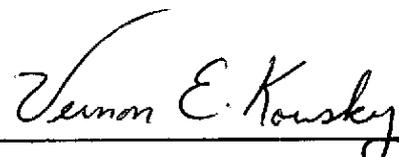


1. Publicação nº <i>INPE-2976-PRE/438</i>	2. Versão	3. Data <i>Dez., 1983</i>	5. Distribuição <input type="checkbox"/> Interna <input checked="" type="checkbox"/> Externa <input type="checkbox"/> Restrita
4. Origem <i>DME/DPM</i>	Programa <i>SINO</i>		
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) <i>FENÔMENO EL NIÑO</i> <i>ANOMALIAS CLIMÁTICAS</i> <i>ANOMALIAS DE PRECIPITAÇÃO</i>			
7. C.D.U.: <i>551.577</i>			
8. Título  <i>EVENTOS OSCILAÇÃO DO SUL - EL NIÑO: CARACTERÍSTICAS, EVOLUÇÃO E ANOMALIAS DE PRECIPITAÇÃO</i>		10. Páginas: <i>43</i>	
		11. Última página: <i>42</i>	
9. Autoria <i>Vernon E. Kousky</i> <i>Iracema F.A. Cavalcanti</i>		12. Revisada por   <i>Luiz Carlos B. Molion</i>	
Assinatura responsável 		13. Autorizada por   <i>Nelson de Jesus Parada</i> Diretor Geral	
14. Resumo/Notas  <p><i>As anomalias climáticas associadas com os eventos Oscilação do Sul - El Niño são altamente persistentes e ocorrem aproximadamente em todo o Globo. A natureza persistente desses eventos é devido ao forte acoplamento entre a atmosfera e o oceano. Embora as causas iniciais da oscilação sejam desconhecidas, uma vez iniciada, a Oscilação do Sul segue uma certa sequência de eventos com efeitos bem definidos na precipitação sobre uma grande parte dos trópicos e subtropicais. Secas na Austrália, Indonésia, Índia, Oeste da África e Nordeste do Brasil, bem como excessiva precipitação no Pacífico Central e Leste, Peru, Equador e Sul do Brasil são bem relacionadas com a Oscilação do Sul. Os eventos de El Niño também são associados com grandes variações na configuração do escoamento troposférico em ambos hemisférios. Os jatos subtropicais da troposfera superior são bem fortes, assim como são fortes as variações no regime dos ventos alísios no Pacífico equatorial em baixos níveis. Durante os eventos El Niño as configurações de bloqueio também são mais frequentes em certas regiões.</i></p>			
15. Observações <i>Submetido para publicação na Revista Ciência e Cultura</i>			

1986

EVENTOS OSCILAÇÃO DO SUL - EL NIÑO: CARACTERÍSTICAS,  
EVOLUÇÃO E ANOMALIAS DE PRECIPITAÇÃO<sup>1</sup>

Vernon E. Kousky e Iracema F.A. Cavalcanti

Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE  
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq  
CP. 515 - 12200 - São José dos Campos, SP, Brasil

ABSTRACT

The climate anomalies associated with Southern Oscillation - El Niño events are highly persistent and nearly global in extent. The persistent nature of these events derives from strong coupling between atmosphere and ocean. Although the initial causes of the oscillation are unclear, once initiated the Southern Oscillation (SO) follows a certain sequence of events with well-defined effects on rainfall over a large portion of the tropics and subtropics. Drought in Australia, Indonesia, India, West Africa and Northeast Brazil, as well as excessive rainfall in the central and eastern Pacific, Peru, Ecuador and Southern Brazil, are all related to the SO. Southern Oscillation - El Niño events are also associated with dramatic changes in the tropospheric flow

---

<sup>1</sup> Partes deste trabalho são tiradas de "The Southern Oscillation: oceanic-atmospheric circulation changes and related rainfall anomalies" por V.E. Kousky, M.T. Kagano e I.F.A. Cavalcanti, que foi submetido para publicação na revista Tellus.

pattern over a broad area of both hemispheres. Wintertime upper tropospheric subtropical jets are especially pronounced as are changes in the low level trade wind regime of both the South Pacific and South Atlantic Oceans. Mid-latitude blocking patterns are also more frequent in certain regions during El Niño events.

#### RESUMO

As anomalias climáticas associadas com os eventos Oscilação do Sul-El Niño são altamente persistentes e ocorrem aproximadamente em todo o Globo. A natureza persistente desses eventos é devido ao forte acoplamento entre a atmosfera e o oceano. Embora as causas iniciais da oscilação sejam desconhecidas, uma vez iniciada, a Oscilação do Sul segue uma certa sequência de eventos com efeitos bem definidos na precipitação sobre uma grande parte dos trópicos e subtropicais. Secas na Austrália, Indonésia, Índia, Oeste da África e Nordeste do Brasil, bem como excessiva precipitação no Pacífico Central e Leste, Peru, Equador e Sul do Brasil são bem relacionadas com a Oscilação do Sul. Os eventos de El Niño também são associados com grandes variações na configuração do escoamento troposférico em ambos hemisférios. Os jatos subtropicais da troposfera superior são bem fortes, assim como são fortes as variações no regime dos ventos alísios no Pacífico equatorial em baixos níveis. Durante os eventos El Niño as configurações de bloqueio também são mais frequentes em certas regiões.

## 1. Introdução

As anomalias climáticas extremas, tais como seca prolongada e precipitação excessiva, afetam dramaticamente a economia e a vida nas regiões atingidas por esses fenômenos.

Os meteorologistas não podem modificar os eventos climáticos anômalos, mas podem contribuir para minimizar os efeitos que tais eventos provocam. Devido à natureza altamente persistente destas anomalias, as quais podem, em alguns casos, se estender por períodos de vários meses, previsões de longo prazo podem ser desenvolvidas através de uma melhor compreensão física das anomalias.

Neste trabalho consideram-se as anomalias atmosféricas e oceânicas associadas com uma flutuação climática muito persistente - a Oscilação do Sul, e suas implicações nas anomalias de precipitação.

## 2. Características da Oscilação do Sul

A Oscilação do Sul (OS) tem sido estudada desde o começo deste século e é relacionada com variações de pressão na região do Oceano Pacífico Leste e na região da Indonésia. Walker e Bliss (1932) notaram que quando a pressão é alta sobre o Oceano Pacífico, ela tende a ser baixa na região da Indonésia, o que implica uma precipitação maior que a normal nesta última região.

A Fig. 1 mostra uma série temporal suavizada da pressão ao nível do mar (PNM) para Easter Island (Pacífico Leste) e Darwin (Austrália). Nesta figura é evidente que a pressão nas duas estações tem uma

correlação altamente negativa. A localização destas estações e de outras freqüentemente referenciadas na literatura em estudos da OS é mostrada na Fig. 2, juntamente com a distribuição da pressão média ao nível do mar. Para verificar a extensão espacial da Oscilação do Sul, Berlage e de Boer (1959) correlacionaram anomalias de PNM de Easter Island com anomalias de PNM de estações selecionadas do globo todo. Os resultados são mostrados na Fig. 3 na forma de isolinhas de coeficientes de correlação. Comparando as Figs. 2 e 3, nota-se que existem dois centros de ação: um na região de baixa pressão (L) no Oceano Índico Leste perto da Indonésia e outro na vizinhança da alta pressão subtropical (H) na região leste e central do Oceano Pacífico Sul.

---

Figs. 1, 2 e 3

---

A Oscilação do Sul é representada por um índice que indica sua intensidade e fase, o qual é definido pela diferença entre os desvios da pressão normal ao nível do mar de duas estações pertencentes aos dois centros de ação. A fase positiva da OS ocorre quando a alta subtropical do Pacífico Leste e o sistema de pressão baixa na Indonésia são mais fortes que o normal; por exemplo, quando a PNM em Easter Island, no Pacífico Leste, é mais alta que o normal e, em Darwin, na Austrália, é mais baixa que o normal. (Todas as anomalias referidas a seguir são com relação ao valor normal). Essas condições proporcionam um aumento na atividade convectiva e precipitação sobre a região da Indonésia, além de alísios de sudeste mais fortes associados à alta subtropical mais intensa no Pacífico Leste. Foi notado por Caviedes (1973) que, na fase positiva da Oscilação do Sul, a atividade con

ectiva na região equatorial permanece ao norte de sua posição normal no Pacífico Leste. Isto resulta em condições mais secas na região equatorial. Durante a fase negativa da OS o sistema de pressão baixa na Indonésia e a alta subtropical do Pacífico Leste são mais fracos. Em consequência disto, a atividade convectiva é menor na Indonésia e norte da Austrália e maior na região equatorial do Pacífico Leste. Com o enfraquecimento da alta subtropical do Pacífico Leste, os ventos de sudeste nesta região tornam-se também mais fracos que o normal.

### 3. Interação entre Oceano e Atmosfera

A relação entre os ventos alísios de sudeste e a temperatura da água do mar associada à OS, foi sugerida por Troup (1965). Na média, as águas são relativamente frias no Oceano Pacífico Leste Equatorial e relativamente quentes no Oceano Pacífico Oeste e Oceano Índico Leste. Isto é principalmente resultado de uma circulação anticiclônica (circulação anti-horária no HS) no oceano e na atmosfera na região do Pacífico, a qual leva água fria para o norte ao longo da costa oeste da América do Sul. Ressurgência costeira, presente ao longo da costa do Peru, que traz água fria do fundo do mar para a superfície, contribui também para a temperatura baixa das águas que escoam em direção a latitudes mais baixas. A corrente equatorial leva esta água para oeste através do Pacífico, e este escoamento zonal é gradualmente aquecido por radiação solar, chegando relativamente mais quente na região do Pacífico Oeste. Desta forma, existe um gradiente na temperatura da superfície do mar (TSM) através do Pacífico, o que estabelece na atmosfera uma célula de circulação direta com ar quente subindo sobre o Pací

fico Oeste e ar frio descendo sobre o Pacífico Leste. Esta célula, esquemática na Fig. 4, foi chamada célula de Walker por Bjerknes (1969) que associou o enfraquecimento ou fortalecimento da circulação de Walker com variações na TSM. Se os ventos de leste nos baixos níveis sobre o Pacífico Leste e Central se enfraquecem, a TSM na região aumenta devido à diminuição de ressurgência na costa oeste da América do Sul e também à penetração de águas equatoriais nessa região. Isso torna o gradiente de temperatura leste-oeste menor, enfraquecendo a célula de Walker. Se os ventos de leste em baixos níveis são fortes, a TSM diminui e o gradiente de temperatura leste-oeste aumenta, originando uma forte circulação de Walker.

---

Fig. 4

---

Os mecanismos que causam um enfraquecimento ou fortalecimento dos ventos de leste ainda não estão completamente estabelecidos. Sabe-se, pelos eventos passados, que em alguns casos existe primeiramente um fortalecimento dos alísios de sudeste, o que causa um acúmulo de águas quentes no Pacífico Oeste. Então há uma rápida transição para a fase negativa da Oscilação do Sul, quando os alísios se enfraquecem e as águas quentes são transportadas para leste.

