúrbio de leste nos dias 1 a 7, 10 e 11, 16 a 23, e o último distúrbio de leste ocorreu na costa de Pernambuco no dia 29 de junho, mostrando que a sua área de propagação mais intensa se deu neste nível, explicando a formação de

nuvens tão profundas sobre o estado e a intensidade das precipitações.

A precipitação causada por esse sistema foi 166,8% maior que a normal climatológica de precipitação para a cidade de Palmares, que é de 247 mm para o mês de junho, e os totais registrados nas duas cidades foi de 659,3 mm em Palmares e 610,1 mm na cidade de Barreiros no mês de junho de 2010.

Para identificar a possível atuação de outros sistemas meteorológicos sobre o NEB, além das perturbações vindas de leste, foram gerados mapas de umidade relativa, da superfície até 850 hPa, sobre o Brasil (Figura

12). Observa-se que no dia 17 de junho houve grande disponibilidade de umidade sobre o litoral do nordeste e uma faixa que segue do nordeste do Pará até o noroeste do Amazonas. Sobre o centro sul do país observa-se a predominância de uma massa de ar seco que se estende desde o Mato Grosso até o Paraná, esse tipo de fenômeno é muito comum no período de inverno sobre o Brasil e comporta-se como uma barreira para os sistemas frontais que perdem forças quando encontram uma massa com características tão diferentes e se desintensificam sobre o continente.

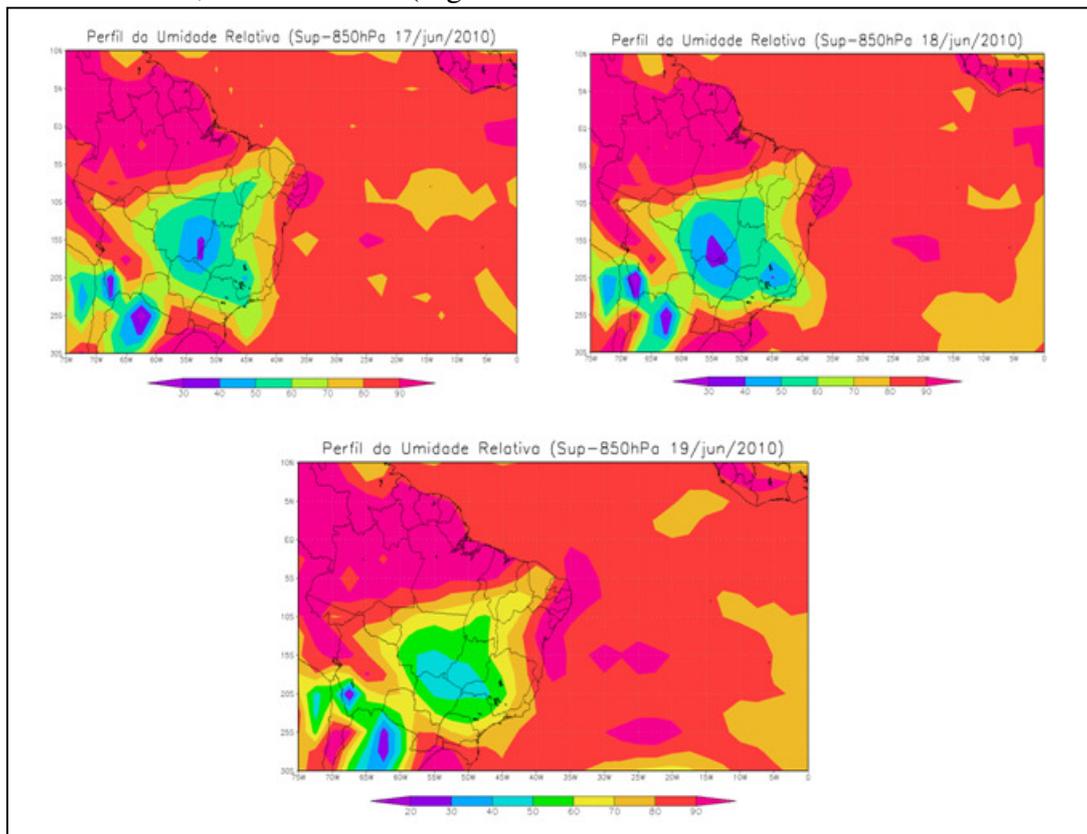


Figura 12. Concentração da Umidade relativa sobre o Brasil.

