
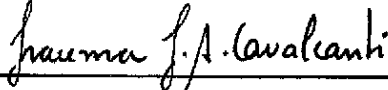



1. Publicação nº <i>INPE-2573-PRE/221</i>	2. Versão	3. Data <i>Nov., 1982</i>	5. Distribuição <input type="checkbox"/> Interna <input checked="" type="checkbox"/> Externa <input type="checkbox"/> Restrita
4. Origem <i>DME/DPM</i>	Programa <i>MET/BÁSICA</i>		
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) <i>BRISA MARÍTIMA LINHA DE INSTABILIDADE SISTEMAS CONVECTIVOS</i>			
7. C.D.U.: <i>551.589(8-17/-18)</i>			
8. Título <i>INFLUÊNCIAS DA CIRCULAÇÃO DE ESCALA SINÓTICA NA CIRCULAÇÃO DA BRISA MARÍTIMA NA COSTA N-NE DA AMÉRICA DO SUL.</i>		<i>INPE-2573-PRE/221</i>	10. Páginas: <i>14</i>
			11. Última página: <i>13</i>
			12. Revisada por
9. Autoria <i>Iracema F.A. Cavalcanti Vernon E. Kousky</i>			 <i>Marlene Elias</i>
			13. Autorizada por
Assinatura responsável 			 <i>Nelson de Jesus Parada</i> Diretor
14. Resumo/Notas <i>Na costa norte-nordeste da América do Sul observa-se, muitas vezes, uma linha de cumulonimbi associada à brisa marítima, através de imagens obtidas por satélites. Investigam-se as influências dos sistemas de grande escala nessa circulação local, as quais promovem o desenvolvimento de intensa convecção na parte ascendente de tal circulação. Verifica-se, pela análise climatológica da ocorrência da linha convectiva associada à brisa marítima, uma mudança em sua localização na costa no mesmo sentido da variação sazonal da ZCIT. Pela análise de divergência média mensal, nota-se que a ZCIT apresenta maior organização e é mais intensa nos meses de inverno (Hemisfério Sul), período em que a frequência de desenvolvimento da linha convectiva é maior. Em certos casos, verifica-se a existência de convergência em baixos níveis associada a zonas frontais e, possivelmente, também a impulsos nos alísios. Conclui-se que a presença de sistemas sinóticos, que favorecem movimentos ascendentes, geralmente provocam o aumento da atividade convectiva devido aos sistemas de ventos locais.</i>			
15. Observações <i>Trabalho apresentado no II Congresso Brasileiro de Meteorologia, em Pelotas, RS, 1982.</i>			

INFLUENCES OF THE SYNOPTIC SCALE CIRCULATION ON THE SEA BREEZE CIRCULATION
ALONG THE NORTHERN AND NORTH EASTERN COAST OF SOUTH AMERICA

IRACEMA F. A. CAVALCANTI
VERNON E. KOUSKY

INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE
CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO - CNPq
SÃO JOSÉ DOS CAMPOS - SP

ABSTRACT

Influences of large scale systems on sea breeze are investigated. Convection associated with the sea breeze is verified by observing the formation of a line of cumulonimbi along the north-northeast coast of South America after 1800 GMT in satellite imagery. Climatological analysis of the occurrence of the convective line associated with the sea breeze shows a variation in its location along the coast in the same direction as the seasonal variation of the ITCZ. The mean monthly analysis of divergence shows that the ITCZ is better organized and more intense in winter (Southern Hemisphere), when the frequency of cumulonimbus development along the coast is high. At times, the convective activity associated with the sea breeze appears to be enhanced by the presence of low level convergence associated with the surges in trades and with the low latitude penetration of cold fronts. The presence of synoptic system, favoring rising air motion, generally enhances the convective activity due to local wind system.

INFLUÊNCIAS DA CIRCULAÇÃO DE ESCALA SINÓTICA NA CIRCULAÇÃO DA
BRISA MARÍTIMA NA COSTA N-NE DA AMÉRICA DO SUL

IRACEMA F. A. CAVALCANTI
VERNON E. KOUSKY

INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE
CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO - CNPq
SÃO JOSÉ DOS CAMPOS - SP

RESUMO

Na costa norte-nordeste da América do Sul observa-se, muitas vezes, uma linha de cumulonimbi associada à brisa marítima, através de imagens obtidas por satélites. Investigam-se as influências dos sistemas de grande escala nessa circulação local, as quais promovem o desenvolvimento de intensa convecção na parte ascendente de tal circulação. Verifica-se, pela análise climatológica da ocorrência da linha convectiva associada à brisa marítima, uma mudança em sua localização na costa no mesmo sentido da variação sazonal da ZCIT. Pela análise de divergência média mensal, nota-se que a ZCIT apresenta maior organização e é mais intensa nos meses de inverno (Hemisfério Sul), período em que a frequência de desenvolvimento da linha convectiva é maior. Em certos casos, verifica-se a existência de convergência em baixos níveis associada a zonas frontais e, possivelmente, também a impulsos nos alísios. Conclui-se que a presença de sistemas sinóticos, que favorecem movimentos ascendentes, geralmente provocam o aumento da atividade convectiva devido aos sistemas de ventos locais.

1. INTRODUÇÃO

As regiões costeiras do norte-nordeste da América do Sul sofrem influências da circulação local típica das áreas litorâneas. Essa circulação, da qual fazem parte as brisas marítima e terrestre, ocorre em resposta ao gradiente horizontal de pressão que, por sua vez, é provocado pelo contraste de temperatura diário entre continente e oceano. A brisa do mar forma-se quando há ascensão de ar sobre a superfície terrestre, aquecida durante o dia mais intensamente do que o oceano. Com a elevação das superfícies isobáricas sobre o continente, surge um gradiente horizontal de pressão, que induz um escoamento no sentido oceano-continente. À noite, a circulação inverte-se, dando origem à brisa terrestre. Esse processo é discutido em vários textos, como Chandler (1972) e Hawkins (1977).