#### 4. El Niño e sua Relação com a Oscilação do Sul

Os anos em que as anomalias positivas de TSM (águas quentes) são grandes no Pacífico Leste Equatorial, e permanecem assim por vários meses durante a fase negativa da OS, são chamados anos El Niño e o fenômeno, El Niño. A razão deste nome é o fato de essas anomalias

lias de temperatura ocorrerem em torno do Natal, época em que os alísios de sudeste já são normalmente mais fracos. A tendência para o evento El Niño ocorrer durante o verão sul indica que o ciclo sazonal tem um papel importante na Oscilação do Sul (Wyrтки, 1975).

Se os alísios forem mais fortes que o normal durante um verão, haverá um aumento no acúmulo de água quente no Pacífico Oeste, pois haverá 18 meses consecutivos de alísios fortes. Quando estes enfraquecem durante o verão seguinte, as condições são favoráveis para ocorrer um evento El Niño. Esta é a sequência mais comum de eventos segundo Wyrтки (1975), mas existem casos em que os alísios permanecem fracos durante o inverno, o que estabelece um período de 18 meses consecutivos de ventos alísios fracos. Desta forma aparecerão águas anormalmente quentes no Pacífico Leste e Central durante o inverno do Hemisfério Sul. A sequência de eventos que ocorreu durante 1982/1983 é semelhante a este segundo caso (Climate Analysis Center, 1983b; Philander, 1983).

##### 5. Anomalias de Precipitação Associadas à Oscilação do Sul

Uma das primeiras associações entre precipitação e Oscilação do Sul foi estabelecida por Walker (1923, 1924, 1928a) o qual observou precipitação abaixo da normal na região da Indonésia (incluindo o norte da Austrália) e Índia, durante a fase negativa da OS. Trabalhos recentes de Bhalme et alii (1983) e Rasmusson e Carpenter (1983) confirmam a tendência para secas ocorrerem na Índia quando a temperatura da superfície do mar no Pacífico Central está acima da normal. Quinn et alii (1978) mostraram também que a seca na Indonésia está associada com El Niño. Anomalias de precipitação no Nordeste do Brasil associadas à

OS foram consideradas por Walker (1928b), Caviedes (1973) e Hastenrath e Heller (1977) mostraram que secas no Nordeste do Brasil estão relacionadas com eventos El Niño.

Berlage (1966) notou uma alta correlação positiva entre precipitação em Luanda, Angola (oeste da África), e precipitação no Norte-Nordeste do Brasil. Berlage notou também que a OS está diretamente relacionada com anomalias de precipitação em ambas regiões. Recentemente, Moura e Kagano (1983) notaram uma correlação semelhante na precipitação entre as duas regiões. A Fig. 5 apresenta dados dos trabalhos de Rasmusson e Carpenter (1983), Quinn et alii (1978), Berlage (1966) e Bhalme et alii (1983), mais precipitação para 12 estações no Nordeste do Brasil (Ver a Tabela 1 com os nomes e localizações destas estações). Nessa figura é evidente que existe uma grande tendência para o evento El Niño ocorrer simultaneamente ou em torno de um ano de seca no Nordeste do Brasil. O Índice usado aqui foi a soma das anomalias de pressão na superfície do mar (outubro a março), registradas em várias estações da Austrália, Indonésia e Oceano Índico. Assim sendo, os valores positivos correspondem à fase negativa da OS. Dos 6 picos mais altos na OS, 5 estão associados com seca nos anos correspondentes ou no ano seguinte a esses. Como essas secas (1915, 1919, 1932, 1942, 1958) foram as mais severas durante o período apresentado na Fig. 5, parece que o monitoramento das anomalias de pressão da superfície do mar nas regiões da Austrália, Indonésia e Oceano Índico pode ser útil na previsão de secas fortes no Nordeste do Brasil.

---

Tabela 1 e Fig. 5

---

Através de uma análise de precipitação no HS para um evento El Niño recente, Streten (1983) mostrou que na época em que este ocorre a área do sul do Brasil apresenta precipitação acima da normal enquanto a Austrália apresenta seca. Mossman (1924) também notou a relação entre a Oscilação do Sul e a precipitação sobre o Sul do Brasil, Paraguai e Norte da Argentina, através do nível do rio Paraná. Durante a fase negativa da OS, quando a pressão à superfície é anormalmente alta na região da Austrália, há um aumento no nível do rio Paraná. A Fig. 6 mostra os desvios do normal referentes ao nível do rio Paraná e o Índice de OS usado por Berlage (1966). Nota-se a grande concordância entre as duas séries.

---

Fig. 6

---

## 6. Características da Circulação Atmosférica Associadas aos Eventos El Niño - Oscilação do Sul

### a) Teleconexões com latitudes extratropicais

Bjerknes (1966) sugeriu que, durante a fase negativa da OS (quando há uma circulação fraca de Walker), época em que as águas equatoriais são anormalmente quentes no Pacífico Central e Leste, há uma intensificação da célula de Hadley (circulação térmica direta no sentido norte-sul na região equatorial) no hemisfério de inverno. O aumento na circulação da célula de Hadley proporciona um transporte maior de momentum angular para latitudes mais altas e conseqüentemente uma corrente de jato subtropical (ventos fortes em altos níveis da atmosfera) mais forte que o normal. Esta característica da circulação da alta

troposfera tem sido observada durante as respectivas estações de inverno em ambos hemisférios (Arkin, 1982).

Das análises mostradas na Fig. 3, Berlage e de Boer (1959) concluíram que quando a OS está bem desenvolvida (nas duas fases, positiva e negativa), situações de bloqueio são estimuladas em latitudes médias e altas. Estas situações são caracterizadas por uma bifurcação no escoamento do ar em altos níveis da atmosfera que persiste por vários dias. Geralmente, a configuração que se estabelece é de pressões anômalas, baixa em latitudes subtropicais e alta em latitudes extratropicais, dentro da mesma faixa de longitude. Durante a fase positiva da OS há configurações de bloqueio nas regiões do Atlântico e Austrália. Durante a fase negativa, o bloqueio é mais frequente no Pacífico.

#### b) Teleconexões equatoriais

A análise realizada por Kidson (1975), envolvendo pressão ao nível do mar e precipitação, evidenciou, ao lado dos centros de ação já estabelecidos, um outro centro de ação sobre o Nordeste do Brasil, especialmente durante o período de dezembro a fevereiro. Esse centro foi atribuído a uma circulação de Walker na região da América do Sul e Atlântico Sul durante o verão no Hemisfério Sul. Newell (1979) também considerou a existência de uma circulação de Walker nessa região.

Com os dados de vento do National Meteorological Center (NMC) foi calculado o movimento vertical médio para janeiro através do método cinemático com ajustamento de massa. Os anos usados foram de 1979 a 1981, um período no qual os índices de OS não indicavam uma fase positiva nem negativa (Climate Analysis Center, 1983a). Na Fig. 7

são apresentados o movimento vertical e o campo de vento zonal em 5°S, em função da longitude, e o escoamento horizontal próximo ao nível do mar sobre as áreas oceânicas. Características importantes são a circulação ciclônica perto da Austrália e as circulações anticiclônicas sobre o Pacífico Leste e Atlântico Central.

---

Fig. 7

---

A circulação de Walker do Pacífico já foi discutida anteriormente. Focalizando agora a atenção para a região da América do Sul, observa-se, na Fig. 7, movimento ascendente sobre o continente e movimento descendente sobre o Atlântico e próximo da costa nordeste do Brasil. A circulação do vento zonal é semelhante a da circulação de Walker no Pacífico, isto é, ventos de leste em baixos níveis e ventos de oeste em altos níveis relativamente fortes na região de movimento descendente e escoamento do vento fraco em baixos e altos níveis na região de movimento ascendente.

Kidson (1975) argumenta que a circulação de Walker (leste-oeste) sobre o Brasil e o Atlântico Sul está relacionada com a OS da mesma maneira que a circulação de Walker do Pacífico, ou seja, ambas as circulações são fracas durante os eventos El Niño.

Os dados apresentados nas séries dos boletins especiais pelo Climate Analysis Center (1983 a, b, c, d) sobre o recente evento El Niño mostram que ventos de leste em 850 mb e ventos de oeste em 200 mb foram mais fortes que o normal na região leste da Bacia Amazônica e Atlântico Equatorial de novembro de 1982 a maio de 1983. Esta con

figuração, comparada com aquela mostrada na Fig. 7, sugere uma circulação forte tipo Walker com movimento ascendente sobre águas anormalmente quentes do Pacífico Central e Leste, e movimento subsidente sobre a região leste da Amazônia, Nordeste do Brasil e Atlântico Equatorial. Considerando que esta configuração pode ser representativa dos eventos El Niño mais fortes, percebe-se porque estes são relacionados com secas fortes no Nordeste do Brasil. O aumento da força dos alísios no Atlântico, durante os eventos El Niño, estabelece anomalias negativas de TSM, as quais, como mostrado por Hastenrath e Heller (1977), Markham e McLain (1977) e Moura e Shukla (1981), são características importantes nos anos de seca no Nordeste do Brasil. As anomalias negativas de TSM no Atlântico Sul também são positivamente correlacionadas com seca em Angola, oeste da África (Hirst e Hastenrath, 1983), o que é consistente com os resultados de Berlage (1966) que relacionou seca em Angola com seca no Nordeste do Brasil.

A circulação forte de Walker, descrita acima, a qual é parcialmente um deslocamento para oeste da circulação normal de Walker no Atlântico, é um mecanismo diferente para a seca do Nordeste daquele proposto por Moura e Shukla (1981). É também diferente da configuração esperada por Kidson (1975), de fraca circulação de Walker no Atlântico nos anos de El Niño. Entretanto, o esquema sugerido aqui parece ser fisicamente consistente, fornecendo uma explicação plausível da relação entre El Niño, secas no Nordeste e secas na África.

Na Fig. 5 pode-se verificar que secas na Indonésia e Índia também estão relacionadas com a OS, embora, como no Nordeste do Brasil, há casos em que não há simultaneidade nas ocorrências. As secas

podem ocorrer devido a várias causas, desde anomalias na atmosfera regional até anomalias de grande escala como as associadas com a OS. O que se destaca, entretanto, é que os eventos El Niño mais fortes são claramente relacionados com secas fortes em certas regiões dos trópicos e subtropicais e excessiva precipitação em outras regiões.

#### 7. O evento El Niño de 1982-1983: Efeitos no sul do Brasil

Várias regiões do mundo foram afetadas pelas anomalias ocorridas durante o evento El Niño de 1982-1983. Houve cheias na Flórida, parte oeste dos Estados Unidos, Equador, Peru e Bolívia, e secas no Sul da África, Sri Lanka, Sul da Índia, Filipinas, Indonésia e Austrália (Rasmusson e Hall, 1983). No Brasil houve seca no Nordeste e em parte da Região Amazônica e excessiva precipitação acompanhada de enchentes em várias regiões do Sul do País.

