

1. Publicação nº <i>INPE-2244-PRE/029</i>	2. Versão	3. Data <i>Outubro, 1981</i>	5. Distribuição <input type="checkbox"/> Interna <input checked="" type="checkbox"/> Externa <input type="checkbox"/> Restrita
4. Origem <i>DME</i>	Programa <i>PNTE</i>		
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) <i>VARIABILIDADE DE PRECIPITAÇÃO NO NORDESTE</i> <i>TELECONEXÕES</i> <i>PREVISÃO DE PRECIPITAÇÃO</i>			
7. C.D.U.: <i>551.509.324.2(812/814)</i>			
8. Título <i>PREVISÃO DE PRECIPITAÇÃO NO NORDESTE DO BRASIL: O ASPECTO DINÂMICO</i>		10. Páginas: <i>16</i>	
		11. Última página: <i>13</i>	
		12. Revisada por <i>Marco Antonio M. Lemes</i>	
9. Autoria <i>Vernon Edgar Kousky</i> <i>Antonio Divino Moura</i>		13. Autorizada por <i>Nelson de Jesus Parada</i> Diretor	
Assinatura responsável <i>Vernon E. Kousky</i>			
14. Resumo/Notas <i>Mudanças na circulação atmosférica-oceânica de grande escala estão relacionadas dinamicamente com a variabilidade do regime pluviométrico do Nordeste do Brasil. Assim sendo, atividade ciclônica acima da normal, próxima à Terra Nova, está associada com ventos fortes de Oeste no Atlântico Norte, com a alta subtropical do Atlântico Norte mais intensa do que o normal, e ventos alísios de Nordeste mais fortes do que o normal em latitudes baixas. Tais fatos são acompanhados por condições mais chuvosas do que o normal no Nordeste. Condições mais secas do que o normal ocorrem quando a situação revertida prevalece. Sugere-se que mudanças na intensidade e/ou na posição do anticiclone em 200 mb sobre a Bolívia poderiam também estar relacionadas com a variabilidade da precipitação sobre o Nordeste. As características da circulação atmosférica de grande escala, acima mencionadas, constituem somente as bases sobre as quais são superpostos e ventos individuais de tempo, tais como: sistemas frontais do Hemisfério Sul, vórtices ciclônicos na alta troposfera e aglomerados de nuvens tropicais. No entanto, apesar do conhecimento já acumulado sobre o clima e sua variabilidade no Nordeste do Brasil, previsões de precipitação devem, no momento atual, ser consideradas com muita cautela.</i>			
15. Observações <i>A ser apresentado no IV Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos, que realizar-se-á de 15 a 19 de novembro de 1981.</i>			

PRECIPITATION FORECASTING FOR NORTHEAST BRAZIL:

DYNAMICAL ASPECTS

ABSTRACT -- Large scale atmospheric oceanic circulation changes in the North and South Atlantic are dynamically related to rainfall variability in Northeast Brazil. Above normal cyclonic activity near Newfoundland is associated with stronger than normal westerlies in the North Atlantic, a stronger than normal North Atlantic subtropical high and stronger than normal northeast trade winds at low latitudes. These features accompany a more southward than normal displacement of the intertropical convergence zone and wetter than normal conditions in Northeast Brazil. Drier than normal conditions occur when the opposite situation exists. The severest droughts occur in association with the simultaneous weakening of the North Atlantic high and strengthening of the South Atlantic high. These events are also found to occur in association with the simultaneous occurrence of positive sea surface temperature (SST) anomalies in the north, and negative SST anomalies in the south Tropical Atlantic. It is suggested that changes in the intensity and/or position of the Bolivian 200 mb anticyclone, and its associated east-west direct thermal circulation, may also be related to rainfall variability in Northeast Brazil. The above features of the large scale atmospheric-oceanic circulation provide only the background upon which the weather producing systems are superposed. These systems include Southern Hemisphere frontal systems, upper tropospheric cyclonic vortices and tropical cloud clusters. Frontal systems, which reach the Northeast, weaken the South Atlantic subtropical high and produce a surface pressure pattern favorable for the occurrence of north and northeast winds over the northern Northeast, a feature frequently observed during rainy periods. Upper tropospheric cyclones tend to reduce (increase) rainfall over the southern (northern) part of the Northeast. In spite of the increased understanding, concerning the climate and its variability in Northeast Brazil, precipitation forecasts, at the present, should be considered with great care.

PREVISÃO DE PRECIPITAÇÃO NO NORDESTE DO BRASIL:

O ASPECTO DINÂMICO

por

Vernon E. Kousky¹ e Antonio D. Moura¹

RESUMO -- Mudanças na circulação atmosférica-oceânica de grande escala estão relacionadas dinamicamente com a variabilidade do regime pluviométrico no Nordeste do Brasil. Assim sendo, atividade ciclônica acima da normal, próxima à Terra Nova, está associada com ventos fortes de Oeste no Atlântico Norte, com a alta subtropical do Atlântico Norte mais intensa do que o normal, e ventos alísios de nordeste mais fortes do que o normal em latitudes baixas. Tais fatos são acompanhados por um deslocamento maior para o sul da zona de convergência intertropical (ZCIT) e condições mais chuvosas do que o normal no Nordeste. Condições mais secas do que o normal ocorrem quando a situação revertida prevalece. As secas mais severas estão associadas com o enfraquecimento da alta do Atlântico Norte e, simultaneamente, com o fortalecimento da alta do Atlântico Sul. Tais eventos extremos também surgem associados com o aparecimento simultâneo de anomalias positivas de temperatura da superfície do Mar (TSM), no Atlântico Norte, e anomalias negativas de TSM, no Atlântico Sul. Sugere-se que mudanças na intensidade e/ou na posição do anticiclone em 200 mb sobre a Bolívia, e a circulação termicamente direta, na direção leste-oeste, a ele associada, poderiam também estar relacionadas com a variabilidade da precipitação sobre o Nordeste. As características da circulação atmosférica e oceânica de grande escala, acima mencionadas, constituem somente as bases sobre as quais são superpostos eventos individuais, de tempo, tais como: sistemas frontais do Hemisfério Sul, vórtices ciclônicos na alta troposfera e aglomerados de nuvens tropicais. Os sistemas frontais, que podem chegar ao Nordeste, enfraquecem a alta subtropical do Atlântico Sul e produzem uma configuração de pressão à superfície, favorável à ocorrência de ventos de norte ou de nordeste sobre a região norte do Nordeste; estes ventos são frequentemente observados durante os períodos chuvosos. Ciclones na alta troposfera tendem a diminuir (aumentar) a precipitação sobre a parte mais ao sul (norte) do Nordeste. Baseados nestes conhecimentos da dinâmica de grande escala, modelos empíricos estatísticos, que utilizam informações meteorológicas em várias regiões do globo, têm sido sugeridos e até mesmo elaborados e testados. A técnica de modelagem atmosférica, por meio de modelos de circulação geral da atmosfera, tem contribuído, também, para testar hipóteses sobre o clima e buscar o estabelecimento de relações causa-efeito. No entanto, apesar do conhecimento já acumulado sobre o clima e sua variabilidade no Nordeste do Brasil, previsões de precipitação devem, no momento atual, ser consideradas com muita cautela, face às implicações econômicas e sociais que uma previsão cientificamente infundada pode causar.