A brisa marítima tem importante atuação nessas regiões tropicais, pois ameniza as altas temperaturas diárias e leva umidade para o interior do continente, influenciando na precipitação e no clima das áreas atingidas. Um dos principais efeitos da circulação local, induzida termicamente nas latitudes tropicais e subtropicais, é a organização de convecção em cumulonimbi, os quais contribuem para a energética da circulação de grande escala, com a liberação de calor latente em altos níveis (Flohn, 1970).

Na costa norte-nordeste do Brasil, verifica-se o desenvolvimento de uma linha de cumulonimbi ao longo da brisa marítima. A atividade a ela associada é res

ponsável por uma quantidade apreciável de precipitação, podendo se propagar como uma linha de instabilidade em direção ao interior do continente (Kousky, 1980). Essa propagação foi abordada teoricamente por Sun e Orlanski (1981).

Neste estudo são investigadas as variações sazonais relacionadas com o desenvolvimento da linha convectiva na costa N-NE da América do Sul e as características sinóticas presentes durante os períodos de ocorrência, com o fim de verificar as influências da circulação de escala sinótica na circulação da brisa marítima.

2. DADOS E MÉTODOS DE ANÁLISE

Foram utilizadas imagens transmitidas por satélites geoestacionários referentes ao período de 1975 a 1980 do acervo do INPE (em forma de microfilme (1975 a 1978) e papel (1979 e 1980), e dados de vento para 1979 e 1980 fornecidos pelo National Center Atmospheric Research (NCAR) e oriundos do National Meteorological Center (U.S.A.) disponíveis em fita magnética no Departamento de Meteorologia do INPE. Os dados de vento compreendem as componentes u e v, para sete níveis da atmosfera (1000, 850, 700, 500, 300, 250, 200 mb), extraídas de análises realizadas a partir do vento observado. São referentes a pontos de grade distanciados entre si de aproximadamente 500 km.

Realizou-se uma análise climatológica através das imagens e uma análise diagnóstica com os dados de vento.

Pelas imagens foram registradas as características da linha de cumulonimbus na costa norte-nordeste da América do Sul e as da atividade convectiva de grande escala nos dias do desenvolvimento convectivo, as quais fornecem informações sobre os sistemas sinóticos atuantes.

O estudo diagnóstico compreendeu a análise do escoamento da divergência e do movimento vertical. O movimento vertical foi calculado pelo método cinemático e posteriormente foi feita, para cada ponto de grade, uma integração dos valores calculados, nos sete níveis, ($\bar{\omega}_N$).

Com o objetivo de melhor caracterizar a divergência diária, calculou-se o desvio deste campo para os dias de ocorrência de atividade convectiva na costa N-NE em relação à média mensal de divergência.

3. RESULTADOS

3.1 - DISTRIBUIÇÃO SAZONAL

Verificou-se que o desenvolvimento de convecção associado à brisa marítima apresenta variação sazonal na localização ao longo da costa N-NE da América do Sul, bem como na frequência de aparecimento. Durante os meses de verão e outono (HS), a linha de atividade convectiva desenvolve-se quase sempre a leste de 55°W e ao sul de 6°N , estendendo-se até 40°W e 3°S , enquanto nos períodos de inverno e primavera (HS) o desenvolvimento ocorre a oeste de 50°W e ao norte de 0° , até 60°W e 8°N . A Figura 1 ilustra a localização da linha convectiva para dias específicos dos meses de fevereiro, abril, agosto e outubro. A frequência de aparecimento da atividade convectiva é maior no inverno (HS) e menor na primavera e verão (HS), como pode ser observado no diagrama da Figura 2 para o período de 1975 a 1980.