As anomalias de temperatura da superfície do mar no Pacífico Leste, para o mês de dezembro de 1982 são mostradas na Fig. 8. Nota-se a grande extensão e intensidade dessas anomalias. Na Fig. 9 pode-se verificar as anomalias de temperatura no Pacífico Central e Leste, de janeiro de 1980 a julho de 1983 (linhas sólidas). Comparando-as com outros episódios de anomalias positivas de temperatura (linha tracejada) nota-se que o evento de 1982-1983 foi, sem dúvida, bastante intenso.

---

Figs. 8 e 9

---

Na Tabela 2 é registrada a precipitação normal e a precipitação de 1983 de algumas estações do Sul-Sudeste do Brasil para os meses de janeiro a julho. Em algumas estações a precipitação de apenas um mês (julho) foi comparável à normal dos sete meses acumulados.

---

Tabela 2

---

Através de imagens de satélite e de dados de superfície verificou-se que a precipitação anormal ocorrida no Sul do Brasil em 1983 esteve associada a sistemas frontais que permaneceram durante longo tempo e com muita atividade sobre a região.

Normalmente, as frentes frias, oriundas de latitudes mais altas, avançam rapidamente para norte e leste durante o inverno, na região da América do Sul. Durante os meses de outono e inverno de 1983, esses sistemas frontais avançaram para norte até atingir a latitude onde se encontra a corrente de jato subtropical (JST). Como sugerido por Bjerknes (1966), e mostrado por Arkin (1982), essa corrente atmosférica em altos níveis é intensificada na região do Pacífico Leste durante os anos de El Niño. As frentes frias tiveram, então, uma tendência a permanecer quase estacionárias um pouco ao norte da latitude do JST. Ao longo e ao sul dessas frentes, houve o desenvolvimento de forte atividade convectiva, que é uma característica associada aos jatos subtropicais (Ramaswamy, 1956; Whitney, 1977), a qual contribuiu para a precipitação excessiva na região Sul e Sudeste do Brasil (ver Tabela 2). Foi notado que este mesmo jato subtropical, que impediu o avanço normal das frentes frias, também foi importante para impedir o avanço

normal, para leste, das ondas troposféricas em latitudes médias. Em consequência disto, houve uma frequência alta de ocorrências de bloqueios sobre o Pacífico Leste e a América do Sul.

Na Fig. 10 é mostrada uma imagem de satélite na qual se superpôs o escoamento do vento em altos níveis da atmosfera. Tem-se, nesta figura, um exemplo da configuração típica da nebulosidade e do escoamento do vento, associada à permanência dos sistemas frontais no Sul do Brasil. O jato subtropical, em linha tracejada - pontilhada, estende-se desde a região onde se encontra a atividade convectiva da parte leste do Pacífico Equatorial até a região onde se encontra o sistema frontal. A bifurcação do jato polar é mostrada pelas linhas tracejadas e indica o bloqueio no escoamento do vento.

---

Fig. 10

---

Os histogramas de precipitação diária, para algumas estações do Sul do Brasil (Fig. 11) mostram a persistência das chuvas em alguns períodos. Pode-se notar a persistente precipitação em São Paulo em fins de maio e início de junho, época em que houve cheias no Vale do Ribeira. Em julho, a precipitação foi intensa em Santa Catarina, época em que ocorreram as grandes enchentes nessa região.

---

Fig. 11

---

## 7. Conclusão

A Oscilação do Sul é um fenômeno de grande escala, altamente persistente, resultante de um forte acoplamento entre o oceano e a atmosfera. Embora as características e efeitos da OS já estejam bem documentados, ainda permanecem dúvidas quanto às causas de seu início.

Neste trabalho, foram apresentadas algumas das características globais da OS com ênfase nos fatores relacionados com as anomalias de precipitação no Brasil.

Um evento El Niño (fase negativa da OS) começa algumas vezes com o fortalecimento dos alísios de SE no Pacífico e acúmulo de água quente no Pacífico Equatorial Leste. Depois disso, os alísios se enfraquecem, geralmente durante o verão sul, e as águas quentes são transportadas para o Pacífico Equatorial Leste. Desta forma, o gradiente normal de TSM leste-oeste é eliminado, há uma distribuição de águas quentes no Pacífico Equatorial e os jatos subtropicais em altos níveis são mais fortes e mais persistentes que o normal em ambos hemisférios. Posteriormente, há uma intensificação dos ventos alísios no período de inverno, o que tende a restituir as temperaturas da superfície do mar ao normal.

As cartas de superfície, que contêm os parâmetros meteorológicos observados, e as cartas do escoamento do vento em altos níveis, juntamente com as imagens de satélite, para 1982-1983, indicam um jato subtropical bem pronunciado sobre a América do Sul e Pacífico Leste, e várias situações de bloqueios em latitudes médias nas vizinhanças da América do Sul e Pacífico Leste. Estes eventos favoreceram a manutenção de

sistemas frontais ativos no sul do Brasil, contribuindo para a excessiva precipitação que ocorreu naquela região. Além disto, o aparente deslocamento e intensificação da célula de Walker do Atlântico parece ter contribuído para a precipitação abaixo da normal no Norte e Nordeste do País.

## REFERÊNCIAS

1. Arkin, P.A. 1982. The relationship between interannual variability in the 200 mb tropical wind field and the Southern Oscillation. *Mon. Wea. Rev.*, 110:1393-1404.
2. Berlage, H.P. 1966. The Southern Oscillation and world weather. *Mededel. Verhandel.*, 88, Kon. Ned. Meteor. Inst., 152 pp.
3. Berlage, H.P. e de Boer, H.J. 1959. On the extension of the Southern Oscillation Throughout the world during the period July 1, 1949 up to July 1, 1957. *Geof. pura e appl.*, 44:287-295.
4. Bhalme, H.N.; Mooley, D.A. e Jadhav, S.K. 1983. Fluctuations in the drought/flood area over India and relationships with the Southern Oscillation. *Mon. Wea. Rev.*, 111:86-94.
5. Bjerknes, J. 1966. A possible response of the atmospheric Hadley circulation to equatorial anomalies of ocean temperature. *Tellus*, 18:820-829.
6. Bjerknes, J. 1969. Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific. *Mon. Wea. Rev.*, 97:163-172.
7. Caviedes, C.N. 1973. Secas and El Niño: Two simultaneous climatological hazards in South America. *Proc. Assoc. Amer. Geogr.*, 5:44-49.
8. Climate Analysis Center. 1983a. Special climate diagnostics bulletin, 14 February 1983. Equatorial Pacific warm episode reaches mature state. Climate Analysis Center, NOAA National Weather Service, Washington, DC (manuscrito).

9. Climate Analysis Center. 1983b. Special climate diagnostics bulletin, 15 April 1983. Update on the 1982/83 Equatorial Pacific warm episode. Climate Analysis Center, NOAA National Weather Service, Washington, DC (manuscrito).
10. Climate Analysis Center. 1983c. Special climate diagnostics bulletin, 15 June 1983. The 1982/83 Pacific warm episode: Intense El Niño conditions persist in eastern Equatorial Pacific. Climate Analysis Center, NOAA National Weather Service, Washington, DC (manuscrito).
11. Climate Analysis Center. 1983d. Special Climate diagnostics bulletin, 15 July 1983. The 1982/83 Pacific warm episode: Falling sea surface temperatures in the eastern equatorial Pacific. Climate Analysis Center, NOAA National Weather Service, Washington, DC (manuscrito),
12. Godbole, R.V. e Shukla, J. 1981. Global analysis of January and July sea level pressure. NASA Technical Memorandum 82097, Godard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland 20771.
13. Hastenrath, S. e Heller, L. 1977. Dynamics of Climate hazards in northeast Brazil. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 103:77-92.
14. Hirst, A.C. e Hastenrath, S. 1983. On mechanisms of sea temperature and rainfall anomalies in the Angola-tropical Atlantic sector. Preprints First International Conference on Southern Hemisphere Meteorology, 31 July - 6 August 1983, São José dos Campos, Brasil, 130-131.

15. Kidson, J.W. 1975. Tropical eigenvector analysis and the Southern Oscillation. *Mon. Wea. Rev.* 103:187-196.
16. Kousky, V.E.; Kagano, M.T.; Cavalcanti, I.F.A. The Southern Oscillation: Oceanic-Atmospheric Circulation changes and related rainfall anomalies, 1983.
17. Markham, C.G. e McLain, D.R. 1977. Sea surface temperature related to rain in Ceará, northeast Brazil, *Nature*, 265:320-323.
18. Mossman, R.C. 1924. Indian moonsson rainfall in relation to South America weather, 1875-1914. *Mem. Ind. Meteor. Dept.*, 23:157-242.
19. Moura, A.D. e Shukla, J. 1981. On the dynamics of drought in northeast Brazil: Observations, theory and numerical experiments with a general circulation model. *J. Atmos. Sci.*, 38:2653-2675.
20. Moura, A.D. e Kagano, M.T. 1983. Teleconnections between South and western Africa as revealed by monthly precipitation analyses. Preprints First International Conference on Southern Hemisphere Meteorology, 31 July-6 August 1983, São José dos Campos, Brazil, 120-122.
21. Newell, R.E. 1979. Climate and the Ocean. *Amer. Sci.*, 67:405-416.
22. Philander, S.G.H. 1983. El Niño Southern Oscillation phenomena. *Nature*, 302:295-301.
23. Quinn, W.N. 1974. Monitoring and predicting El Niño invasions. *J. Appl. Meteor.*, 13:825-830.
24. Quinn, W.N.; Zoph, D.O.; Short, K.S. e Kuo Yang, R.T.W. 1978: Historical trends and statistics of the Southern Oscillation, El Niño, and Indonesian droughts. *Fish. Bull.*, 76:663-678.

25. Ramaswamy, C. 1956. On the subtropical jet stream and its role in the development of large-scale convection. *Tellus*, 8:26-60.
26. Rasmusson, E.M. e Carpenter, T.H. 1983. The relationship between eastern equatorial Pacific sea surface temperatures and rainfall over India and Sri Lanka. *Mon. Wea. Rev.*, 111:517-528.
27. Rasmusson, E.M. e Hall, J.M. 1983. Pacific Ocean Event of 1982/1983. *Weatherwise*, August 1983: 167-175.
28. Streten, N.A. 1983. Southern Hemisphere circulation contrasts in the winters of 1972 and 1973. Preprints First International Conference on Southern Hemisphere Meteorology, 31 July - 6 August, 1983, São José dos Campos, Brazil, 108-111.
29. Troup, A.J. 1965. The Southern Oscillation. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 91:490-506.
30. Walker, G.T. 1923. Correlation in seasonal variations of weather VIII. *Mem. Ind. Meteor. Dept.*, 24:75-131.
31. Walker, G.T. 1924. Correlation in seasonal variations of weather IX. *Mem. Ind. Meteor. Dept.*, 24:275-332.
32. Walker, G.T. 1928a. World Weather III. *Mem. Roy. Meteor. Soc.*, 2:97-106.
33. Walker, G.T. 1928b. Ceará (Brazil) famines and the general air movement. *Beitr. Phys. d. freien Atmos.*, 14:88-93.
34. Walker, G.T. e Bliss, E.W. 1932. World weather V. *Mem. Roy Meteor. Soc.*, 4:53-84.

