

EDGARD KLINGER NEVES

A ESTAÇÃO CHUVOSA NA AMAZÔNIA, DE 1988 A 1989, E
SUA RELAÇÃO COM A CIRCULAÇÃO GERAL DA ATMOSFERA

Tese Apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como Parte das
Exigências do Curso de Meteorolo-
gia Agrícola, para Obtenção do
Título de *Magister Scientiae*.

T
1988
1989
1990
1991
1992

VIÇOSA - MINAS GERAIS

FEVEREIRO - 1995

BIBLIOTECA
DEPTO. ENG. AGRÍCOLA

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV

T

N514e
1995

Neves, Edgard Klinger, 1934-

A estação chuvosa na Amazônia de 1988 a 1989
e sua relação com a circulação geral da atmos-
fera/ Edgard Klinger Neves. - Viçosa : UFV,
1995.

106p. : il.

Orientador: Rubens Leite Vianello.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal
de Viçosa.

1. Climatologia sinótica - Amazônia. 2. Circu-
lação atmosférica - Amazônia. 3. Chuvas - Amazô-
nia - 1988-1989. I. Universidade Federal de Vi-
çosa. II. Título.

CDD. 18. ed. 551.6

CDD. 19. ed. 551.6

EDGARD KLINGER NEVES


A ESTAÇÃO CHUVOSA NA AMAZÔNIA, DE 1988 A 1989, E
SUA RELAÇÃO COM A CIRCULAÇÃO GERAL DA ATMOSFERA

Tese Apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como Parte das
Exigências do Curso de Meteorolo-
gia Agrícola, para Obtenção do
Título de *Magister Scientiae*.

Aprovada: 25 de fevereiro de 1994



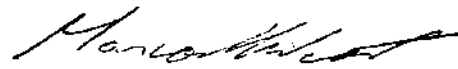
Prof. Adil Rainier Alves
(Conselheiro)




Prof. José Maria N. da Costa
(Conselheiro)



Prof. Sérgio Zolnier



Prof. Marcos Heil Costa



Prof. Rubens Leite Vianello
(Orientador)

A minha esposa Maria de Fátima.

Aos meus filhos Carlos Eduardo e Luiz Henrique.

As minhas filhas Izabela e Rafaella.

Aos meus pais Edgard e Sebastiana (in memoriam).

Aos meus irmãos e irmãs, cunhados e sobrinhos, que muito estimo.

AGRADECIMENTOS

A Jesus, por ter-me concedido a vida, saúde e perseverança para a realização deste Curso.

Ao Instituto Nacional de Meteorologia-INMET, por ter-me concedido licença para a conclusão deste Curso.

A Universidade Federal de Viçosa (UFV), pelos ensinamentos.

A Financiadora de Pesquisas e Projetos - FINEP, pelo suporte financeiro.

Aos Professores Rubens Leite Vianello e Luiz Carlos Baldicero Molion, pela orientação segura no decorrer deste trabalho.

Ao Professor Adil Rainier Alves, pelos conhecimentos transmitidos, pelas leituras e sugestões, pela estima, pelo incentivo e pela hospitalidade, o que muito me auxiliou nos momentos mais difíceis do Curso.

Aos Professores José Maria N. Costa e demais membros da banca examinadora, pelas sugestões, e aos professores do Curso, pelos ensinamentos.

A memória do Professor Celestino Aspiazú, pelos conhecimentos transmitidos, pela estima e pela nobreza de espírito.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV, pela amizade e cordialidade.

Ao José Roberto de Freitas, pela amizade e pela digitação deste trabalho.

Aos meus queridos, esposa Fátima e filhos Luiz Henrique e Carlos Eduardo, pelo carinho, pela amizade, pelo incentivo, pela compreensão, por tolerarem meu ranço e meu cansaço e pela força que me proporcionaram para a conclusão deste trabalho.

Ao Geraldo Felício dos Santos, pela amizade sincera, pela estima, pelo incentivo, pela presteza e pela hospitalidade.

Ao pessoal do 1º Distrito de Meteorologia de Manaus-AM, em particular ao Veríssimo, pela amizade.

Ao Professor Luiz Clairmont, pela amizade, pelo apoio e pelo incentivo durante a fase de realização do Curso.

Aos companheiros de Curso, pela amizade e pela troca de experiência, em particular ao Edmundo e Marco Aurélio e a todos que, direta ou indiretamente, cooperaram para a conclusão deste trabalho.