No dia 18 de junho, as configurações da umidade relativa sobre o Brasil permanecem com um comportamento semelhante ao do dia 17, com uma suave diminuição do teor de umidade na divisa do estado de Mato Grosso com o estado de Mato Grosso do Sul.

No dia 19 observa-se o aumento da concentração de umidade sobre a região central do país devido ao sistema frontal estacionário sobre essa área, precipitando e umidificando o ambiente sobre sua influência, enfraquecendo, assim, a massa de ar seco.

Conclusões

A circulação atmosférica associada ao escoamento criado pela alta semipermanente do Atlântico sul, que se intensifica no período de inverno, favoreceu o transporte de umidade do oceano para o litoral de Pernambuco, aumentando a concentração de vapor d'água próximo à superfície; associado a isso, o sistema de brisas intensificou os processos convectivos próximo ao litoral do NEB.

As perturbações barotrópicas, associadas com o escoamento de leste, foram detectadas nos níveis de 700 hPa e, principalmente, no nível de 500 hPa (de 8 a 10 km de altitude), onde os distúrbios vindos de leste

intensificaram a convecção e interagiram para a formação de um complexo convectivo sobre o estado de Pernambuco.

Devido à interação das perturbações de leste com o sistema de brisas, o complexo convectivo que se formou sobre o NEB permaneceu por mais de um dia por estar sendo alimentado pela umidade transportada do oceano, passando de um fenômeno de mesoescala para um fenômeno de escala sinótica, por apresentar duração superior a um dia.

Os campos de velocidade vertical, divergência e vortacidade mostraram consistência física com as condições atmosféricas durante o período de estudo, caracterizando as áreas de instabilidade próximas às superfícies associadas com a divergência em altos níveis, e a constatação da sua intensificação observada no gráfico de vortacidade, indicado por valores negativos, que estão relacionados com áreas de baixa pressão, aumentado, assim, o potencial convectivo sobre o NEB.

O posicionamento do complexo convectivo foi determinante para o grande volume de chuva e, conseqüentemente, para os desastres que ocorreram nos municípios de Palmares e Barreiros, devido a localização dos mesmos estar próxima aos rios que cortam a região. Em todo o estado, a intensidade das precipitações deixaram, como consequência, 26.966 mil desabrigados, 55.643 mil desalojados e 18 mortos, segundo a defesa civil do estado de Pernambuco.

Agradecimentos

Agradeço a todos aqueles que me ajudaram de alguma forma para a conclusão deste trabalho, principalmente ao meu orientador, professor Danilo Costa, aos professores Everaldo Souza e Isabel Vitorino.

Referências

Cohen, J.C.P.; Silva Dias, M.A.F.; Nobre, C.A. (1989). Aspectos climatológicos das linhas de instabilidade na Amazônia. *Climanálise*, v. 4, n. 11, p. 34-40.

Hastenrath, S. (1985). *Climate and circulation of the tropics*. [S.l.] D. Reidel Pub. Co., p. 455.

Molion, L.C.B.; Bernardo, S.O. (2000). Dinâmica das chuvas no nordeste brasileiro. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, v. 11, Fortaleza. p. 561-572.

Nobre, C.A.; Molion, L.C.B. (1988). The climatology of droughts and drought prediction. In: Parry, M.P.; Carter, T. R.; Konijn, N.T. (eds), *Impacts of climatic variations on agriculture*, D. Reidel Pub. Co, 764p.

Oliveira, A.S. de. (1986). Interações entre sistemas frontais na América do Sul e a convecção da Amazônia. INPE-4008-TDL/239, INPE, São José dos Campos, 115p.

Silvestre, E. (1996). Distúrbios nos ventos de leste no Atlântico tropical, São José dos Campos, INPE. Site: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/cliesp10a/18.html>.

Yamazaki, Y. (1975). Tropical cloudiness over South Atlantic Ocean. *J. Meteor. Soc. Japan*, v. 55, p. 204-207.

Wallace, D.C. (1970). A new manifestation of Leber's disease and a new explanation for the agency responsible for its unusual pattern of inheritance. *Brain*, v. 93, n. 1, p. 121-132.