35. Whitney, L.F. Jr. 1977. Relationship of the subtropical jet stream to severe local storms. *Mon. Wea. Rev.* 105:398-412.
36. Wyrtki, K. 1975. El Niño - The dynamic response of the equatorial Pacific Ocean to atmospheric forcing. *J. Phys. Oceanogra.*, 5, 572-584.

LISTA DE FIGURAS

- 1 - Médias corridas de 12 meses (os pontos são plotados no meio dos 12 meses) de pressão ao nível do mar (mb) para Easter Island (1942-1972) e Darwin, Austrália (1938-1972). Extraída de Quinn (1974).
- 2 - Pressão média ao nível do mar para janeiro (1961-76). Adaptado de Godbole e Shukla (1981). As estações frequentemente chamadas estações chaves na OS e indicadas na figura são: Capetown (Ca), Bombay (B), Madras (M), Calcutta (C), Djakarta (Dj), Darwin (D), Perth (P), Canton Island (CI), Papaete, Tahiti (T), Rapa (R), Easter Island (E), Juan Fernandez Island (J), Galapagos Islands (G), Puerto Chicama (PC), Santiago (S) e Buenos Aires (BA). Fonte: Kousky et alii (1983).
- 3 - Isolinhas de coeficiente de correlação das anomalias de pressão ao nível do mar usando Easter Island (E) como a estação de referência. Adaptado de Berlage e de Boer (1959).
- 4 - Diagrama esquemático da Circulação de Walker no Pacífico. As regiões sombreadas são áreas de movimento ascendente. A configuração da circulação é a média de janeiro de 1979 a 1981. Fonte: Kousky et alii (1983).
- 5 - Índice da Oscilação do Sul e porcentagem da precipitação normal em Luanda, Angola, e média de porcentagem da precipitação normal para 12 estações no Nordeste do Brasil para o período de 1912-1960. As setas no topo da figura indicam os eventos El Niño (eventos de dois anos são unidos por arcos), secas na Índia e na Indonésia. Secas na Indonésia e eventos El Niño foram tirados de Quinn et alii (1978), secas na Índia tiradas da Rasmusson e Carpenter (1983). A

OS e os dados de precipitação em Luanda, Angola, são tirados de Berlage (1966). As estações do Nordeste do Brasil são listadas na Tabela 1. Fonte: Kousky et alii (1983).

- 6 - Anomalias (em metros) do nível do rio Paraná (linha tracejada) em Rosário, Argentina, e um índice de Oscilação do Sul calculado pela soma das anomalias de pressão (mb) em Bombay, Madras, Djakarta, Calcutta, Darwin, Perth e Capetown para o período de outubro a março. Os índices do OS são plotados nos anos correspondentes aos últimos três meses deste período (janeiro a março) e foram tirados de Berlage (1966). As anomalias do nível do rio Paraná são tiradas de Mossman (1924). Fonte: Kousky et alii (1983).
- 7 - Diagrama tridimensional ilustrando a média de janeiro (1979-1981) da configuração do escoamento do vento em 1000 mb (parte horizontal do diagrama), movimento vertical em coordenadas de pressão (linhas sólidas, em unidades de  $10^{-4}$  mb  $s^{-1}$ , com regiões de movimento ascendente sombreadas) e vento zonal (linhas tracejadas) em  $5^{\circ}$ S. Fonte: Kousky et alii (1983).
- 8 - Anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM) para dezembro de 1982. Nota-se que ocorreram até temperaturas com  $5^{\circ}$ C acima do normal no Pacífico Leste. Adaptado de Climate Analysis Center (1983b).
- 9 - Anomalias da TSM (linhas sólidas) para janeiro de 1980 a julho de 1983. As áreas analisadas são apresentadas na parte inferior da figura. A curva tracejada é uma composição das anomalias de 6 episódios com TSM altas (1951, 53, 57, 65, 67, 72). Adaptado de Rasmusson e Hall (1983).

- 10 - Configuração típica da nebulosidade e escoamento do vento em altos níveis, relacionada com a permanência das zonas frontais no Sul e Sudeste do Brasil. Imagem SMS/GOES do dia 12 de junho de 1983 às 1217 TMG.
- 11 - Histogramas de precipitação para maio, junho e julho de 1983, para (a) São Paulo, (b) São José dos Campos, (c) Florianópolis e (d) Campos Novos. (A significa dados não disponíveis) Dados do Instituto Nacional de Meteorologia e do Instituto de Pesquisas Espaciais.

LEGENDA DAS TABELAS

- 1 - Nomes e localizações de estações usadas nas séries temporais da porcentagem média da precipitação normal, apresentada na Figura 8, para o Nordeste do Brasil.
- 2 - Precipitação normal (mm) e a de 1983 para algumas estações do Sul-Sudeste do Brasil. Dados tirados dos Boletins Agroclimatoológicos publicados pelo Instituto Nacional de Meteorologia.

TABELA 1

ESTAÇÃO	ESTADO	LATITUDE (S)	LONGITUDE (W)
Quixeramobim	Ceará	5 <sup>o</sup> 12'	39 <sup>o</sup> 19'
Cratêus	Ceará	5 <sup>o</sup> 11'	40 <sup>o</sup> 40'
Saboeiro	Ceará	6 <sup>o</sup> 32'	39 <sup>o</sup> 54'
Milagres	Ceará	7 <sup>o</sup> 19'	38 <sup>o</sup> 57'
Augusto Severo	R.G. do Norte	5 <sup>o</sup> 51'	37 <sup>o</sup> 19'
Patu	R.G. do Norte	6 <sup>o</sup> 6'	37 <sup>o</sup> 38'
Cajazeiras	Paraíba	6 <sup>o</sup> 53'	38 <sup>o</sup> 34'
Pianco	Paraíba	7 <sup>o</sup> 11'	37 <sup>o</sup> 57'
Flores	Pernambuco	7 <sup>o</sup> 50'	37 <sup>o</sup> 59'
Stã Maria da Boa Vista	Pernambuco	8 <sup>o</sup> 48'	39 <sup>o</sup> 50'
Casa Nova	Bahia	9 <sup>o</sup> 24'	41 <sup>o</sup> 8'
Remanso	Bahia	9 <sup>o</sup> 41'	42 <sup>o</sup> 4'

TABELA 2

	SÃO PAULO (SP)		CURITIBA (PR)		CAMPOS NOVOS (SC)		FLORIANÓPOLIS (SC)		PORTO ALEGRE (RS)	
	NORMAL	1983	NORMAL	1983	NORMAL	1983	NORMAL	1983	NORMAL	1983
Janeiro	254	239	198	268	147	113	171	280	120	88
Fevereiro	227	278	175	77	130	304	164	237	104	159
Março	172	179	125	108	135	158	141	152	89	166
Abril	81	101	78	149	156	160	133	178	102	90
Maior	54	191	85	331	125	382	107	205	114	172
Junho	55	221	89	227	135	187	78	177	139	100
Julho	43	42	82	265	134	716	74	514	128	219
JFM	653	696	498	453	412	575	476	669	313	413
AMJJ	233	555	334	972	550	1445	392	1074	483	581