¹Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq
Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE

INTRODUÇÃO

O interior semi-árido do Nordeste do Brasil sofre uma das maiores variações de precipitação anual do mundo inteiro. Uma medida desta variação é a variabilidade relativa, definida como sendo a razão percentual da média dos desvios absolutos e a média. A distribuição da variabilidade relativa da precipitação no Nordeste do Brasil, para o período de 1931 a 1960, é mostrada na Figura 1. As áreas de variabilidade relativa baixa (< 20%) correspondem a áreas de precipitação média anual grande, enquanto que as áreas de variabilidade de relativa alta (> 40%) correspondem a regiões áridas (Atkinson, 1971). A precipitação anual, no interior do semi-árido, pode variar de 25% (nos anos extremos chegando até 10 a 15%) até 300% do normal.

Esta variabilidade é devida, em parte, a uma estação chuvosa relativamente curta, de fevereiro a maio no norte do Nordeste, e ao número relativamente pequeno de eventos maiores de precipitação dentro deste período (Ramos, 1975). O não aparecimento de alguns destes eventos pode, eventualmente, ser suficiente para produzir condições de seca.

Em geral, os eventos de chuva não estão igualmente distribuídos em tempo. Deste modo, é possível que a precipitação, para uma dada estação chuvosa, seja já praticamente normal, embora essa estação seja caracterizada por períodos de seca. Em alguns anos, por exemplo 1981, tanto enchentes como condições de seca ocorreram dentro da mesma estação chuvosa. Evidentemente, tais variabilidades de chuva têm um impacto forte na agricultura e, por conseguinte, na economia da região.

Para uma discussão dos vários aspectos do clima do Nordeste, sobretudo da distribuição de precipitação, são recomendados os trabalhos de Henry (1922), Sampaio Ferraz (1925 e 1929), Serra e Ratisbona (1942), Trewartha (1961), Al-daz (1971), Strang (1972), Ramos (1975), Ratisbona (1976), Kousky and Chu (1978), Riehl (1979) e Kousky (1979 e 1980).

ASPECTOS DE GRANDE ESCALA: TELECONEXÕES

Em anos recentes, muita atenção tem sido dada às anomalias climáticas nas latitudes tropicais, tais como as que ocorrem no Nordeste do Brasil, e suas possíveis relações com anomalias em outras partes do mundo. Um dos primeiros a explorar interconexões desta natureza foi Walker (1928), o qual sugeriu que métodos estatísticos de previsão de seca para o Nordeste do Brasil fossem desenvolvidos, baseados em dados meteorológicos, tais como: pressão à superfície, vento, temperatura e precipitação, em lugares remotos.

Outros autores também tentaram relacionar as anomalias de chuva no Nordeste com mudanças na circulação atmosférica de grande escala. Bjerknes (1969) considerou a possível ligação entre as variações de precipitação no Nordeste do Brasil e o ramo subsidente da circulação leste-oeste de Walker, no setor do Atlântico; uma possibilidade também considerada por Kidson (1975).

A circulação de Walker é uma circulação termicamente direta, característica da região da América do Sul durante o verão do Hemisfério Sul, em que o ar quente sobe sobre o continente, e o ar relativamente frio desce sobre as áreas oceânicas adjacentes (Figura 2). Sobre o continente, os níveis baixos da troposfera, próximos à superfície da Terra, são caracterizados pela existência de baixa pressão e convergência, enquanto os níveis na alta troposfera são caracterizados por alta pressão e divergência.

Geralmente, o máximo de movimento ascendente ocorre sobre a Bolívia, e o anticiclone em 200 mb na alta troposfera, que se forma sobre essa região, é conhecido como a alta da Bolívia. Esta alta de pressão é mais intensa durante o período de dezembro a fevereiro, que precede a estação chuvosa no norte do Nordeste. É possível, como sugerido por Bjerknes (1969) e Kidson (1975), que o movimento subsidente na circulação de Walker, durante este período, possa afetar a parte norte do Nordeste, e que mudanças na posição e/ou na intensidade da alta da Bolívia possam estar relacionadas com a variabilidade da precipitação no Nordeste.

Em geral, a alta da Bolívia enfraquece-se e desloca-se para norte durante março (Kousky and Kagano, 1981), o que coincide com o começo do período de chuvas no norte do Nordeste. Este fato observacional corrobora mais ainda, com a hipótese de uma ligação direta entre a circulação de Walker e as chuvas na parte norte do Nordeste do Brasil.