BIOGRAFIA

EDGARD KLINGER NEVES, filho de Edgard Neves e Sebastiana de Paula Neves, nasceu em 05 de dezembro de 1934, em Tefé, Estado do Amazonas.

Cursou o primeiro e o segundo graus em Manaus, Amazonas.

Em novembro de 1968, graduou-se em Física pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), e em 1969, também pela UFRJ, em Meteorologia.

Em dezembro de 1968, ingressou no Instituto Nacional de Meteorologia-INMET.

De dezembro de 1968 a fevereiro de 1979, trabalhou no Centro de Análise e Previsão-CAPRE do INMET, no Rio de Janeiro e em Brasília.

De março de 1979 a novembro de 1985, trabalhou em Manaus como chefe do 1º Distrito de Meteorologia.

De dezembro de 1985 a fevereiro de 1990, voltou para Brasília, onde exerceu as funções de chefe da Seção de Previsão do Tempo, Seção de Climatologia.

Em março de 1990, iniciou o Curso de Mestrado em Meteorologia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, concentrando seus estudos na Área de Climatologia Sinótica.

CONTEÚDO

	Página
LISTA DE SIGLAS	ix
LISTA DE QUADROS	xiii
LISTA DE FIGURAS	xiv
EXTRATO	xvii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	10
2.1. Grande Escala	10
2.1.1. Alta da Bolívia	16
2.1.2. Zona de Convergência Intertropical (ZCIT)	17
2.1.3. El Niño - Oscilação Sul (ENOS)	19
2.2. Escala Sinótica	24
2.2.1. Sistemas Frontais	24

2.2.2. Zona de Convergência do Atlântico Sul ..	27
2.2.3. Radiação de Onda Longa (ROL)	31
2.2.4. Corrente de Jato Subtropical (CJS)	33
2.2.5. Fontes e Sumidouros	33
2.3. Escala Subsinótica	34
2.3.1. Ondas de Leste	39
2.4. Meso e Microescala	40
3. MATERIAL E MÉTODOS	44
3.1. Análise das Cartas de Superfície	51
3.1.1. Análises Globais de TSM	53
3.2. Análise das Cartas de Ar Superior	54
3.2.1. Análises Globais das Cartas de 850, 500 e 200 hPa	55
3.2.2. "Grids" de Superfície e Ar Superior	55
3.3. Imagens de Satélite	56
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
4.1. Resultados das Análises das Cartas Pluviométricas Mensais	62
4.2. Resultados das Análises das Cartas de Superfície	77
4.3. Resultados das Análises das Imagens do Satélite GOES	82
4.4. Resultados das Análises dos Mapas de 850, 500 e 200 hPa	92
5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES	95
BIBLIOGRAFIA	99

LISTA DE SIGLAS

- . A - Ativa, (o)
- . AB - Alta da Bolívia.
- . ABLE - Experimento Entorno da Camada Limite.
- . AMJ - Agência de Meteorologia do Japão.
- . AVHRR - Advanced Very High Resolution Radiometer (Radiômetro de Alta Resolução a Bordo do Satélite de Órbita Polar da Série NOAA).
- . Bloq - Bloqueio
- . CAC - Climate Analysis Center (Centro de Análise Climática do Serviço de Meteorologia dos EUA).
- . Cb - Cúmulo-Nimbos.
- . CCM - Complexo Convectivo de Mesoescala.
- . CISK - Conditional Instability of Second Kind (Instabilidade Condicional de Segunda Espécie).
- . CJ - Corrente de Jato.
- . CJP - Corrente de Jato Polar.
- . CJS - Corrente de Jato Subtropical.
- . CPRM - Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais.
- . DISME - Distrito de Meteorologia.