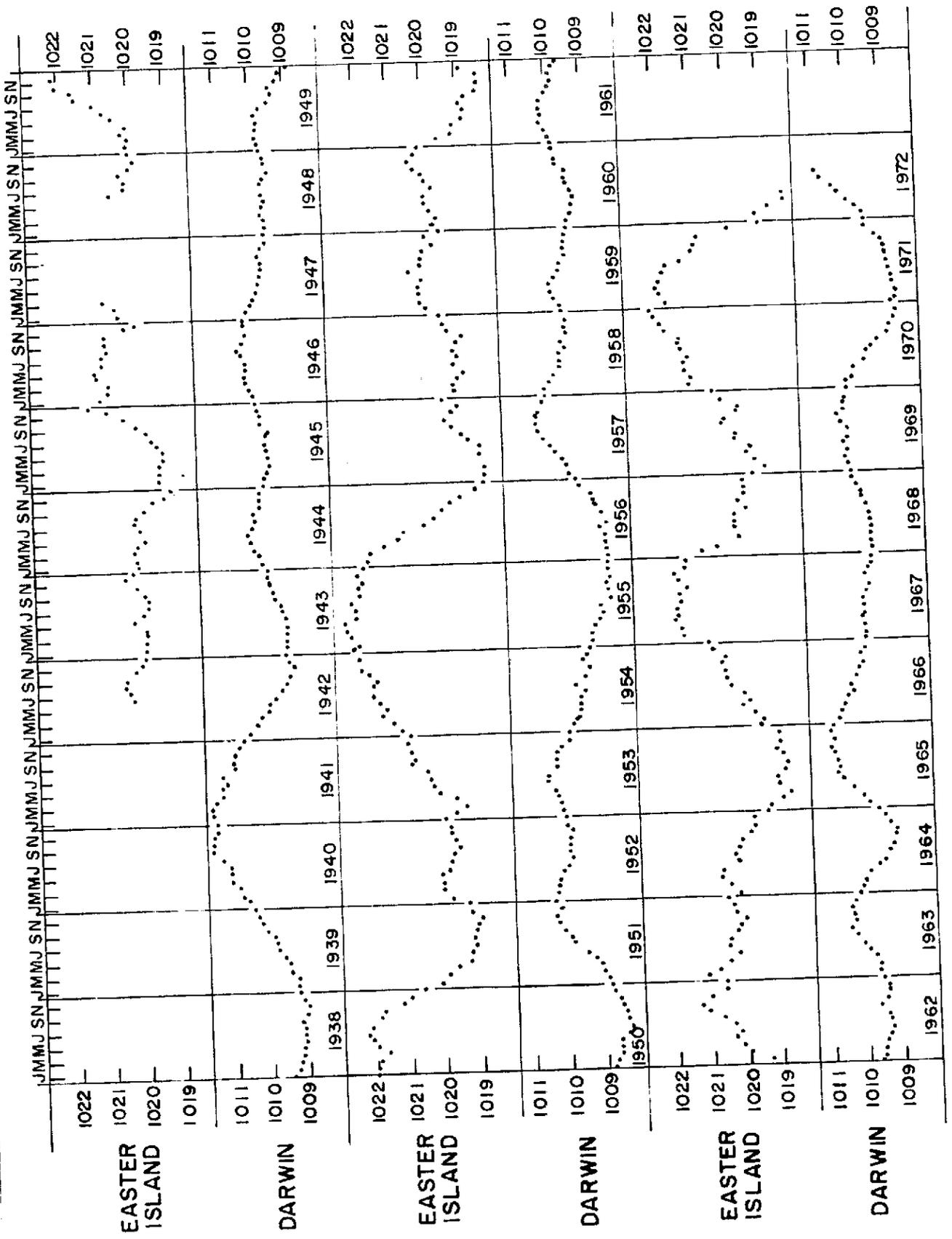


Fig. 1

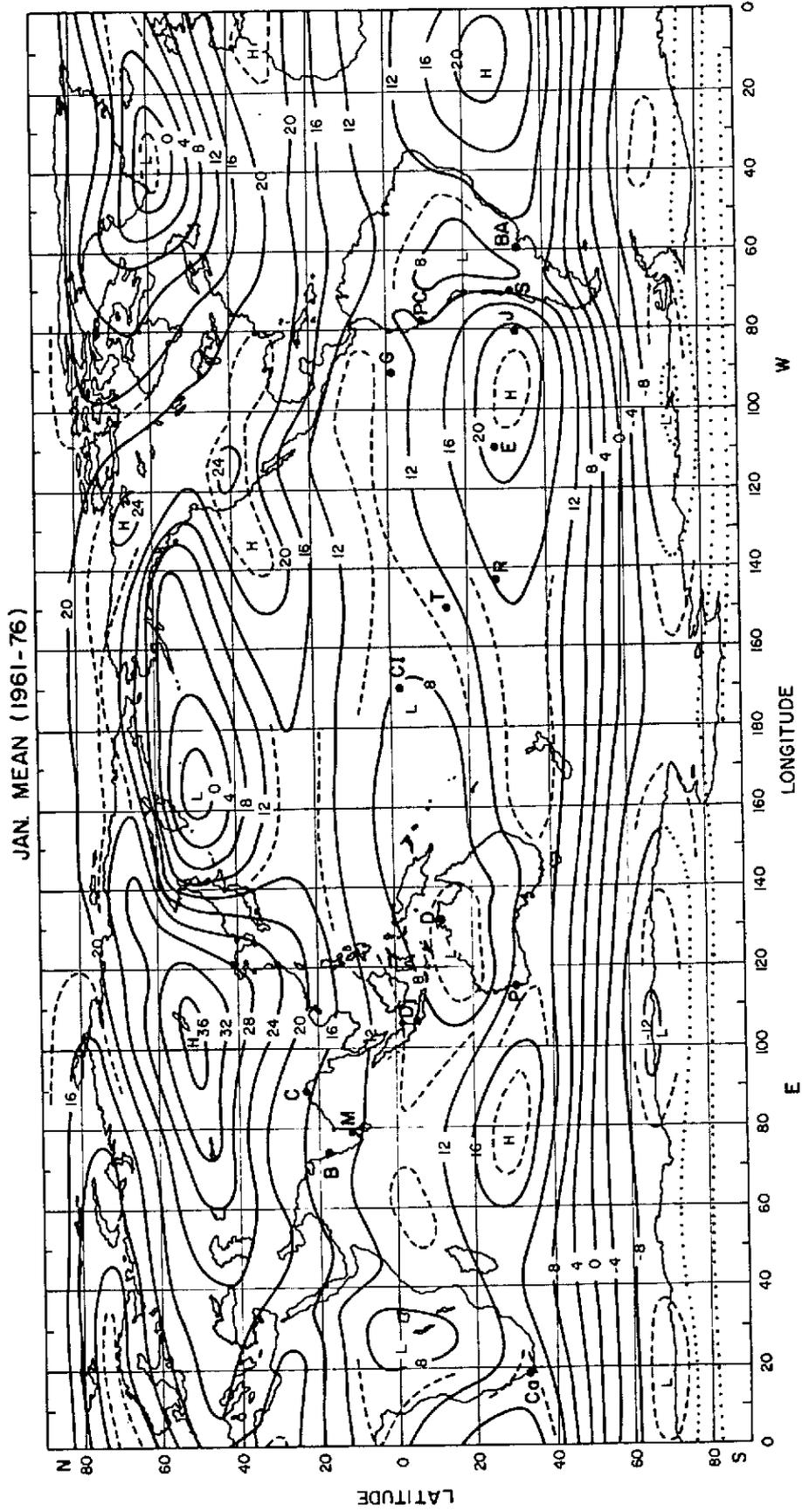


Fig. 2

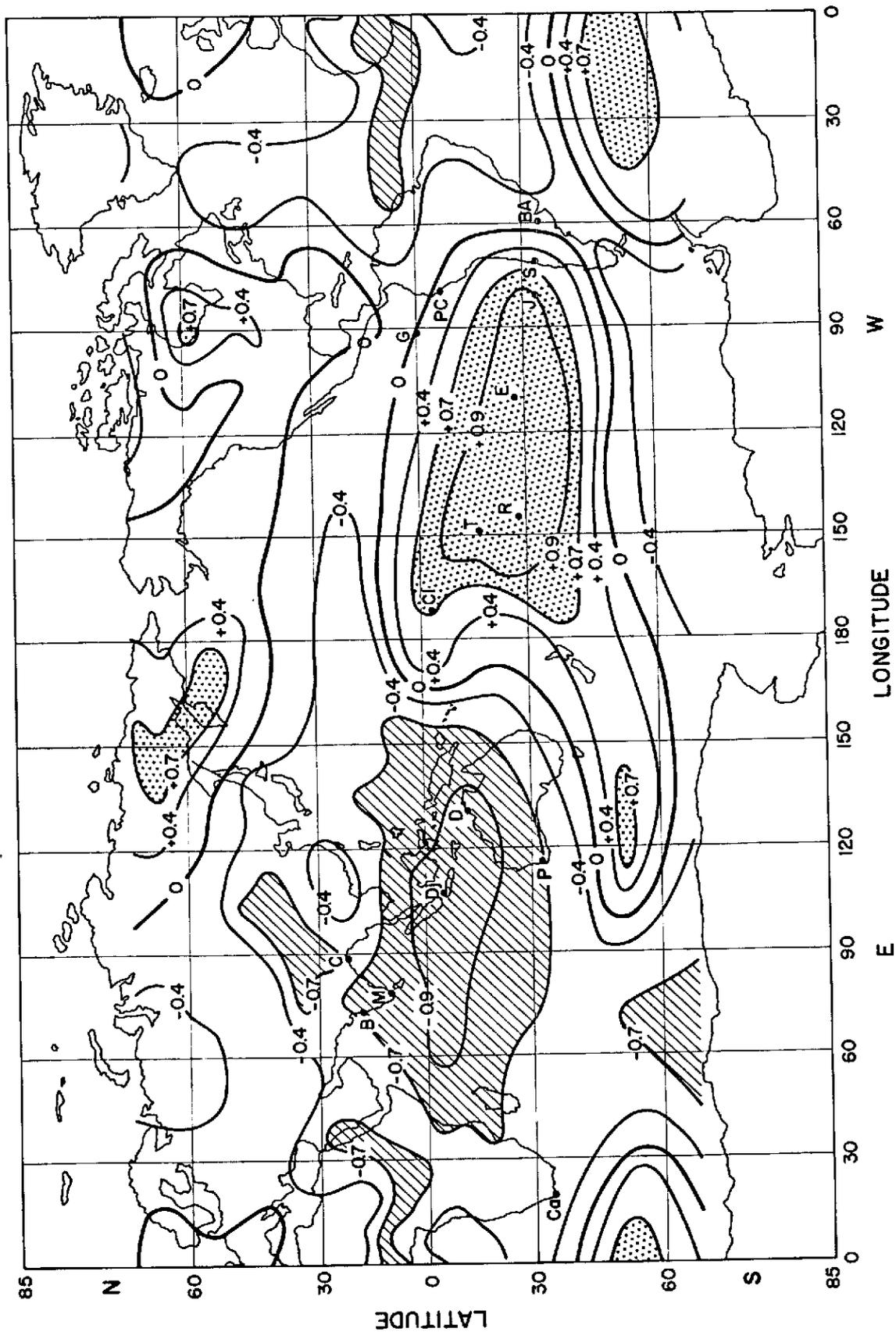


Fig. 3