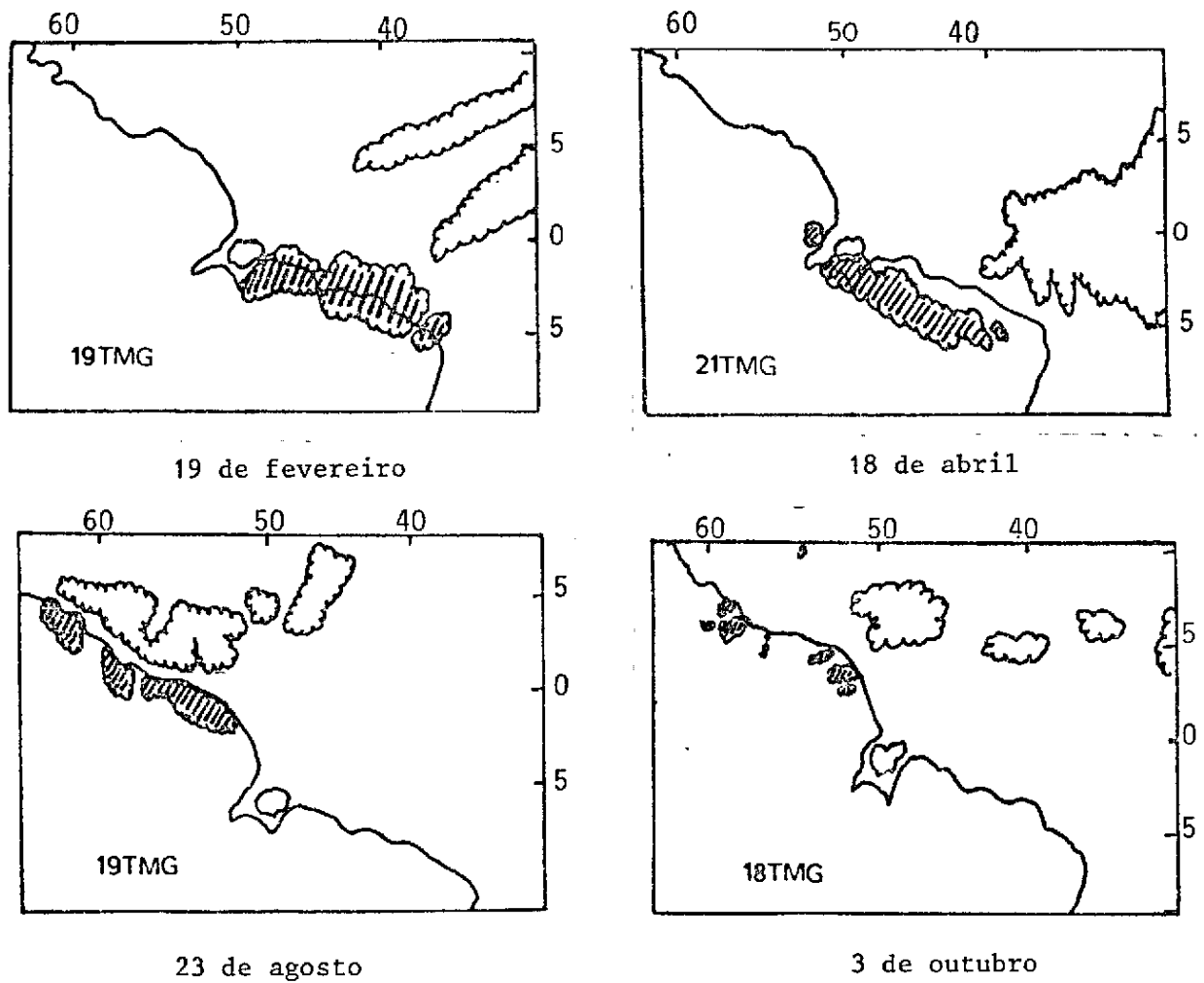


Fig. 1 - Localização da linha de cumulonimbi (áreas hachuradas) e nebulosidade da ZCIT (áreas claras que indicam nuvens) para dias específicos dos meses de fevereiro, abril, agosto e outubro.

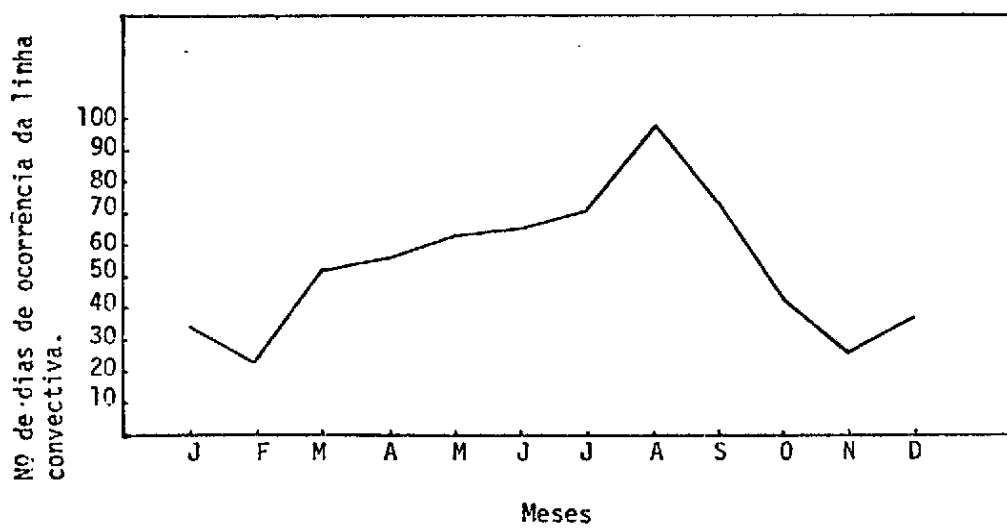


Fig. 2 - Frequência mensal da linha de cumulonimbi na costa para o período de 1975 a 1980.

3.2 - CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS DE ESCALA SINÓTICA DURANTE OS PERÍODOS DE OCORRÊNCIA DA ATIVIDADE CONVECTIVA ASSOCIADA À BRISA MARÍTIMA

3.2.1 - ANÁLISE DAS IMAGENS

Através das imagens transmitidas por satélites, observou-se que a mudança na localização da linha convectiva na costa ocorre no mesmo sentido da variação latitudinal da nebulosidade associada à Zona de Convergência Inter-tropical (ZCIT). Essa nebulosidade aparece com maior frequência ao sul de 6°N de janeiro a maio, quando a linha convectiva se desenvolve também ao sul dessa latitude, e ao norte de 6°N de junho a dezembro, quando a convecção ao longo da brisa marítima ocorre ao norte dessa latitude. Essa característica pode ser verificada na Figura 3. Nota-se que julho e agosto são os meses em que há maior frequência de desenvolvimento das linhas, com a nebulosidade da ZCIT localizada acima de 6°N . Em janeiro e fevereiro a frequência é pequena e a nebulosidade da ZCIT localiza-se abaixo de 6°N , enquanto em novembro, quando a frequência também é baixa, a nebulosidade da ZCIT ocorre acima de 6°N .