- . DNAEE - Departamento Nacional de Aguas e Energia Elétrica.
- . ECMWF - European Center of Medium Range Weather Forecast (Centro Europeu de Previsão do Tempo a Médio Prazo).
- . ENOS - El Niño-Oscilação Sul.
- . ESMET - Estação Meteorológica.
- . ETP - Evapotranspiração Potencial.
- . ETR - Evapotranspiração Real.
- . F - Fraco.
- . FF - Frente Fria.
- . FQ - Frente Quente.
- . Frt - Forte.
- . GOES - Geostationary Operational Environmental Satellite (Satélite Meteorológico Geoestacionário).
- . GRIDES - Cartas Globais em Forma de Grades de 5° x 5° de Latitude e Longitude.
- . GTE - Experimento Global da Troposfera.
- . GTS - Global Telecommunications System (Sistema Global de Telecomunicações).
- . H.L. - Hora Local.
- . hPa - Hecto Pascal.
- . H.N. - Hemisfério Norte.
- . H.S. - Hemisfério Sul.
- . IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
- . INMET - Instituto Nacional de Meteorologia.
- . INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
- . IOS - Índice de Oscilação Sul. Diferença de Pressão Atmosférica, ao Nível do Mar, entre Taiti e Darwin, em Relação à Média Anual do Desvio-Padrão.
- . IV - Radiação Eletromagnética na Faixa do Infravermelho.
- . Lc - Linha de Corrente, Comportamento Meridional (Verão).
- . LCz - Linha de Corrente, Comportamento Zonal (Inverno).

- . LCb - Linha de Cúmulo-Nimbos.
- . LI - Linha de Instabilidade.
- . LIC - Linha de Instabilidade que Dissipa na Costa.
- . LIP - Linha de Instabilidade que se Propaga Continente a Dentro.
- . M - Moderado.
- . mb - Milibar.
- . MC - Média Climática ou Climatológica.
- . METEOSAT - Meteorological Satellite (Satélite Meteorológico Geoestacionário da Agência Espacial Européia).
- . NESDIS/ESL - National Environmental Satellite Data and Information Service/Environmental Satellite Laboratory (Serviço de Disseminação de Dados de Satélites Ambientais dos EUA/Laboratório de Satélites Ambientais).
- . NMC - National Meteorological Center (Centro Nacional de Meteorologia dos EUA).
- . NOAA 9 - Satélite Meteorológico de Órbita Polar da NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration (Administração Nacional dos Oceanos e da Atmosfera dos EUA).
- . NWS - National Weather Service (Serviço Nacional de Previsão do Tempo dos EUA).
- . OL - Onda de Leste.
- . OMM - Organização Meteorológica Mundial.
- . PNM - Pressão ao Nível do Mar.
- . PORTOBRÁS - Empresa de Portos do Brasil S.A.
- . ROL - Radiação de Onda Longa.
- . SF - Sistema Frontal.
- . SFHN - Sistema Frontal do Hemisfério Norte.
- . SFHS - Sistema Frontal do Hemisfério Sul.
- . SMS - Special Meteorological Satellite (Satélite Meteorológico da Série GOES).
- . TMG - Tempo Médio de Greenwich.
- . TPP - Tropopausa.
- . TSM - Temperatura da Superfície do Mar.

- . VIS - Radiação Eletromagnética na Faixa Visível do Espectro.
- . WMO - World Meteorological Organization.
- . ZCAS - Zona de Convergência da América do Sul.
- . ZCIT - Zona de Convergência Intertropical.
- . ZCPS - Zona de Convergência do Pacífico Sul.

LISTA DE QUADROS

Quadros	Página
1 - Cotas Máximas do Rio Negro Observadas em Manaus de 1904 a 1989	4
2 - Índices de Oscilação Sul	20
3 - Cotas do Nível do Rio Negro, no Porto de Manaus, em Relação ao Nível do Mar no Ano de 1988	45
4 - Cotas do Nível do Rio Negro, no Porto de Manaus, em Relação ao Nível do Mar no Ano de 1989	46
5 - Estações Meteorológicas dos Distritos de Meteorologia na Amazônia	48
6 - Sistemas Atmosféricos que Contribuíram para Produzir as Condições de Tempo na Amazônia para o Período de Setembro de 1988 a Maio de 1989	72
7 - Sistemas Atmosféricos Significativos que Produziram as Condições de Tempo na Amazônia para o Período de Setembro de 1988 a Maio de 1989 e Índices de Oscilação Sul dos Anos de 1952/53, 1975/76 e 1988/89	86

LISTA DE FIGURAS

Figuras	Página
1 - Cotas Máximas do Rio Negro em Manaus, de 1903 a 1990	5
2 - Variações do Nível do Rio Negro, Cotas Máximas e Mínimas, em Manaus, Série Histórica de 1903 a 1991	6
3 - Linhas de Função de Corrente Representando o Escoamento Troposférico de Julho (Inverno), Níveis de 700 a 100 mb	13
4 - Linhas de Função de Corrente Representando o Escoamento Troposférico de Janeiro (Verão), Níveis de 700 a 100 mb	14
5 - Diagrama Esquemático Representando a Circulação que Resulta do Aquecimento Diferencial entre o Continente e os Oceanos no Verão	15
6 - Diagrama Esquemático Representando a Circulação de Walker	15
7 - Campo Médio de Pressão do Mês de Janeiro	21
8 - (a) Célula Convectiva: Vento Moderado (b) Célula Convectiva Vento Fraco e Região de Subsidência ..	26
9 - Representação Esquemática dos Sistemas Atmosféricos ZCIT, ZCAS e OL	28