As teleconexões entre anomalias na circulação atmosférica das latitudes extratropicais e as anomalias na precipitação tropical têm sido pesquisadas por vários autores. Namias (1963) mostrou que as bandas alternantes de precipitação acima e abaixo da normal, durante janeiro de 1952 e janeiro de 1958, na América do Norte, na América Central e no norte da América do Sul, estão ligadas às configurações da circulação no Hemisfério Norte. Namias (1972), baseando-se na idéia acima, correlacionou as anomalias de precipitação no Nordeste do Brasil com as anomalias na circulação atmosférica, em 700 mb, na região do Atlântico Norte. Ele mostrou que atividade ciclônica maior do que o normal, próxima à Terra Nova, está correlacionada positivamente com a precipitação acima do normal no Estado do Ceará.

Namias concluiu que a atividade ciclônica acima do normal, próxima à Terra Nova, é acompanhada por uma alta subtropical no Atlântico Norte, mais intensa do que o normal. Ele propôs que os alísios do Hemisfério Norte, no Atlântico Norte, seriam mais fortes, em consequência da alta mais intensa, e que estes aumentariam a convergência na região da zona de convergência intertropical (ZCIT), conseqüentemente, acarretando precipitação acima do normal no Nordeste. Namias concluiu ainda que as secas no Nordeste estão associadas a uma situação de bloqueio na região do Atlântico Norte. Este fenômeno é associado a uma atividade ciclônica mais fraca do que o normal, na região da Terra Nova e a uma alta subtropical também mais fraca do que o normal.

Hastenrath e Heller (1977) mostraram que uma alta subtropical no Atlântico Norte, mais intensa do que o normal, em combinação com uma alta no Atlântico Sul, mais fraca do que o normal, está associada ao deslocamento mais ao sul do que o normal da ZCIT e à precipitação acima do normal no Nordeste.

Numa série de artigos, que trata do problema do regime "seesaw" na região do Atlântico Norte, van Loon and Rogers (1978), Rogers and van Loon (1979) e Meehl and van Loon (1979) estudaram as configurações de anomalias do vento e da pressão ao nível do mar (PNM). Eles notaram que ventos de oeste mais fortes do que o normal sobre o Atlântico, situados entre as anomalias negativas de PNM próximo à Groenlândia, e as anomalias positivas de PNM nas latitudes baixas, na vizinhança da alta subtropical, estão associados a alísios fortes do Hemisfério Norte. Ventos de oeste fracos estão associados a alísios fracos. No caso de ventos de oeste fortes, a alta subtropical no Atlântico Norte seria mais forte do que o normal (pressão mais alta do que o normal e circulação maior do que o normal), e, segundo os resultados de Hastenrath and

Heller (1977), estaria associada ao deslocamento mais para o sul do que o normal da ZCIT e às condições chuvosas no norte do Nordeste.

Todos os resultados discutidos acima são consistentes, isto é, a atividade de ciclônica acima do normal, perto da Terra Nova e da Groenlândia, os ventos de oeste mais fortes no Atlântico Norte, a alta subtropical mais intensa no Atlântico Norte e os alísios do Hemisfério Norte mais fortes são todos fatos interligados e associados às situações de alta pluviosidade no Nordeste. Por outro lado, condições de secas no Nordeste ocorrem quando a situação oposta prevalece.

Por outro lado, vários estudos têm explorado a forte relação entre as anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM) e as anomalias de precipitação no Nordeste. Markham and McLain (1977) mostraram que as anomalias positivas de TSM no Atlântico Sul subtropical estão associadas às condições chuvosas no Nordeste, enquanto as anomalias negativas de TSM estão associadas às secas. Hastenrath and Heller (1977) e, mais recentemente, Moura and Shukla (1981) concluíram que as secas no Nordeste estão associadas à ocorrência simultânea de anomalias de TSM, positivas no norte e negativas no sul do Atlântico Subtropical (ver Figura 3). Uma configuração oposta nas anomalias de TSM está associada às situações de alta pluviosidade.

Pode-se, então, concluir que a variabilidade temporal da precipitação no Nordeste está intimamente ligada às mudanças nas configurações de grande escala, das circulações atmosférica e oceânica. Embora a influência do Hemisfério Norte tenha sido mais detalhadamente estudada, parece lógico concluir que, especialmente considerando-se os resultados de Hastenrath and Heller (1977), Markham and McLain (1977) e Moura and Shukla (1981), o Hemisfério Sul também exerce uma forte influência no regime de precipitação do Nordeste. As influências do Hemisfério Sul serão discutidas em maiores detalhes na próxima seção, sobre os sistemas do tempo que afetam o Nordeste.

Muitos estudos, já citados, demonstram que as configurações de anomalias, quer na circulação atmosférica quer na oceânica, são bastantes persistentes. Isto é especialmente verdade para os eventos extremos. Deste modo, pode ser possível, *em alguns casos*, usar os padrões de anomalias da estação anterior para indicar os eventos da estação seguinte. Previsões estatísticas de médio prazo (1 a 6 meses) poderiam ser feitas, seguindo-se, por exemplo, a sugestão de Walker (1928), de utilizar uma análise de regressão múltipla, baseada nas características acima discutidas, bem como em outras que ainda não foram determinadas. Contudo, utilizando-se este método não se deve esperar uma previsão perfeita, nem muito precisa. A natureza da precipitação, isto é, convectiva, exclui a possibilidade de previsões de alta precisão. O máximo que se pode esperar, no momento, é uma indicação da tendência da estação chuvosa ser mais seca ou mais chuvosa do que o normal.

ASPECTOS DE ESCALA SINÓTICA: OS SISTEMAS DE CHUVA

As teleconexões, acima discutidas, fornecem somente as bases sobre as quais estão superpostos os distúrbios de tempo. Uma inspeção dos dados diários de precipitação, para as estações no Nordeste, mostra que a precipitação não é igualmente distribuída durante a estação chuvosa, mas que ocorre durante períodos distintos. Esta característica do regime de chuvas no Nordeste foi notada por Ramos (1975) e Kousky (1979). Em geral, estes períodos não ocorrem em intervalos regulares e, como exemplificado pela estação chuvosa de

1981, a seca e as enchentes podem ocorrer dentro de uma mesma estação.