As observações realizadas, com relação à mudança na posição da nebulosidade da ZCIT, concordam com a variação norte-sul na localização média da nebulosidade e do campo de divergência apresentada pelas cartas de Hastenrath e Lamb (1977).

Observando a atividade convectiva de escala sinótica nas imagens, nota-se que nos meses de verão (HS) há muita atividade convectiva sobre a América do Sul e na região noroeste da América do Sul. Essas verificações são compatíveis com Snow (1976) e com Kousky e Kagano (1981).

Verifica-se que na época em que a frequência de desenvolvimento da linha convectiva é mínima (primavera e verão), há forte atividade convectiva sobre a América do Sul. A região costeira pode estar, assim, submetida à ação de subsidência de grande escala, a qual compensa a grande ascensão sobre o continente, impedindo o desenvolvimento dos cumulonimbi nessa costa. A idéia de compensação de movimentos ascendentes no centro do continente e subsidentes na região nordeste do Brasil foi expressa por Kousky e Molion (1981) em uma análise sobre a convecção no continente sul-americano.

3.2.2 - ANÁLISE DIAGNÓSTICA

Analisando o escoamento médio mensal em 850 mb para os anos de 1979 e 1980, verificou-se que durante o período em que a linha convectiva se desenvolve na parte superior da costa (junho a dezembro), o encontro dos alísios acontece entre 5°N e 10°N , e quando a linha se estabelece na parte inferior da costa (janeiro a maio), a zona de confluência fica entre 0° a 5°N . Na Figura 4 é apresentado o escoamento para os meses de janeiro (a) e julho (b). Portanto, a mudança na posição da linha convectiva acompanha não só a ZCIT, como também a variação latitudinal da região de confluência dos alísios.

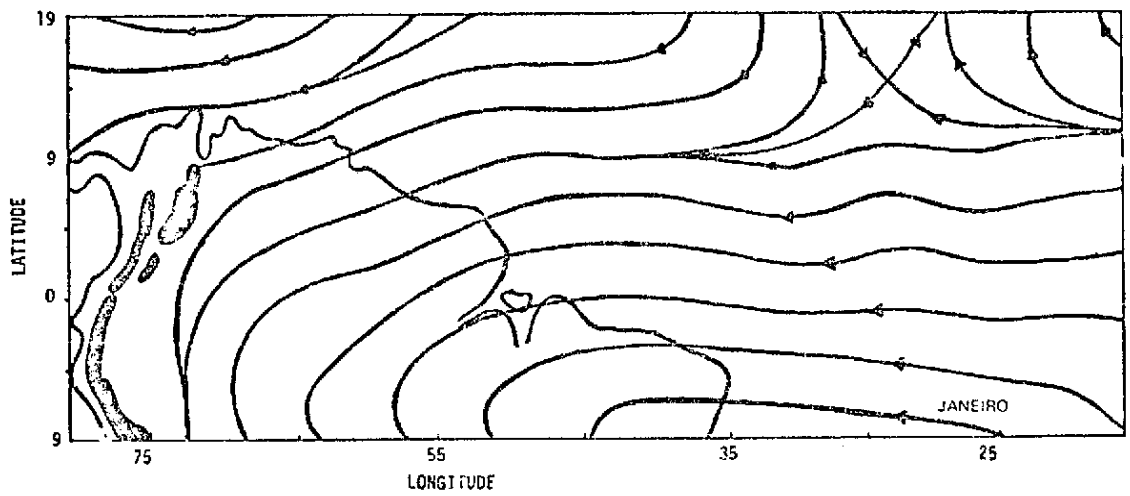
As médias mensais de divergência e de movimento vertical caracterizam bem a atividade convectiva visualizada nas imagens, havendo convergência em baixos níveis e movimento ascendente sobre o continente nos meses de verão, situação esta que é revertida nos meses de inverno. A Figura 5 mostra o movimento vertical para os meses de janeiro (a) e julho (b).

A partir da divergência média mensal calculou-se a média zonal dessa divergência entre as longitudes de 55°W e 25°W para a faixa de latitude de $19,6^{\circ}\text{N}$ a $19,6^{\circ}\text{S}$, cujo resultado é apresentado para o período de janeiro a dezem

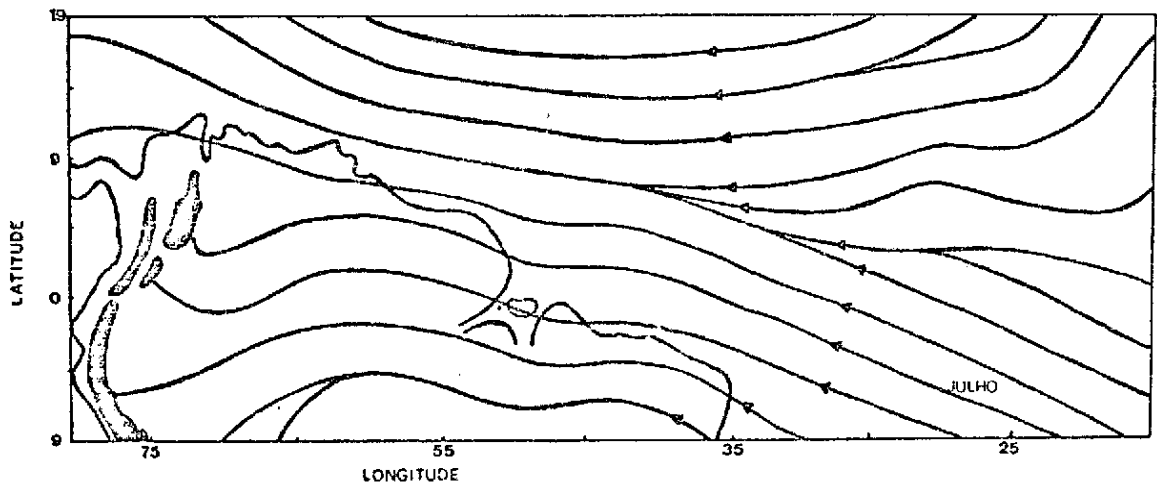


Fig. 3 - Frequência da atividade convectiva relacionada à latitude da nebulosidade associada à ZCIT (1975-1980).