Figuras	Página
10 - Anomalias de Radiação de Onda Longa	32
11 - Mosaico de Nebulosidade Sobre a América do Sul ..	38
12 - Posição Geográfica Média do Eixo de Nebulosidade Convectiva, Indicativo da Posição da ZCIT	39
13 - Rede de Estações Meteorológicas do INEMET na Amazônia	49
14 - Anomalias de Pressão ao Nível do Mar no Mês de Dezembro de 1988	50
15 - Precipitação Média Mensal dos Anos 1987, 1988, 1989 e MC em Itacoatiara, AM	58
16 - Precipitação Média Mensal dos Anos 1987, 1988, 1989 e MC em Parintins, AM	58
17 - Precipitação Média Mensal dos Anos 1987, 1988, 1989 e MC em Manaus, AM	59
18 - Precipitação Média Mensal dos Anos 1987, 1988, 1989 e MC em Tucuruí, PA	59
19 - Média de Precipitação do Trimestre Setembro a Novembro, Período de 1981 a 1990	60
20 - Média de Precipitação do Trimestre Dezembro a Fevereiro, Período de 1981 a 1990	61
21 - Média de Precipitação do Trimestre Março a Maio, Período de 1981 a 1990	61
22 - Distribuição Média Anual da Precipitação na Amazônia, Período de 1981 a 1990	62
23 - Total de Precipitação do Mês de Setembro de 1988.	63
24 - Total de Precipitação do Mês de Outubro de 1988 .	65
25 - Total de Precipitação do Mês de Novembro de 1988	66
26 - Total de Precipitação do Mês de Dezembro de 1988	68
27 - Total de Precipitação do Mês de Janeiro de 1989 .	69
28 - Total de Precipitação do Mês de Fevereiro de 1989	70
29 - Total de Precipitação do Mês de Março de 1989 ...	73
30 - Total de Precipitação do Mês de Abril de 1989 ...	74
31 - Total de Precipitação do Mês de Maio de 1989	76

Figuras	Página
32 - Carta Média de Superfície da Estação Chuvosa de 1988/89, Trimestre Dezembro de 1988 a Fevereiro de 1989	78
33 - Carta Média de Ar Superior, Nível 850 hPa	79
34 - Carta Média de Ar Superior, Nível 500 hPa	80
35 - Carta Média de Ar Superior, Nível 200 hPa	81
36 - Imagem do Satélite GOES-E do Dia 10 de Dezembro de 1988, Alta da Bolívia Ativa sobre a Amazônia .	83
37 - Imagem do Satélite GOES-E do Dia 24 de Dezembro de 1988	84
38 - Imagem do Satélite GOES-E do Dia 4 de Janeiro de 1989	85
39 - Imagem do Satélite GOES-E do Dia 6 de Janeiro de 1989	87
40 - Imagem do Satélite GOES-E do Dia 1 de Fevereiro de 1989	88
41 - Imagem do Satélite GOES-E do Dia 15 de Fevereiro de 1989	89
42 - Séries Anuais do Índice de Oscilação Sul, Período de 1972 a 1991	91
43 - Anomalias do Campo de Temperatura do Ar no Nível de 500 hPa	93

EXTRATO

NEVES, Edgard Klinger, M.S., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 1995. A Estação Chuvosa na Amazônia, de 1988 a 1989, e sua Relação com a Circulação Geral da Atmosfera. Professor Orientador: Rubens Leite Vianello. Professores Conselheiros: Adil Rainier Alves e José Maria Nogueira da Costa.

Um dos problemas que têm preocupado vários estudiosos da Climatologia da América do Sul é a compreensão dos mecanismos físicos atmosféricos que precedem as grandes cheias da Amazônia e suas relações com a circulação geral da atmosfera.

Este trabalho objetivou o estudo das configurações geradas pelos sistemas atmosféricos que produziram as condições de tempo, em diferentes escalas, e suas relações com o clima regional, destacando-se a estação chuvosa de 1988/89, causadora da terceira maior cheia do século na Amazônia, o que redundou em elevados prejuízos agropecuários e reflexos sócio-econômicos para a região.