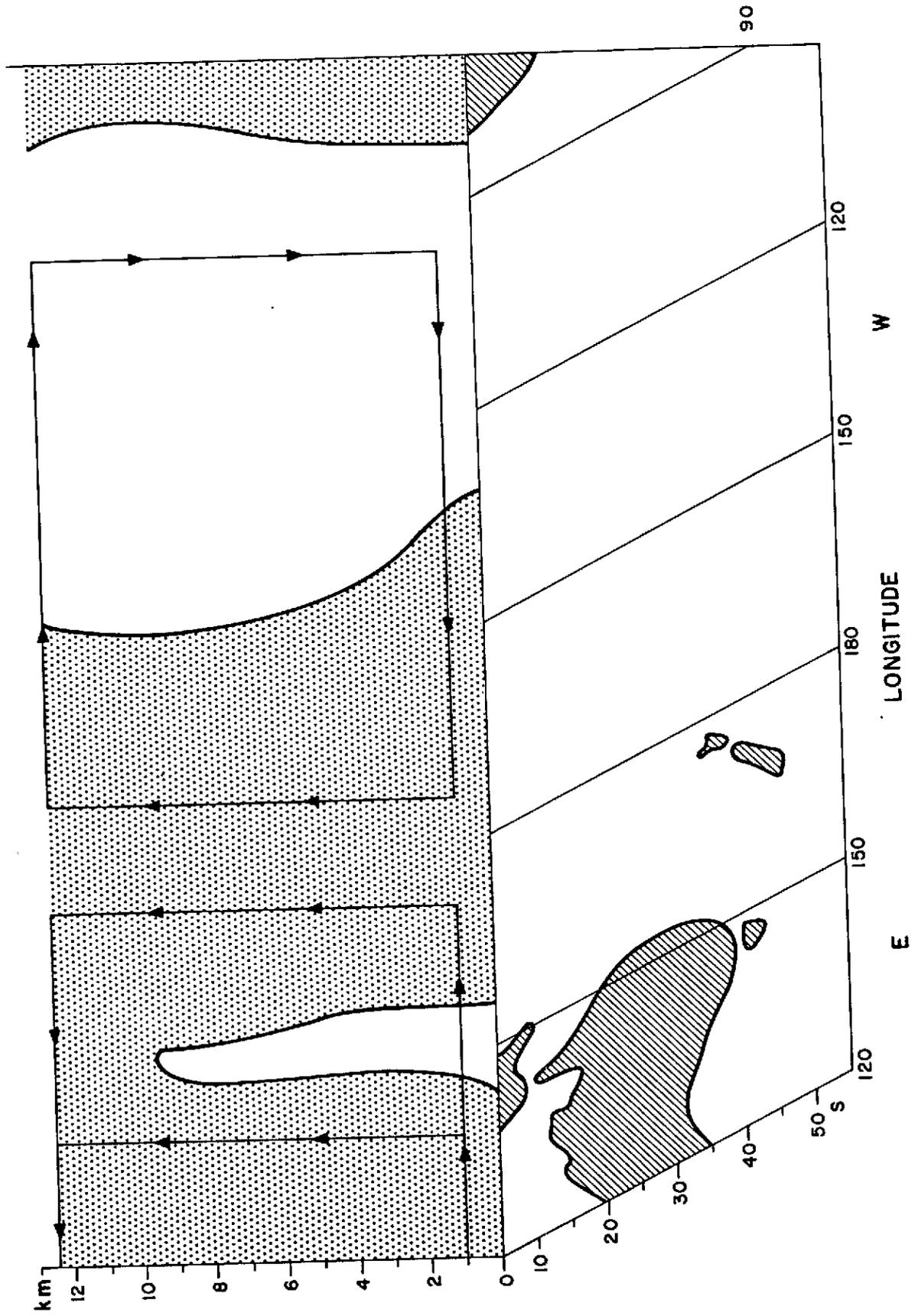


Fig. 4

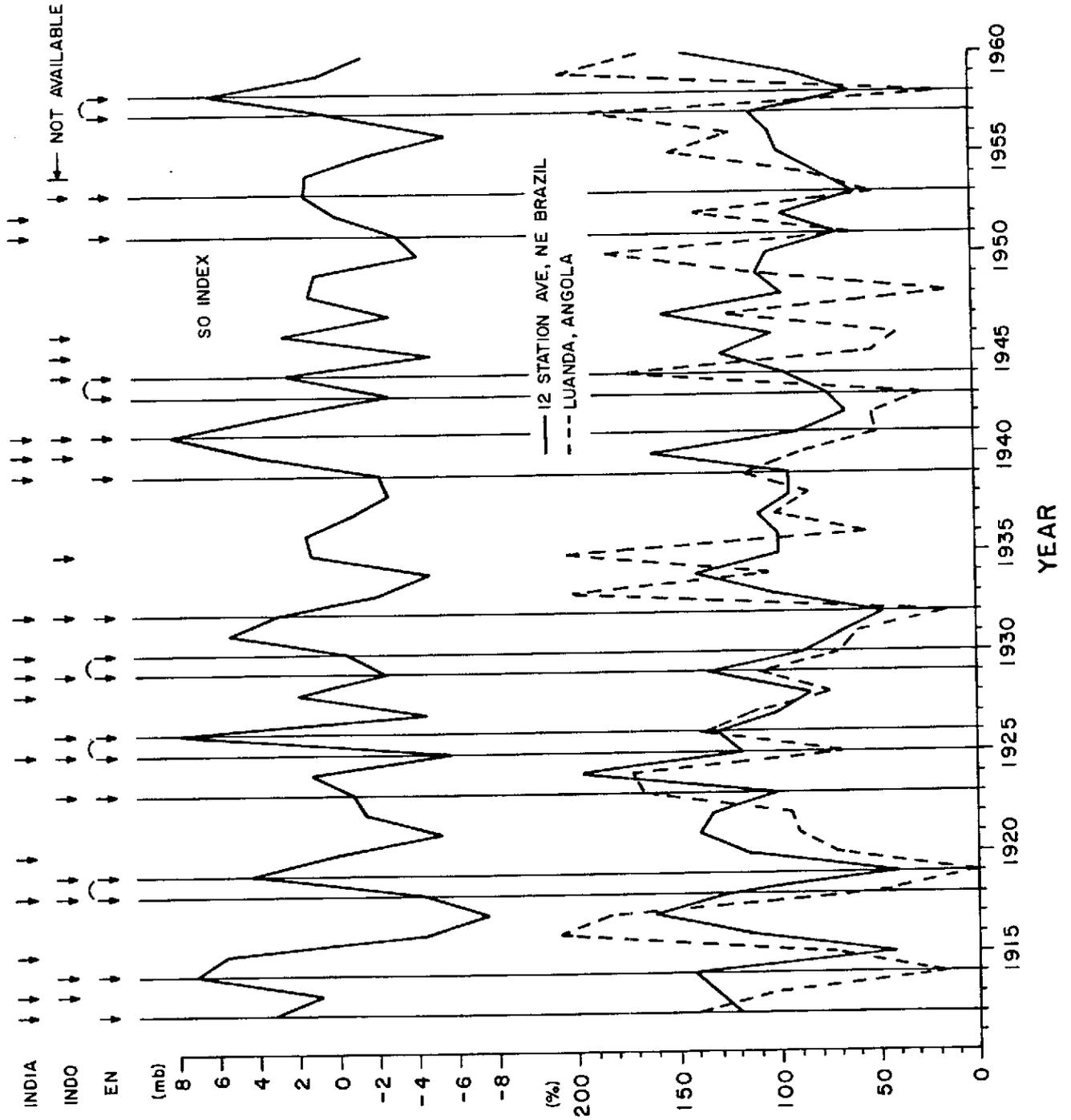


Fig. 5

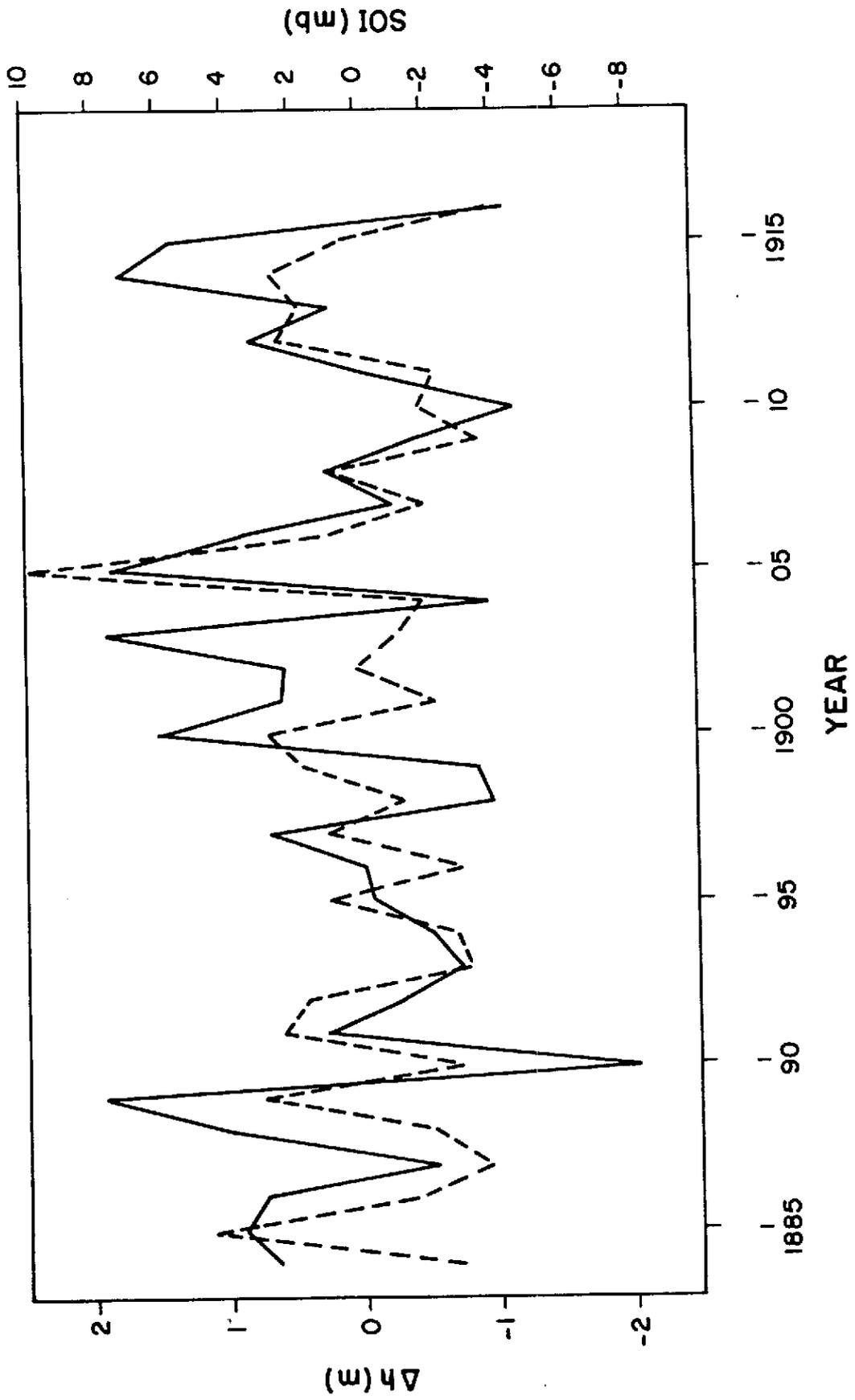


Fig. 6

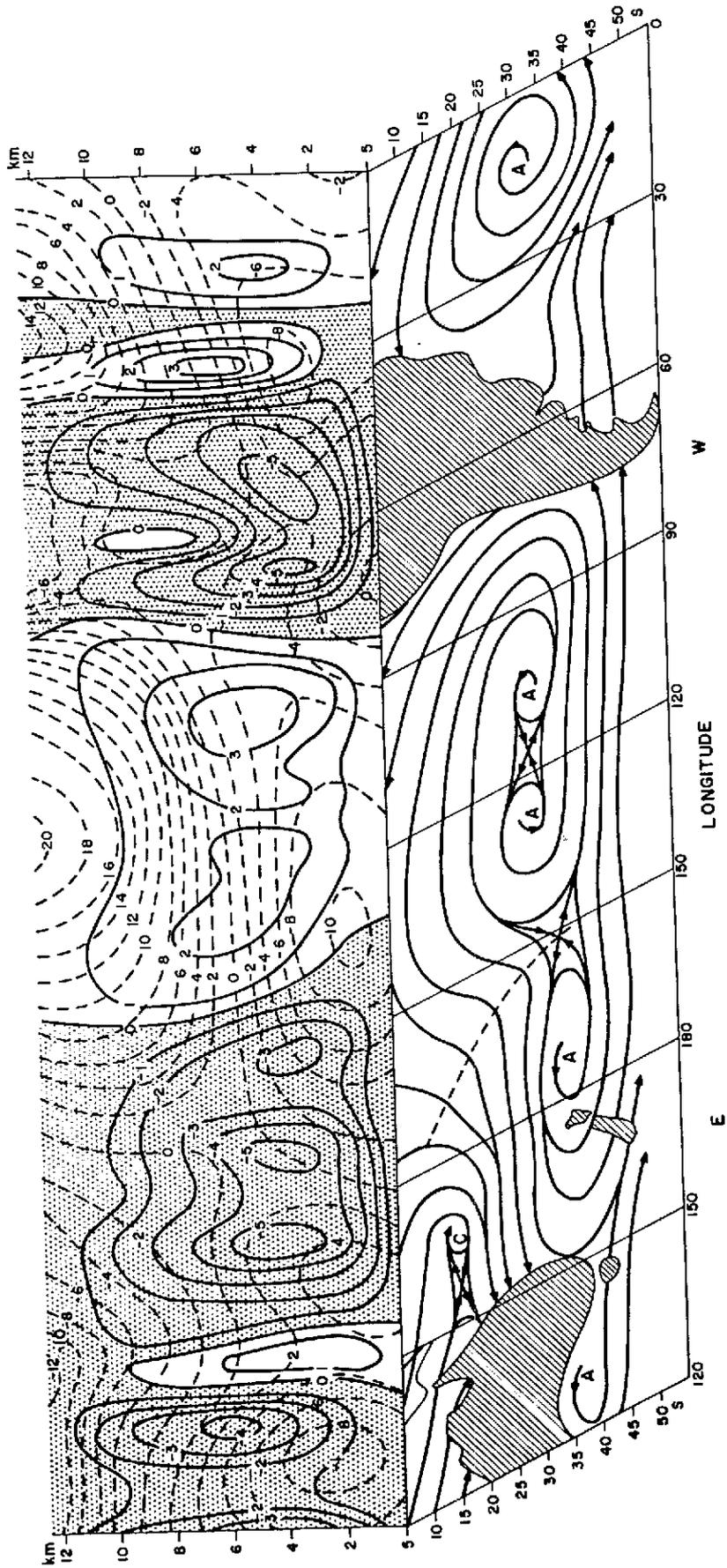