Vários trabalhos têm sido feitos sobre os sistemas de chuva que afetam o Nordeste do Brasil. A influência de frentes frias, oriundas das latitudes altas no Hemisfério Sul no regime de precipitação na parte sul do Nordeste, tem sido discutida por vários autores, como por exemplo, Sampaio Ferraz (1925 e 1929), Ratisbona (1976) e Kousky (1979). Às vezes, estas frentes frias do Hemisfério Sul também afetam a precipitação no norte do Nordeste (Kousky, 1979). É interessante notar que, associada à atividade frontal persistente no Nordeste, a alta subtropical do Atlântico Sul estaria mais fraca do que o normal e deslocada mais para o sudeste, em relação à sua posição normal, condição esta que Hastenrath and Heller (1977) notaram acompanhar os períodos chuvosos no Nordeste. Também, nestas condições, os alísios de sudeste estariam mais fracos, e sobre a região norte do Nordeste as condições seriam favoráveis para a ocorrência de ventos de norte ou nordeste, uma característica observada em associação aos períodos chuvosos (Markham and McLain, 1977). A figura 4 mostra esquematicamente o campo de vento e a cobertura de nuvens associados a um sistema frontal, no Nordeste do Brasil.

Um outro tipo de sistema, que influi no regime de precipitação no Nordeste, é o ciclone subtropical da alta troposfera. Aragão (1975) estudou a circulação na alta troposfera, por ocasião dos eventos de chuva no Nordeste, e notou a presença frequente de uma circulação ciclônica e fria nos altos níveis. Virji (1981) também notou a existência de vórtices ciclônicos fechados na alta troposfera, vórtices esses que frequentemente se formam durante o verão (do Hemisfério Sul), próximo à costa leste do Brasil, e se deslocam para oeste sobre o continente.

Recentemente, Kousky and Alonso (1981) mostraram que estes ciclones subtropicais ocorrem mais frequentemente durante o verão do Hemisfério Sul, com maior atividade em janeiro. Aparentemente, há uma relação entre a formação destes sistemas e a existência da alta da Bolívia, discutida na seção anterior. Estes ciclones subtropicais são caracterizados por movimento descendente de ar frio em seu centro, e movimento ascendente de ar quente em sua periferia. Portanto, com a aproximação destes sistemas às costas da Bahia, a parte sul do Nordeste experimenta uma melhoria no tempo, enquanto para a parte norte do Nordeste observa-se um aumento de atividade convectiva (ver Figura 5). Nos altos níveis e perto dos centros dos ciclones, onde se encontra o ar mais frio, tem-se a ocorrência de maior instabilidade, com movimentos convectivos superando os efeitos da subsidência, durante as horas da tarde, e nuvens do tipo cumulonimbus se formando.

O papel desempenhado pelos aglomerados de cumulonimbus, na produção de precipitação no Nordeste, foi considerado por Ramos (1975), para o período de janeiro a maio (estação chuvosa), e por Yamazaki and Rao (1977), para a estação de inverno no Hemisfério Sul.

Outros estudos (Ramos, 1975; Kousky, 1980) têm mostrado que os sistemas locais de vento, tais como: as brisas marítima-terrestre e de montanha-vale, são importantes para a produção de precipitação no Nordeste. Eventos extremos de chuva podem acontecer em regiões, onde a circulação local e a situação sinótica de grande escala são favoráveis ao crescimento de nuvens convectivas.

Muitos distúrbios de tempo, que afetam o Nordeste, estão sendo atualmente estudados através das informações obtidas por satélites (Virji, 1981; Kousky and Alonso, 1981). Satélites meteorológicos, do tipo geoestacionário, monito

ram continuamente a cobertura de nuvens sobre uma dada região, a cada 30 minutos. Uma animação temporal destes dados permite observar a evolução dos sistemas de tempo e, também, determinar a situação sinótica sobre uma grande área. Através de uma melhor compreensão da dinâmica destes sistemas, espera-se que previsões de curto prazo, da ordem de poucos dias, possam ser melhoradas. A persistência de certos tipos de sistemas de tempo nas latitudes baixas, tais como: vórtices ciclônicos na alta troposfera e zonas de convergência associadas às frentes frias, *pode* eventualmente permitir uma extensão destas previsões de curto prazo, pelo menos qualitativamente, para períodos de 5 a 10 dias.

CONCLUSÕES

Desde o trabalho pioneiro de Walker (1928), um número cada vez maior de evidências tem comprovado a idéia de que as anomalias de precipitação no Nordeste estão relacionadas às mudanças, em localidades distante do globo, da circulação atmosférica-oceânica, em ambos os hemisférios. Previsões sazonais de precipitação podem ser feitas, utilizando-se técnicas estatísticas, tal como análise de regressão múltipla. Entretanto, é possível que, no momento atual, estas previsões não alcancem um alto nível de destreza, devido à natureza dos eventos individuais causadores de precipitação. Estas previsões poderiam, talvez, alcançar um maior índice de precisão, se as configurações das anomalias fossem persistentes por um longo período de tempo (meses). Como anomalias persistentes aparecem tipicamente em anos extremamente secos e chuvosos, é possível que a previsão destes eventos extremos tenha maior sucesso do que, por exemplo, aqueles que ocorrem em anos de característica mista, isto é, bastante secos em um ou mais meses e chuvosos em outros, para a mesma estação chuvosa.

Em seu trabalho original, Walker ocupou-se somente com o problema da previsão dos casos de secas severas. A técnica por ele desenvolvida, e melhorada por Sampaio Ferraz (1929), permitiu-lhe prever, acertadamente, 80% das secas severas ocorridas no período considerado; resultado este considerado por ele marginalmente bem sucedido. Entretanto, ele acreditava que esquemas estatísticos de previsão poderiam ser desenvolvidos, baseando-se em dados de melhor qualidade e em maior número, e que poderiam aprimorar os resultados.