As latitudes dentro do retângulo referem-se aos valores do limite superior e inferior da linha convectiva na costa.

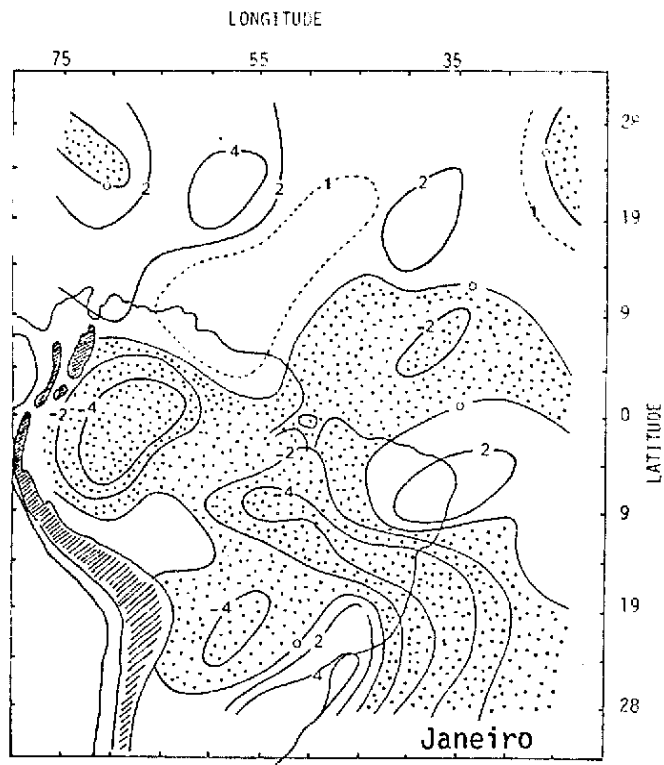


(a)

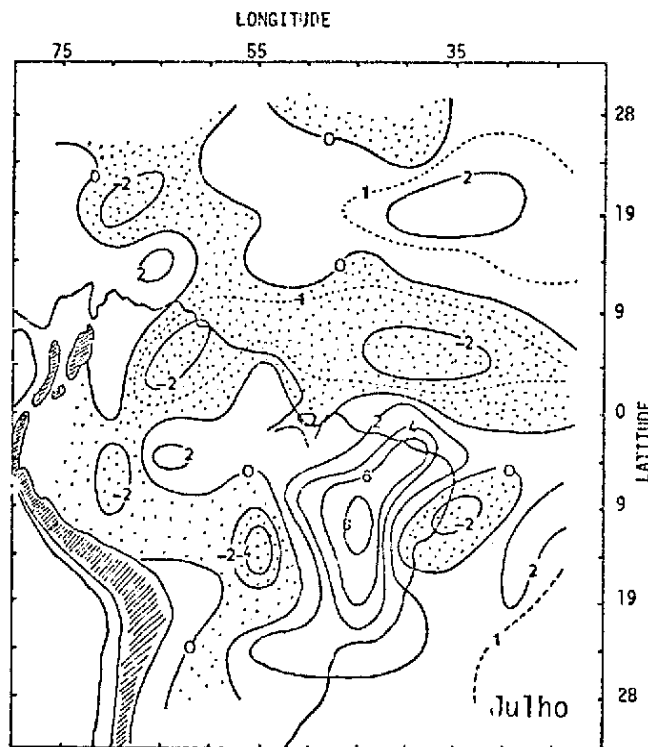


(b)

Fig. 4 - Escoamento no nível de 850 mb (12 TMG) para janeiro (a) e julho (b).



(a)



(b)

Fig. 5 - Isolinhas de movimento vertical, $\bar{\omega}_N$ (10^{-4} mb s^{-1}), para janeiro (a) e julho (b).

As áreas pontilhadas referem-se ao movimento ascendente.

bro de 1979 (Figura 6). Observa-se nesta figura uma região de convergência associada à ZCIT, cuja intensidade é maior no inverno (HS), quando sua organização também é maior. É nesse período que a linha de cumulonimbi desenvolve-se com maior frequência na parte superior da costa. Em novembro, dezembro, janeiro e fevereiro a ZCIT não se apresenta bem definida. Evidencia-se, nesses meses, uma região de convergência abaixo de 5°S, que indica a atividade convectiva que se verifica no continente e se estende para o Oceano Atlântico. Nessa época, as frentes frias provenientes do sul deslocam-se para norte, com bastante atividade, sendo provavelmente responsáveis pela região de convergência a leste (ver Figura 5). O desenvolvimento da linha convectiva, no período de janeiro a fevereiro, ocorre mais ao sul, na costa NNE do Brasil. Nos meses de outubro, novembro e dezembro não há desenvolvimento de cumulonimbi nessa região, os quais se formam na costa das Guianas e da Venezuela com fraca intensidade. Nesses meses, enquanto a convergência se intensifica sobre o continente, observa-se o simultâneo enfraquecimento da ZCIT entre 55°W e 25°W.