Fig. 7

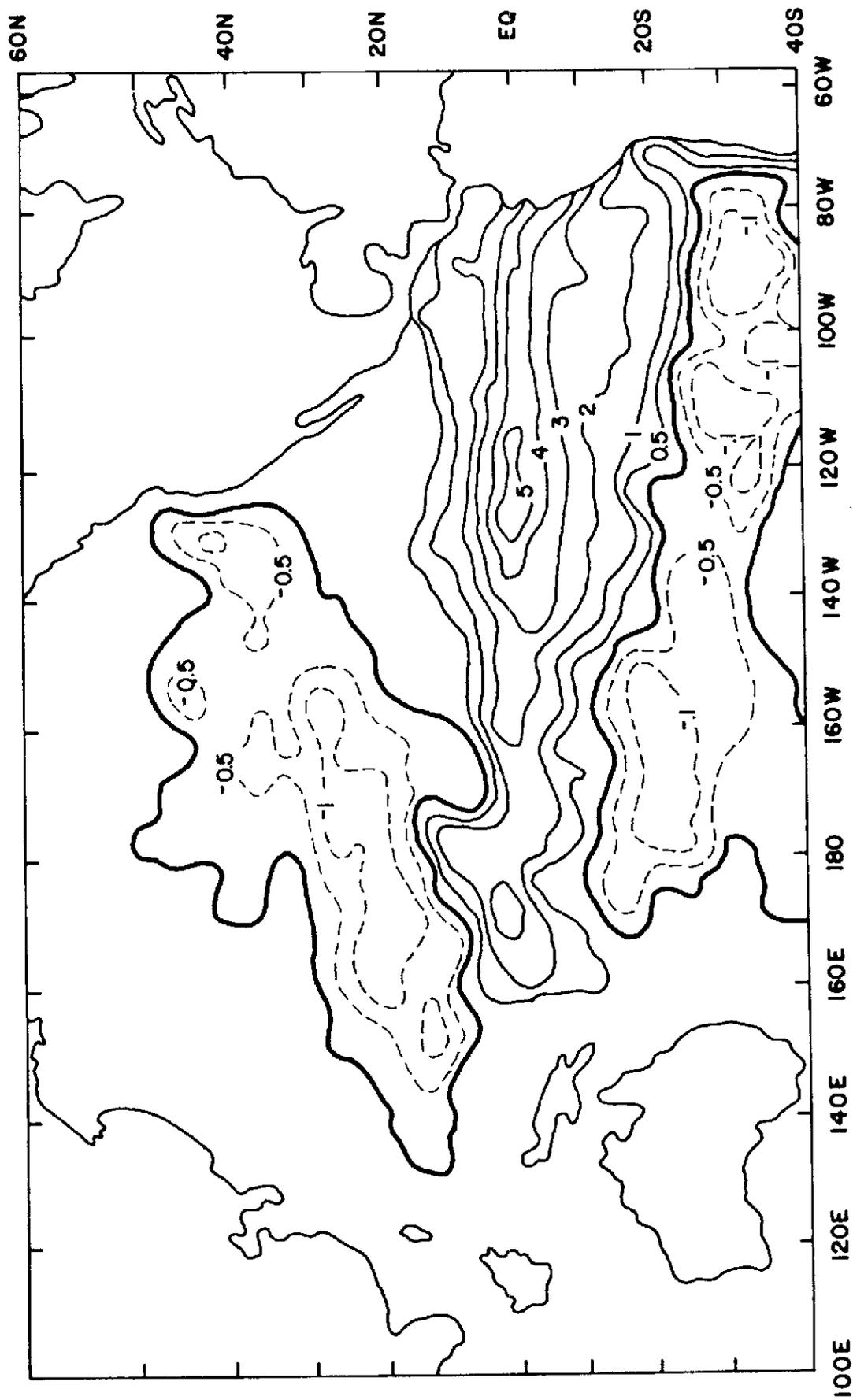


Fig. 8

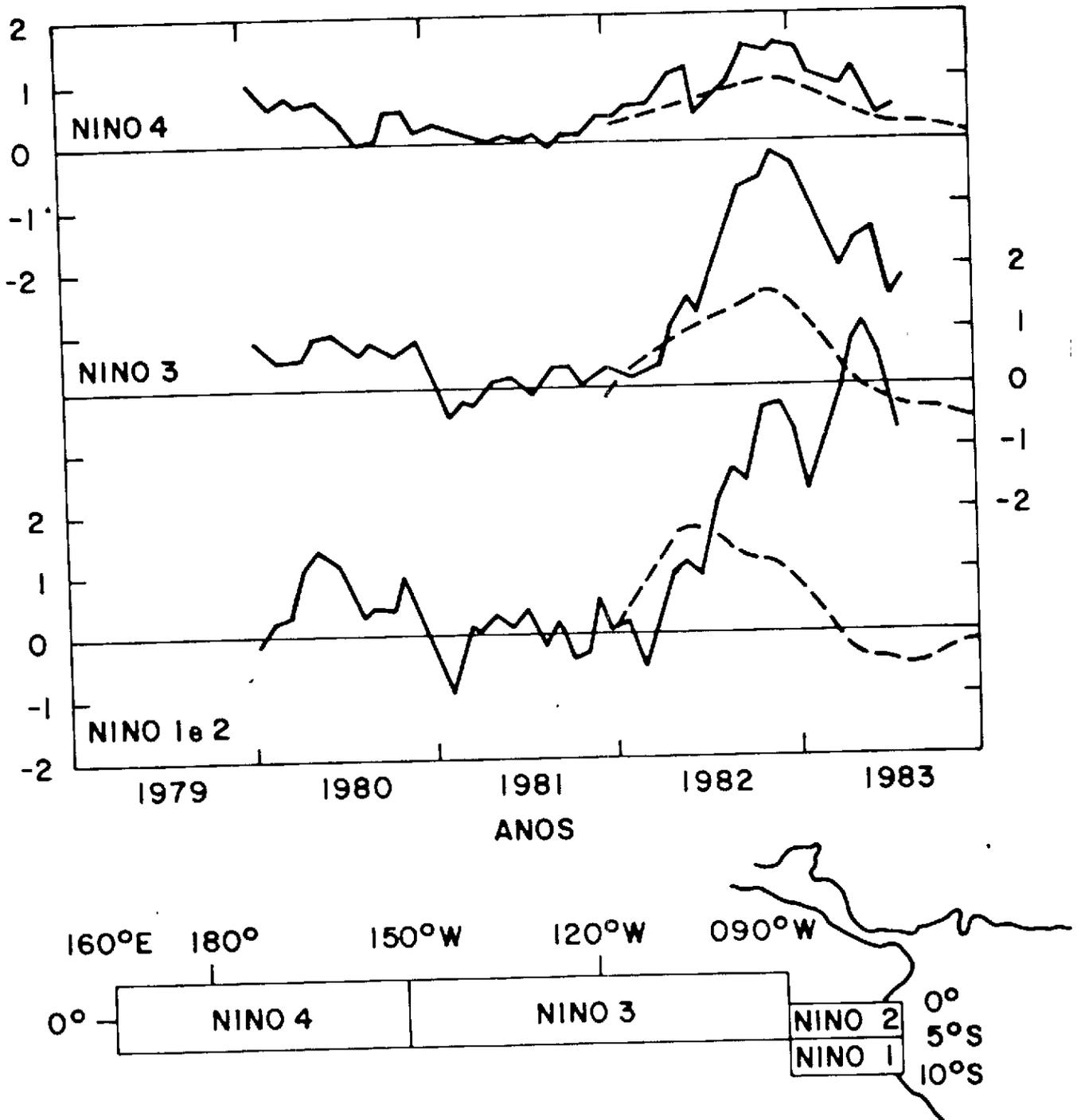


Fig. 9



Fig. 10

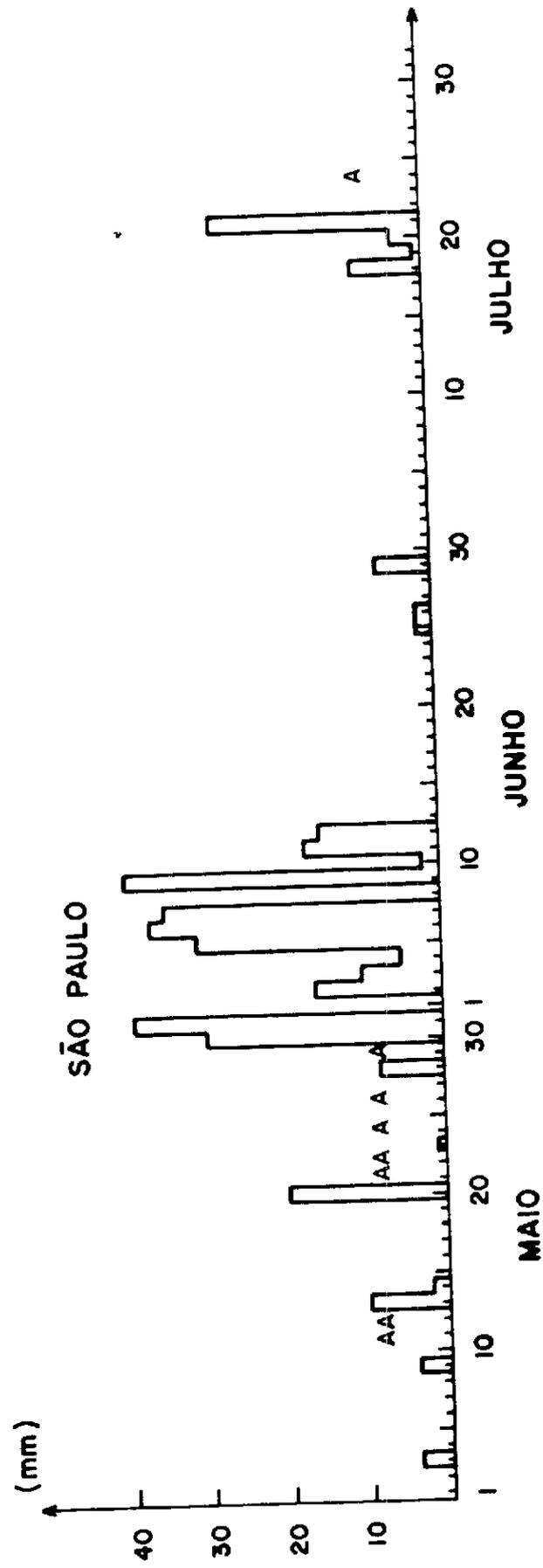