Atualmente, esforços estão sendo feitos nesta direção, tanto no Brasil quanto nos Estados Unidos, para desenvolver esquemas estatísticos de previsão, que levam em conta os conhecimentos dinâmicos adquiridos nas várias escalas-global e regional. Para citar um exemplo, o Professor Stefan Hastenrath, da Universidade de Wisconsin, tem-se empenhado bastante na solução deste problema, mas, como ele mesmo chama a atenção, o acesso aos dados de maneira rápida é fundamental para o sucesso de qualquer técnica estatística de previsão. Uma das variáveis importantes do seu esquema é os totais mensais de precipitação nas estações escolhidas, variáveis estas que devem estar disponíveis em tempo hábil para a previsão.

As técnicas de modelagem atmosférica, principalmente as numéricas, como os modelos de circulação geral (GCMs), têm um papel importante a desempenhar no que se refere à ampliação dos conhecimentos sobre as relações causa-efeito (veja, por exemplo, Moura e Shukla, 1981). Os modelos de previsão numérica de tempo (PNT) também se fazem importantes para a previsão a curto prazo, até 3 dias por exemplo. É que, dentro de uma estação chuvosa, estas previsões a curto prazo poderiam vislumbrar, no prazo de dias,

os eventos individuais causadores de precipitação, conforme estudos de Ramos (1975) e Kousky (1979).

Apesar da existência de algum conhecimento acumulado sobre o clima e sobre a variabilidade climática do Nordeste do Brasil, toda e qualquer previsão deve ser vista com muita cautela. Isto é importante, não somente por causa do estágio ainda embrionário do conhecimento do assunto, mas também por causa das implicações sociais e econômicas que uma previsão cientificamente não bem fundamentada pode trazer, fato este já comentado por Walker (1928), em seu clássico trabalho.

O estágio atual ainda é de muita pesquisa, cujas linhas mais promissoras estão fundamentadas nas recomendações de um "Workshop" recentemente realizado no INPE, sob os auspícios do CNPq (Smagorinsky et alii 1980).

AGRADECIMENTOS

Este Projeto foi parcialmente financiado pela FINEP - Financiadora de Estudos e Projetos, através do Convênio nº B/54/81/042/00/00 - FINEP/CNPq/INPE.

REFERÊNCIAS

- ALDAZ, L., (1971), A partial characterization of the rainfall regime of Brazil. DNMET, vol. 1 SUDENE, publicação técnica 4, Rio de Janeiro.
- ARAGÃO, J.O., (1975), Um estudo da estrutura das perturbações sinóticas do Nordeste do Brasil. Dissertação de Mestrado, Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, São Paulo.
- ATKINSON, G.D., (1971), Forecasters guide to tropical meteorology, Air Weather Service, Tech. Rep. No. 240, Scott Air Force Base, Illinois, EUA.
- BJERKNES, J., (1969), Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific, Monthly Weather Review, 97, 163-172.
- HASTENRATH, S., HELLER, L., (1977), Dynamics of climate hazards in northeast Brazil, Quarterly Journal Royal Meteorological Society, 103, 77-92.
- HENRY, A.J., (1922), The rainfall of Brazil, Monthly Weather Review, 50, 412-417.
- KIDSON, J.W., (1975), Tropical eigenvector analysis and the Southern Oscillation, Monthly Weather Review, 103, 187-196.
- KOUSKY, V.E., (1979), Frontal influences on Northeast Brazil, Monthly Weather Review, 107, 1140-1153.
- _____, (1980), Diurnal rainfall variation in Northeast Brazil, Monthly Weather Review, 108, 488-498.
- _____, CHU, P.S., (1978), Fluctuations in annual rainfall for Northeast Brazil, Journal Meteorological Society of Japan, 57, 457-465.
- _____, KAGANO, M.T., (1981); A climatological study of the tropospheric circulation over the Amazon region, aceito para publicação na revista Acta Amazônica.

- _____, ALONSO, M., (1981), Upper tropospheric cyclonic vortices in the tropical South Atlantic, aceito para publicação na revista Tellus.
- MARKHAM, C.G., MCLAIN, D.R., (1971), Sea surface temperature related to rain in Ceará, northeast Brazil, Nature, 265, 320-323.
- MEEHL, G.A., VAN LOON, H., (1979), The seesaw in winter temperatures between Greenland and Northern Europe . Part III: Teleconnections with lower latitudes, Monthly Weather Review, 107, 1095-1106
- MOURA, A.D., SHUKLA, J., (1981), On the dynamics of droughts in Northeast Brazil: Observations, theory and numerical experiments with a general circulation model, aceito para publicação na revista Journal of the Atmospheric Sciences.
- NAMIAS, J., (1963), Interactions of circulation and weather between hemispheres, Monthly Weather Review, 91, 482-486.
- _____, (1972), Influence of northern hemisphere general circulation on drought in northeast Brazil, Tellus, 24, 336-343.
- NEWELL, R.R., (1979), Climate and the ocean, American Scientist, 67, 405-416.
- RAMOS, R.P.L., (1975), Precipitation characteristics in the northeast Brazil dry region, Journal of Geophysical Research, 80, 1665-1678.
- RATISBONA, C.R., (1976), The climate of Brazil, In: Climates of Central and South America, (Schwerdtfeger, W. e H.E. Landsberg, editores), World Survey of Climatology, vol. 12, Elsevier, 219-293.
- RIEHL, H., (1979), Climate and Weather in the tropics, Academic Press Inc., New York, 611 pp.
- ROGERS, J.C., VAN LOON, H., (1979), The seesaw in winter temperatures between Greenland and northern Europe. Part II: Sea ice, sea surface temperatures and winds, Monthly Weather Review, 107, 509-519.
- SAMPAIO FERAZ, J, de, (1925), Causas prováveis das secas do Nordeste brasileiro, Ministério da Agricultura, Diretoria de Meteorologia, Rio de Janeiro, 12 pp.
- _____, (1929), Sir Gilbert Walker's formula for Ceará's droughts: Suggestion for its physical explanation, Meteorological Magazine, 64, 81-84.
- SERRA, A.B., RATISBONA, L., (1942), As massas de ar da América do Sul, Serviço de Meteorologia, Ministério da Agricultura, Rio de Janeiro, 137 pp.
- SMAGORINSKY, J., RIEHL, H., SHUKLA, J., RASMUSSEN, J., ROADS, J.O., HASTENRATH, S., GRAY, W.M., (1980), Workshop on drought forecasting for Northeast Brazil, Panel Report, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, São Paulo, de 11 a 15 de fevereiro de 1980, 71 pp.