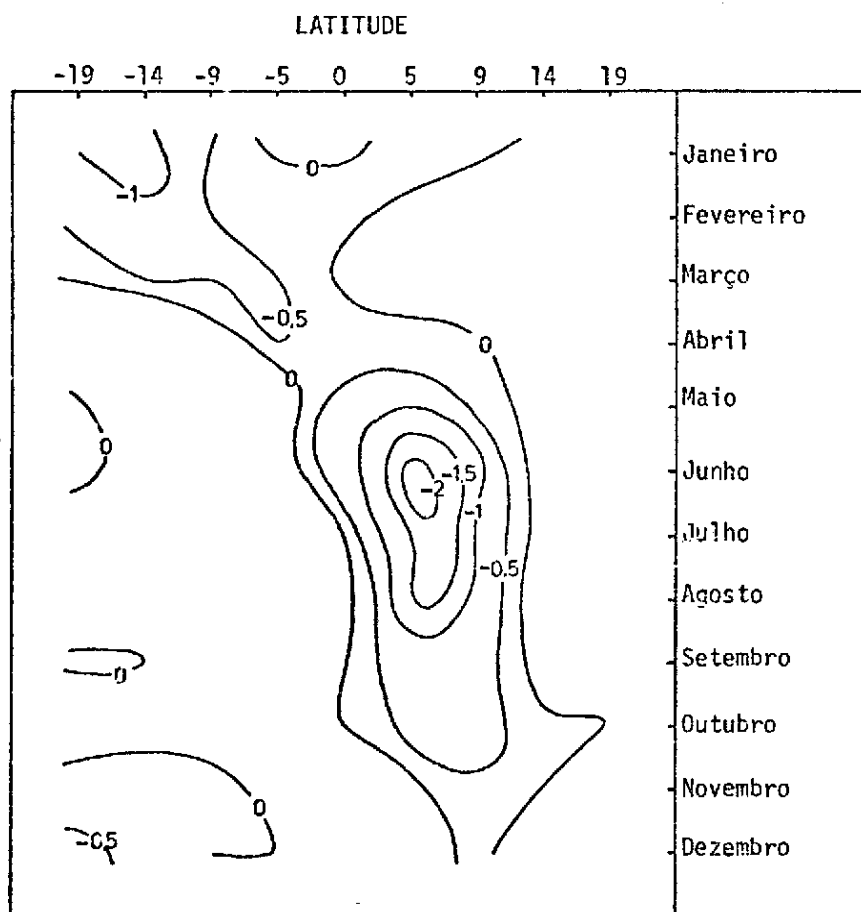


Fig. 6 - Isolinhas de convergência média mensal zonal (10^{-6} s^{-1}) entre 55°W e 25°W para 1979 (850 mb e 1200 TMG).

De maneira geral, observa-se que durante o período em que a atividade convectiva associada à brisa marítima é menos frequente (de novembro a abril), a ZCIT sobre o Atlântico Equatorial é difusa e, no período em que a atividade é mais frequente (maio a setembro), a ZCIT mostra-se bem distinta.

A análise de divergência mensal permite verificar que os sistemas de grande escala influenciam a circulação local, provocando movimentos ascendentes ou subsidentes que favorecem ou inibem a ascensão do ar em uma escala menor. Por sua vez, a nebulosidade de ZCIT indica a existência de uma região com

forte movimento ascendente, que se estende até a costa, influenciando na circulação da brisa marítima e reforçando a convecção em seu ramo ascendente. No entanto, o ramo descendente desta circulação influi na ZCIT, impedindo o desenvolvimento de nuvens sobre a região oceânica costeira pela subsidência de mesoescala, como pode ser verificado na imagem da Figura 7. Nos meses em que não há desenvolvimento da linha convectiva na costa norte-nordeste do Brasil (entre 0° e 5° S), em geral verifica-se que ou a ZCIT está deslocada para sua posição ao norte, ficando afastada dessa costa (inverno no HS), ou há forte convergência na parte oeste do continente (primavera no HS). Portanto, para compensar a ascensão de grande escala associada à convergência, pode haver subsidência na costa norte-nordeste do Brasil que impede a convecção. Uma área de subsidência no nordeste do Brasil, provocada pelo movimento ascendente na ZCIT, foi sugerida por Moura e Shukla (1980), quando constatarem anomalias de temperatura da superfície do mar nos anos secos. Essas anomalias estabeleceriam uma circulação local termicamente direta, com ramo ascendente aproximadamente a 10° N e ramo subsidente tanto sobre o nordeste do Brasil como sobre a região oceânica adjacente.