Analisaram-se as séries pluviométricas de 46 estações meteorológicas de superfície; as cartas sinóticas diárias de superfície e de altitude, de 12 h, Tempo Médio de Greenwich (TMG), produzidas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET); e as cartas médias mensais, de 1.000 hPa, e geopotenciais, de 850, 500 e 200 hPa, elaboradas pelo Centro Meteorológico Nacional dos Estados Unidos (NMC). Analisaram-se, também, as imagens diárias do satélite GOES, para avaliar, visualmente, o período mais ativo da Alta da Bolívia, as cartas médias mensais de anomalias de Radiação de Onda Longa (ROL), as anomalias de Temperatura da Superfície da Água do Mar (TSM) e as configurações sinóticas que produziram a estação chuvosa de 1988/89 na Amazônia. Ainda, compararam-se as configurações das escalas planetária e continental e o tempo associado às condições de tempo regionais.

Observou-se que as duas maiores cheias que aconteceram na Amazônia nos períodos de 1975/76 e 1978/79 estiveram associadas ao episódio frio do tipo Anti-El Niño da escala planetária, enquanto a maior cheia do século (1952/53) esteve associada ao episódio quente do tipo El Niño. Conseqüentemente, ambas estiveram, também, associadas à anomalias de Pressão, ao Nível do Mar, do Pacífico equatorial. O monitoramento das configurações da grande escala e da escala continental pode auxiliar nos prognósticos de tais anomalias.

1. INTRODUÇÃO

A precipitação pluvial é um dos elementos climáticos mais importantes nas regiões tropicais. A Amazônia, a mais extensa bacia hidrográfica do Globo, com cerca de sete milhões de quilômetros quadrados, apresenta grandes totais pluviométricos mensais e anuais. Localizada entre os paralelos 5°N e 15°S e os meridianos 46°W e 75°W, essa região é caracterizada pela presença de uma densa floresta tropical chuvosa, considerada a maior em extensão da Terra, com cerca de quatro milhões de quilômetros quadrados, 78 por cento de florestas naturais, podendo ser subdividida basicamente em duas classes: Mata de Igapó ou Floresta Inundável (várzea) e Floresta de Terra-Firme, que compreende áreas florestadas não-inundáveis (MOLION, 1975; SILVA FILHO, 1988). Do ponto de vista hidrográfico, a região amazônica é formada essencialmente pelo rio Amazonas, que em território brasileiro, desde a Cidade de Tabatinga até a confluência com o rio Negro, é denominado rio Solimões, e por uma imensa

rede de afluentes, alguns de tamanho e curso bastante consideráveis, possuindo regime hídrico bem definido, e suas águas apresentam cores entre branca e "negra". A evapotranspiração real (ETR), nessa região, deve ser aproximadamente igual à potencial (ETP). O valor médio da ETP foi estimado por VILLA NOVA et alii (1974). Segundo esses autores, desde que a transpiração das plantas representa 54% da precipitação, tudo indica que um desmatamento intensivo deverá provocar alterações consideráveis no ciclo hidrológico da região. MOLION e KOUSKY (1985) relataram que a ETP representa, em média, 48% do total de precipitação em forma de chuva.

Considerando a atmosfera como um sistema termodinâmico, logo se percebe que, para entender os fenômenos atmosféricos, é imprescindível o conhecimento da radiação solar como principal fonte de energia para esse sistema. Naturalmente, as variabilidades espacial e temporal dessa fonte induzirão fenômenos diversificados na resposta do sistema. As variações espaciais e temporais dos parâmetros atmosféricos temperatura, pressão, umidade do ar, vento, entropia e massa específica dependem diretamente dessa fonte de energia, e o trabalho realizado pelo sistema depende da dinâmica do escoamento (VIANELLO e ALVES, 1991).

Diante das considerações físicas, a intensificação dos sistemas e perturbações atmosféricas que ocasionam mudanças nas condições de tempo na região tropical ocorrem basicamente no verão, quando essa área recebe maior quantidade de energia solar. A região, porém, apresenta grande variabilidade interanual, ao contrário do que se

acreditava (RIEHL, 1954). Essa variabilidade é causada pelas flutuações anuais da circulação de Hadley-Walker, tipicamente tropical e de grande escala, em associação com a circulação extratropical manifestada pelos deslocamentos ou bloqueios dos sistemas frontais (SF) ou frentes frias (FF) de origem polar (MOLION, 1990). Algumas vezes, têm-se grandes totais pluviométricos e, como conseqüência, cheias acima dos níveis normais, semelhantes às registradas nos anos de 1909, 1922, 1953, 1976 e 1989, as maiores ocorridas neste século (Quadro 1).