- STRANG, D.M.G., (1972), Análise climatológica das normais pluviométricas do Nordeste brasileiro, Centro Técnico Aeroespacial, Relatório Técnico IAE-M-02/72, 70 pp.
- TREWARTHA, G.T., (1961), The Earth's problem climates, The University of Wisconsin Press, Madison, Wisconsin, 334 pp.
- VAN LOON, H., ROGERS, J.C., (1978), The seesaw in winter temperatures between Greenland and northern Europe Part I: General description, Monthly Weather Review, 106, 296-310.
- VIRJI, H., (1981), A preliminary study of summertime tropospheric circulation patterns over South America estimated from cloud winds, Monthly Weather Review, 109, 599-610.
- WALKER, G.T., (1928), Ceará (Brazil) famines and the general air movement, Beiträge zur Physik der Freien Atmosphäre, 14, 88-93.
- YAMAZAKI, Y., RAO, V.B., (1977), Tropical cloudiness over the South Atlantic Ocean, Journal Meteorological Society of Japan, 55, 205-207.

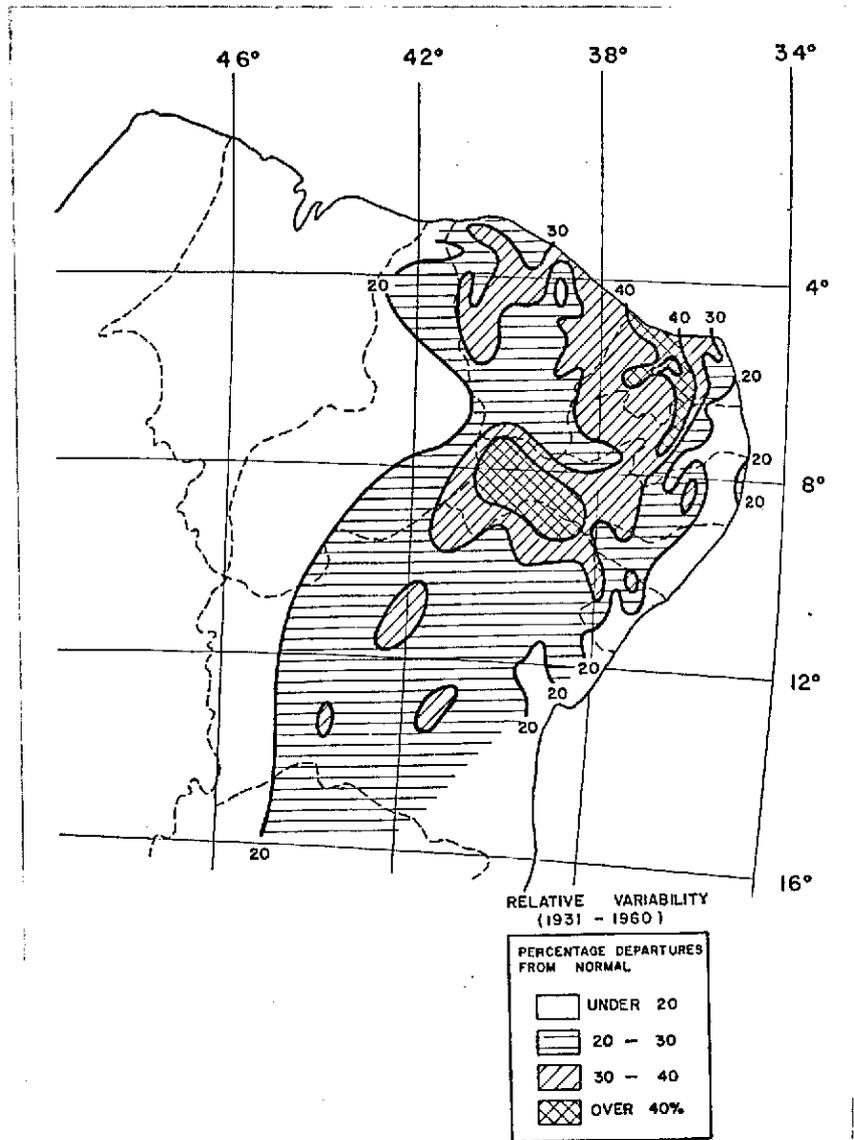


Figura 1 Variabilidade relativa percentual da precipitação no Nordeste do Brasil, para o período de 1931 a 1960. FONTE: Kousky (1979).