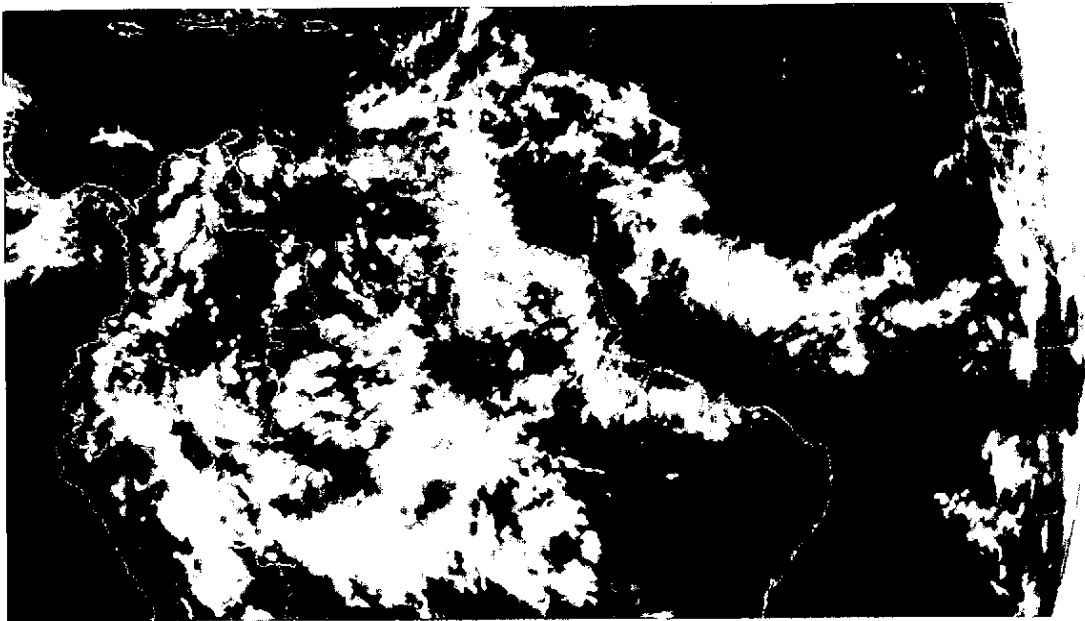


Fig. 7 - Imagem no infravermelho indicativa da área isenta de nuvens na região onde atua o ramo subsidente da circulação da brisa marítima.

3.3 - ANÁLISE DE UM CASO ESPECÍFICO

Como exemplo de um caso em que houve o desenvolvimento da linha de atividade convectiva associada à brisa marítima na costa NNE da América do Sul, analisou-se essa ocorrência para o dia 23 de março de 1979.

Pode-se observar na Figura 8 que a linha de cumulonimbi e a nebulosidade associada à ZCIT apresentam-se bem organizadas; esta última situa-se entre 0° a 5° N, próxima à costa. Nota-se também a presença de uma forte atividade convectiva no HN, que se estende até um sistema frontal ao norte.

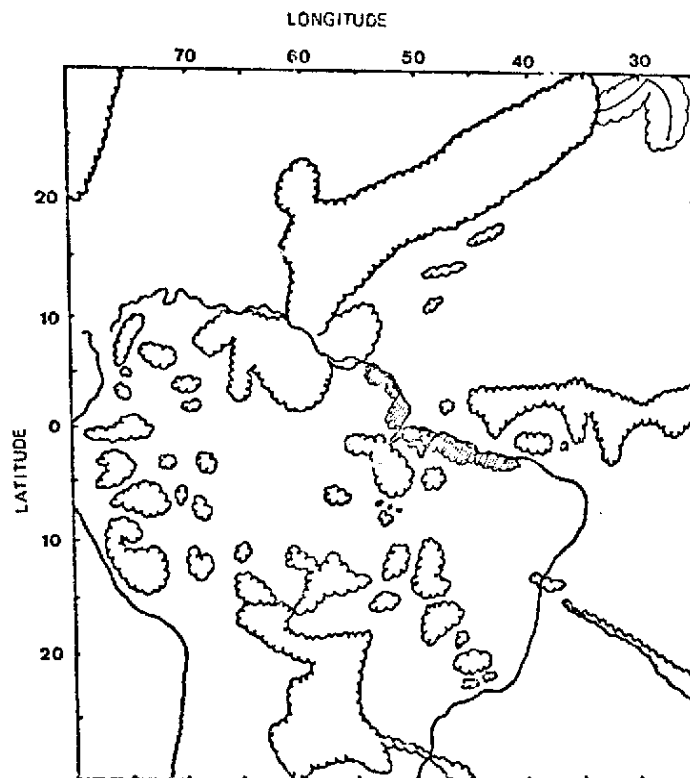


Fig. 8 - Campo de nebulosidade para o dia 23 de março de 1979, às 18:00 TMG.

A Figura 9 apresenta o desvio da divergência para 1000 mb. Nota-se que há um desvio negativo em toda a costa. Esse desvio negativo em baixos níveis é um fator favorável para a ascensão do ar na circulação da brisa, que ajuda a formar os cumulonimbi na costa. Olhando a configuração geral do desvio, nota-se que no dia 23 de março de 1979 há uma região de desvio positivo de divergência no Atlântico Norte, limitada por duas regiões de desvio negativo. A região de desvio negativo, que se encontra a oeste, está associada com a nebulosidade no oceano e com a zona frontal no extremo nordeste do esquema de nebulosidade mostrada na Figura 8. A existência da região de desvio positivo no oceano pode representar uma intensificação da alta subtropical no Atlântico Norte. Esta intensificação, relacionada com a presença da frente observada, refletir-se-ia na ocorrência de fortalecimento dos alísios de nordeste, fenômeno às vezes referido como impulsos nos alísios. Esses impulsos podem ser responsáveis pelo aumento de convergência em baixos níveis na região equatorial. Com esses impulsos a variação de velocidade dos alísios torna-se maior entre regiões próximas à alta subtropical e regiões próximas ao equador, pois nestas últimas a intensidade dos ventos é pequena, havendo aí um aumento na convergência. Portanto, esse pode ser um processo pelo qual se estabelece a região de desvios negativos de divergência na costa norte-nordeste da América do Sul, também observada pela organização de nebulosidade da ZCIT, próxima à região costeira, e pelo desenvolvimento da linha de cumulonimbi associada à brisa marítima.