Fig. 11a

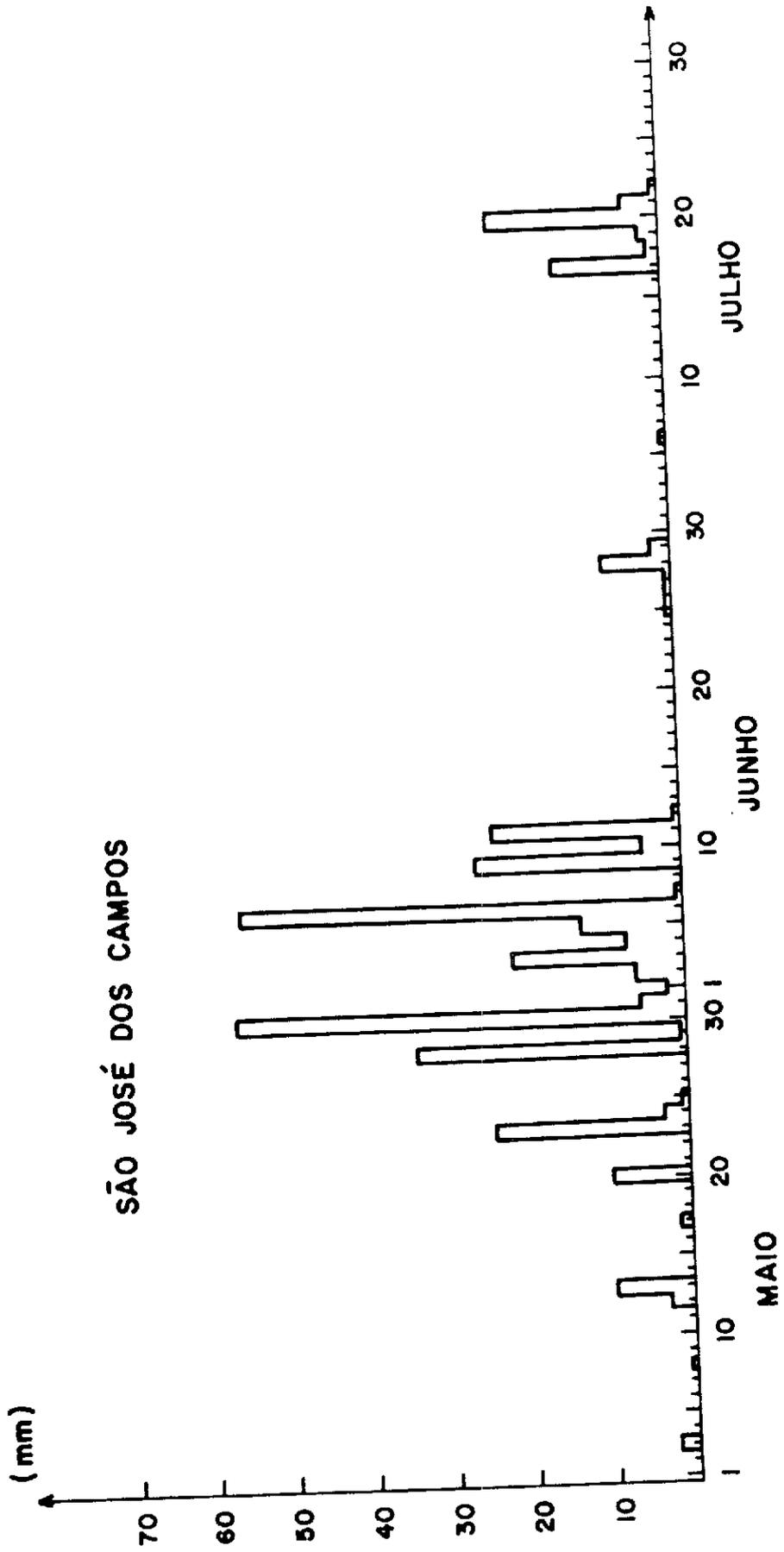


Fig. 11b

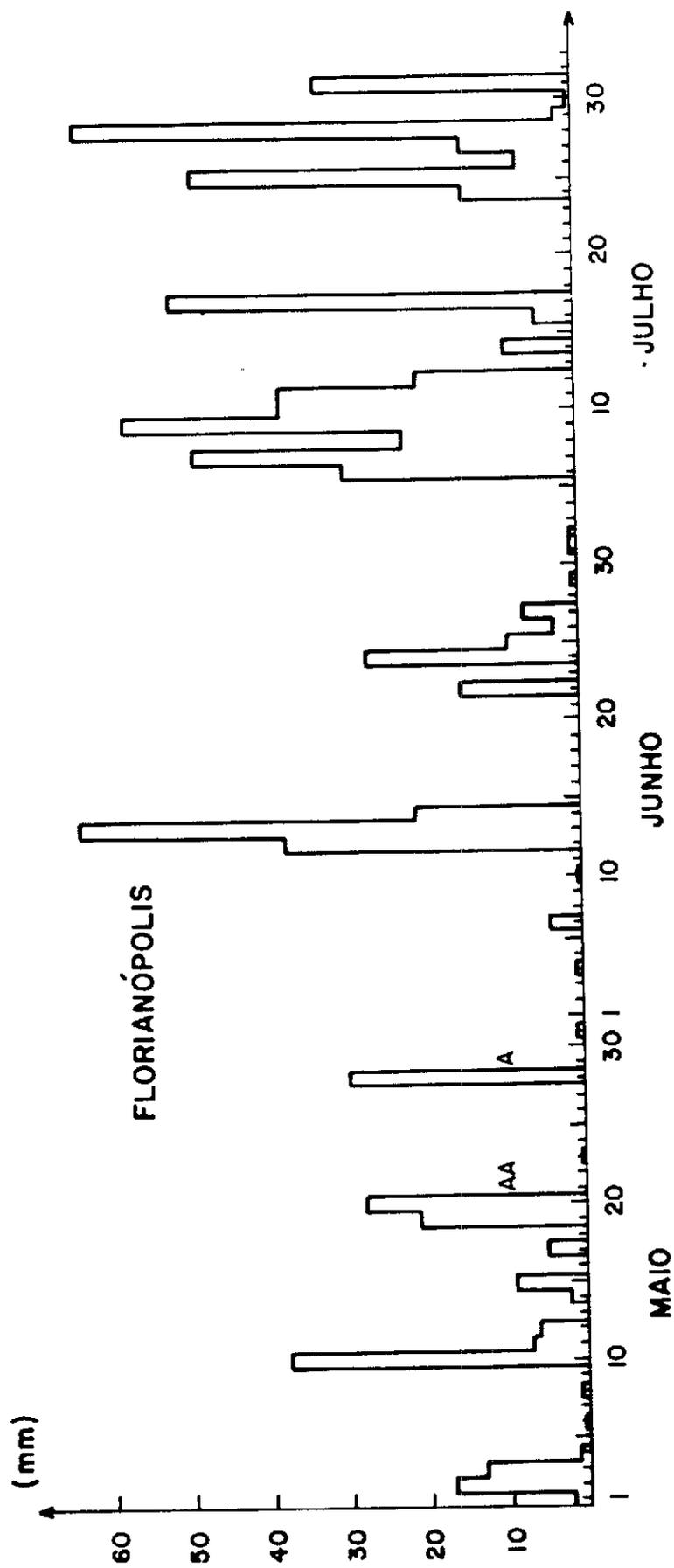


Fig. 11c

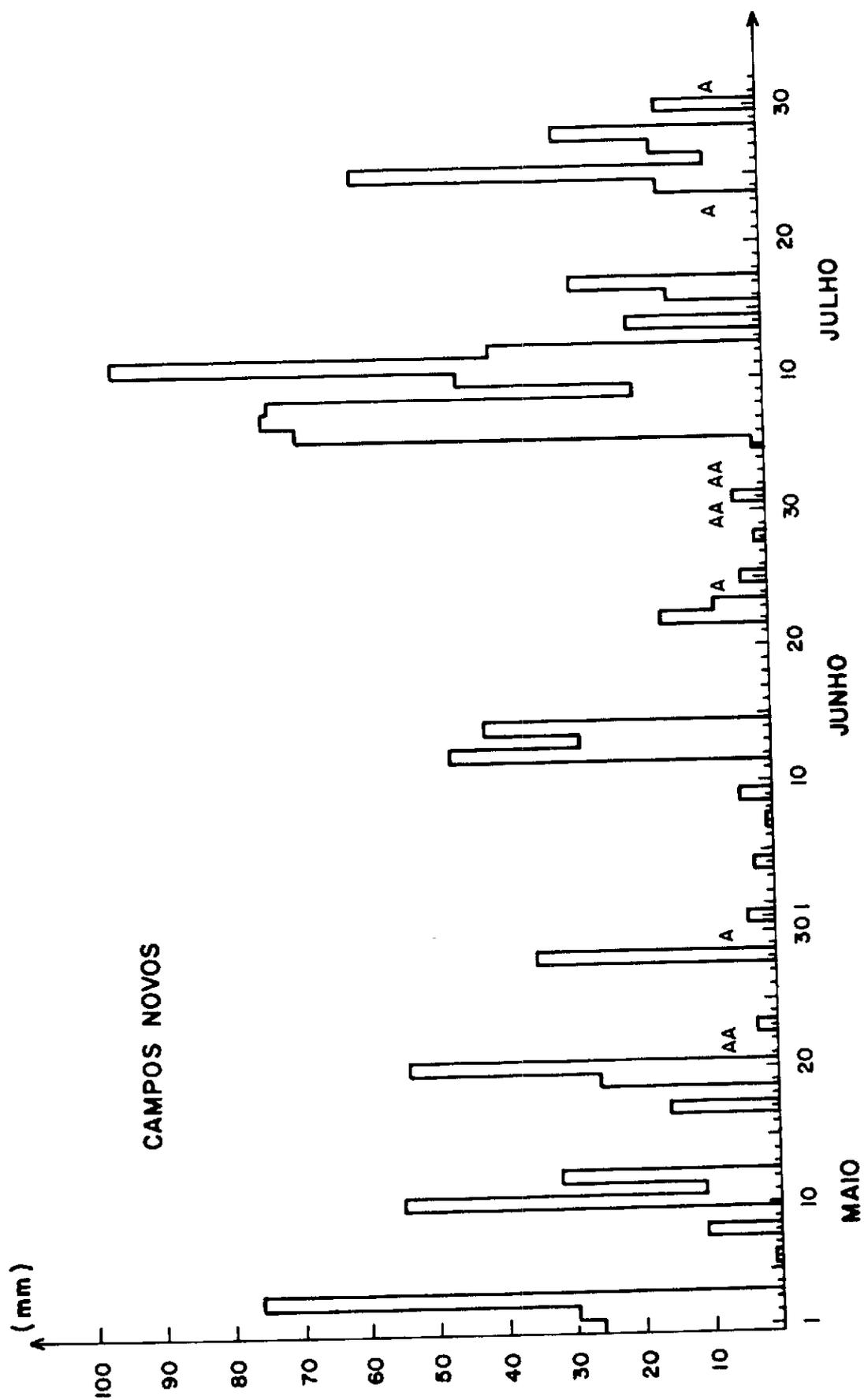


Fig. 11d