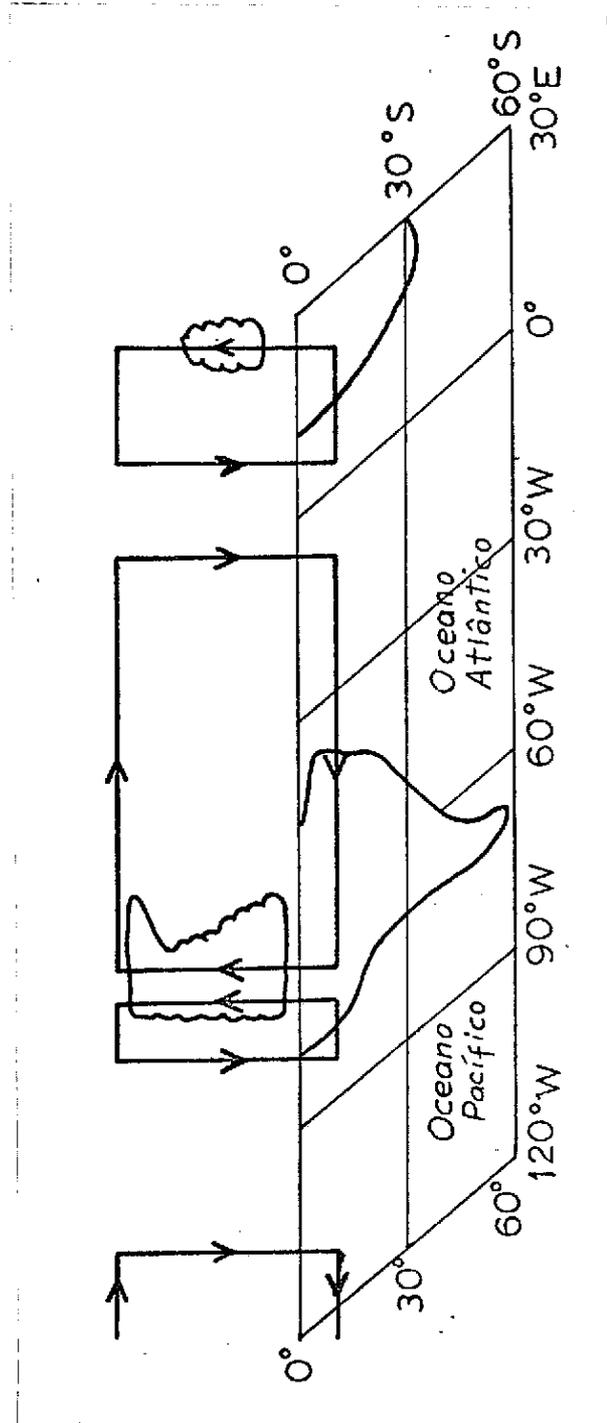


Figura 2 Circulação térmica de Walker, associada com a atividade convectiva na região da Bolívia. As variações de intensidade do ramo descendente podem estar associadas com variações na precipitação sobre o Nordeste. FONTE: Newell (1979), adaptação da figura.

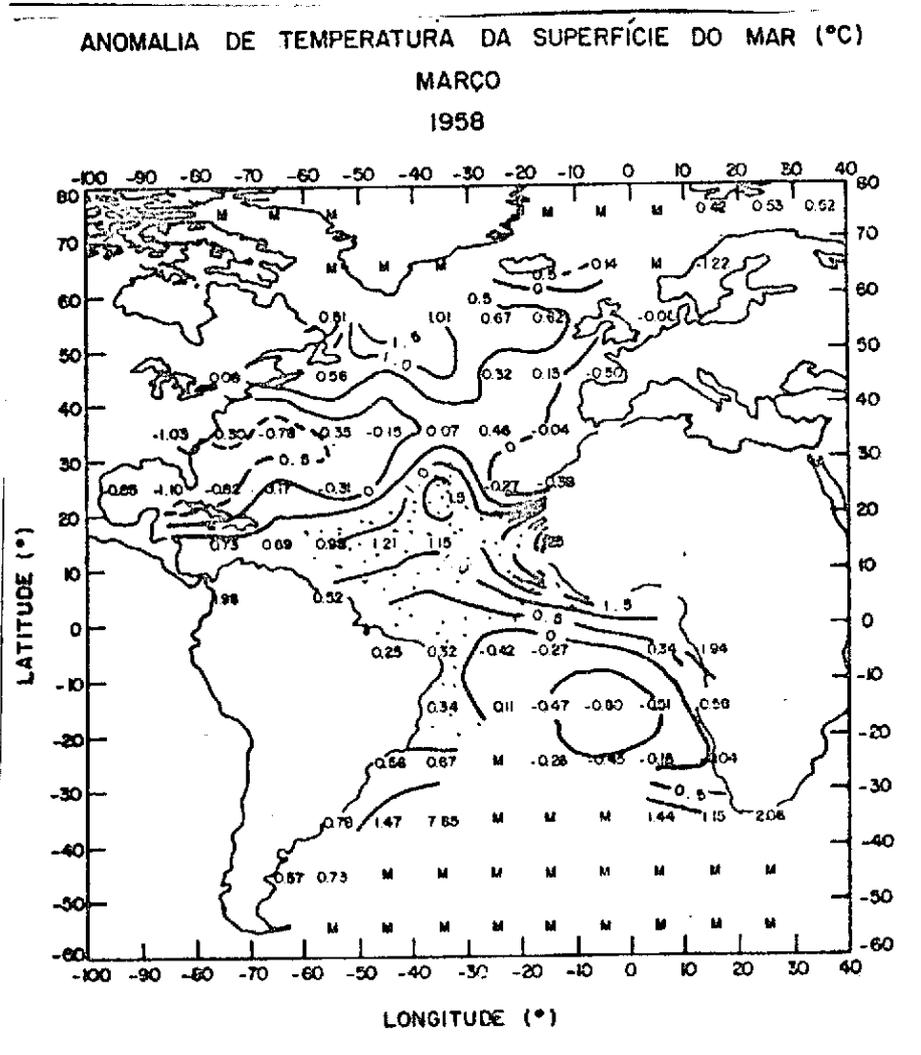


Figura 3 Anomalias na temperatura da superfície do mar, relativas aos valores climatológicos para o mês de março. Associados com a grande seca de 1958, nota-se águas mais quentes do que o normal no Atlântico Norte e mais frias do que o normal no Atlântico Sul. FONTE: Dr. Jack Calman, utilizando dados de Bunker, (1976).