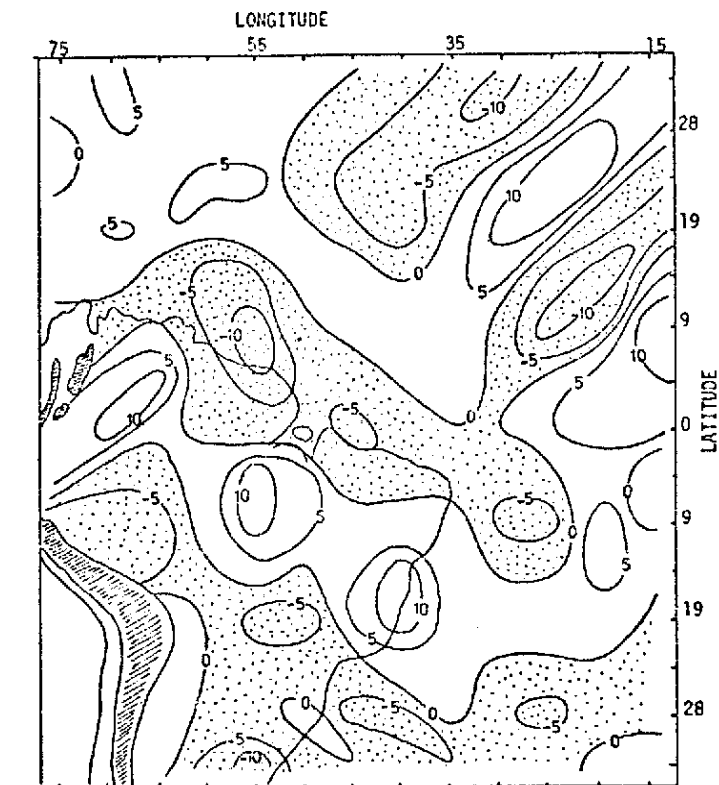


Fig. 9 - Isolinhas de desvio da divergência (10^{-6} s^{-1}) em 1000 mb para o dia 23 de março de 1979, às 12:00 TMC.

4. CONCLUSÃO

Através de observações em imagens de satélite e análise de dados, estudaram-se as características da linha de atividade convectiva e as características de escala sinótica presentes nos dias de tais ocorrências. Verificou-se que há uma associação entre a ZCIT e o desenvolvimento da convecção ligada à brisa marítima, já que a linha convectiva varia de posição, acompanhando a variação latitudinal da ZCIT e aparece com maior frequência no período em que a ZCIT está mais organizada.

Uma análise quantitativa dos campos de divergência média mensal mostrou que a ZCIT é mais bem definida nos meses de inverno e situa-se em latitudes nas quais as linhas convectivas também se desenvolvem nessa época. É nesse período que se registra a máxima frequência do desenvolvimento convectivo associado à brisa marítima. Quando há convergência em grande parte do continente (na primavera e no verão), a frequência do desenvolvimento da linha convectiva é baixa; na primavera esta se forma na costa ao norte de 0° . Nessa ocasião, a presença de convecção em uma grande área do continente vem corroborar a hipótese da existência de uma circulação de grande escala com movimento subsidente na costa norte-nordeste do Brasil.

Na análise de um caso específico, sugere-se que os impulsos nos alísios constituem um possível mecanismo para a intensificação de convergência próxima à costa, influenciando na formação das linhas convectivas. Em outros casos estudados, observou-se a influência de sistemas frontais do Hemisfério Sul na circulação local da costa N-NE da América do Sul (Cavalcanti, 1982).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAVALCANTI, I.F.A. *Um estudo sobre interações entre sistemas de circulação de escala sinótica e circulações locais*. Dissertação de mestrado em Meteorologia. São José dos Campos, INPE, 1982. (INPE-2494-TDL/097).
- CHANDLER, T.L. *Modern meteorology*. Hong Kong, Thomas Nelson and Sons, 1972.
- FLOHN, H. Climatic effects of local circulation in tropical and sub-tropical latitudes. In: SYMPOSIUM ON TROPICAL METEOROLOGY, Hawaii, 1970. *Proceedings*. Hawaii, Editorial Branch of the Hawaii Institute of Geophysics, 1970, p. 1.6-1.6-5.
- HASTENRATH, S.; LAMB, P.J. *Climatic Atlas of Tropical Atlantic and Eastern Pacific Oceans*. Madison, WI University of Wisconsin Press, 1977.
- HAWKINS, J.D. A study of the mesoscale wind circulation in a land-sea breeze regime. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 58(12):1289-1295, 1977.
- KOUSKY, V.E. Diurnal rainfall variations in northeast Brazil. *Monthly Weather Review*, 108(4): 488-498, Apr. 1980.
- KOUSKY, V.E.; KAGANO, M.T. A climatological study of the tropospheric circulation over the Amazon regions. *Acta Amazônica*, 11(4): 743-758, Apr., 1981.
- KOUSKY, V.E.; MOLIION, L.C.B. Uma contribuição à climatologia da dinâmica da troposfera sobre a Amazônia. *Revista de Hidrologia e Recursos Hídricos*, 3(2): 199-211, jul-dez, 1981.
- MOURA, A.D.; SHUKLA, J. *Um estudo sobre a dinâmica das secas do nordeste do Brasil: Observações, teoria e experimentos numéricos com um modelo global de circulação atmosférica*. São José dos Campos, INPE, out. 1980. 58 p. (INPE-1930-RPE/225).
- SNOW, J.W. The climate of Northern South America. In: Schwerdtfeger, W. ed. *Climates of Central and South America*. Amsterdam, Elsevier, 1976. cap. 6, p. 295-403. (World Survey of Climatology, 12).

SUN, W.; ORLANSKI, I. Large mesoscale correction and sea breeze circulation.
Part I: Linear stability. Journal of the Atmospheric Science, 38(8):1675-
-1693, Aug., 1981.

C.D.U. - 551.589(8-17/-18)