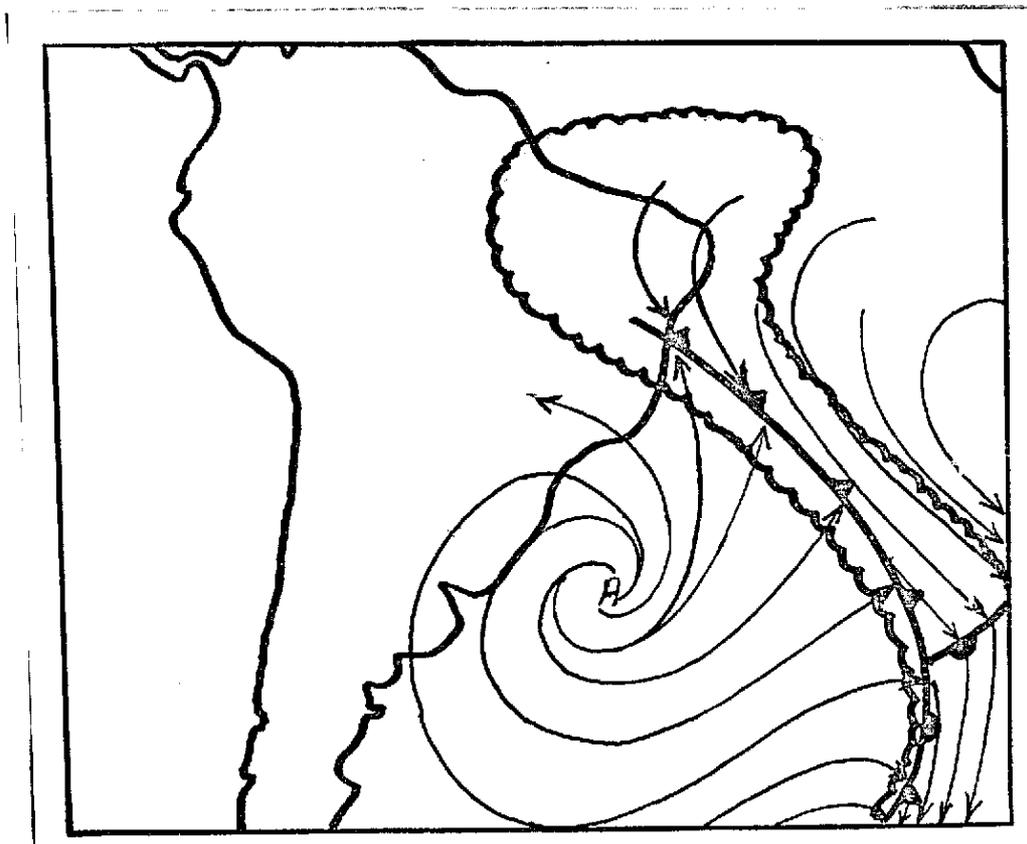


Figura 4 Diagrama esquemático, indicando a influência de uma frente fria ao sul do Nordeste, inclusive a direção do vento no norte da região e a cobertura de nuvens.

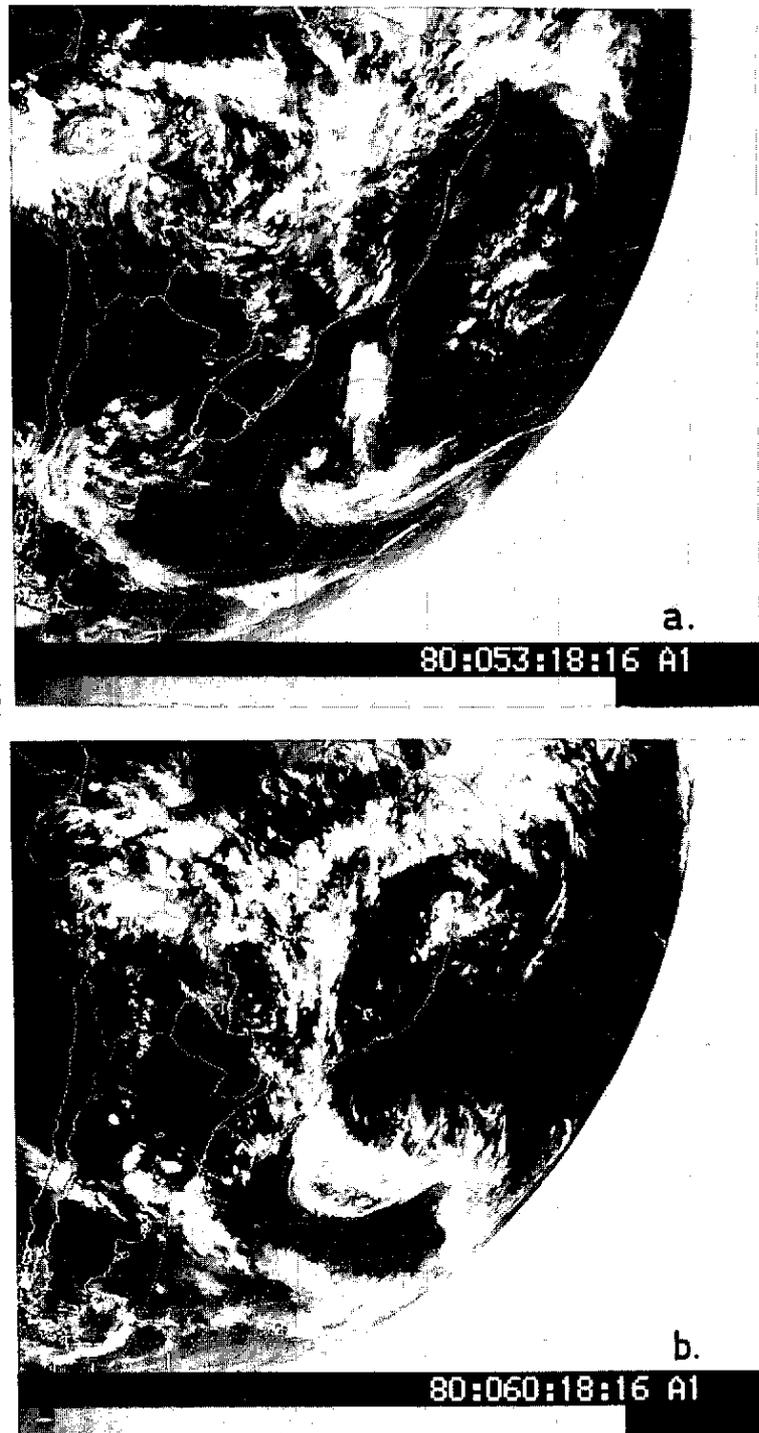


Figura 5 Influência de vórtices ciclônicos na alta troposfera sobre a precipitação no Nordeste. A imagem acima é do dia 22 e a abaixo é do dia 29 de fevereiro de 1980. As imagens foram obtidas pelo satélite SMS-2 e recebidas na estação SMS do INPE. FONTE: Kousky e Alonso (1981).