Na Figura 1, mostram-se a oscilação das águas do rio Negro e cotas máximas registradas no porto de Manaus.

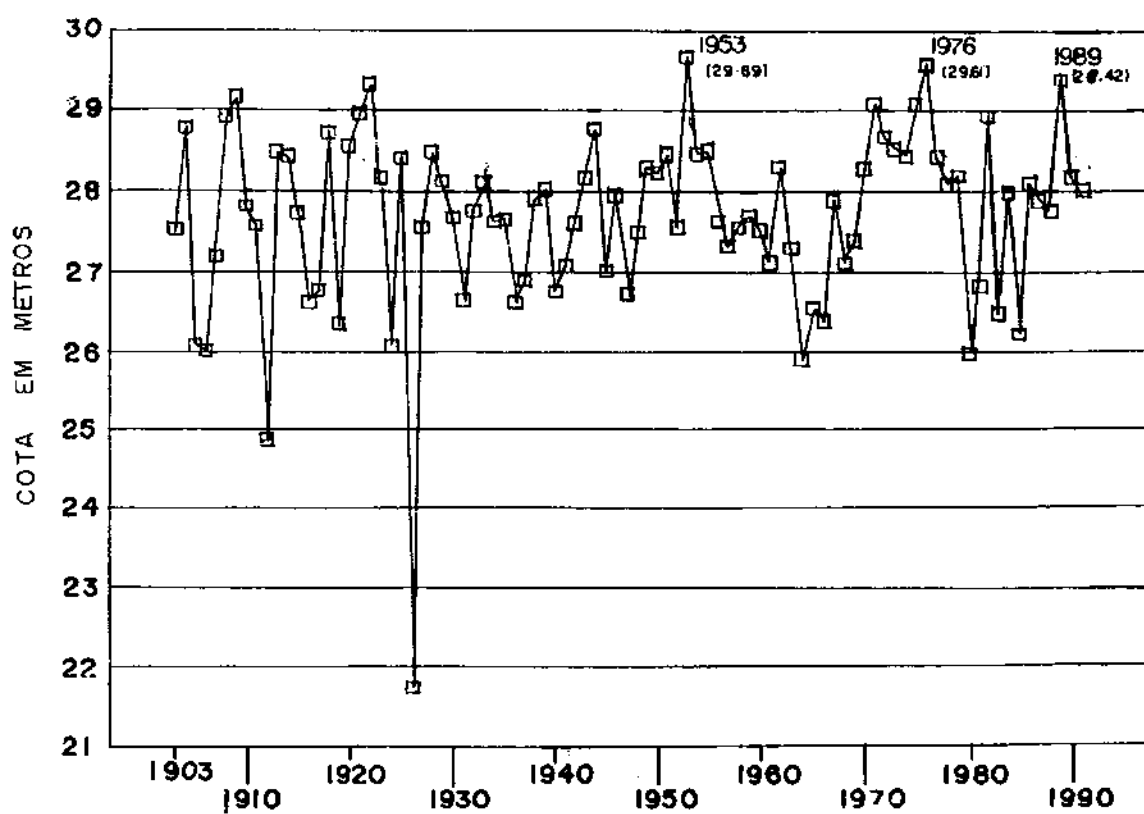
Na Figura 2, evidenciam-se cotas máximas e mínimas anuais da série histórica, para o período de 1903 a 1990, com destaque para os maiores picos ocorridos em 1953, 1976 e 1989 (Portobrás, 1992*). Outras vezes, a Amazônia apresenta reduções significativas nos totais pluviométricos da estação chuvosa, provocando secas regionais, como as ocorridas nos anos de 1906, 1916, 1921, 1926, 1936, 1963, 1958 e 1992 (Figura 2). Precipitações pluviométricas intensas ou secas prolongadas causam elevados impactos sociais, com reflexos sócio-econômicos nos transportes, na agricultura e na pecuária regional (Comunicação pessoal).

* PORTOBRÁS - Administração de Portos brasileiros, Manaus, 1992.

QUADRO 1 - Cotas Máximas do Rio Negro Observadas em Manaus de 1904 a 1989

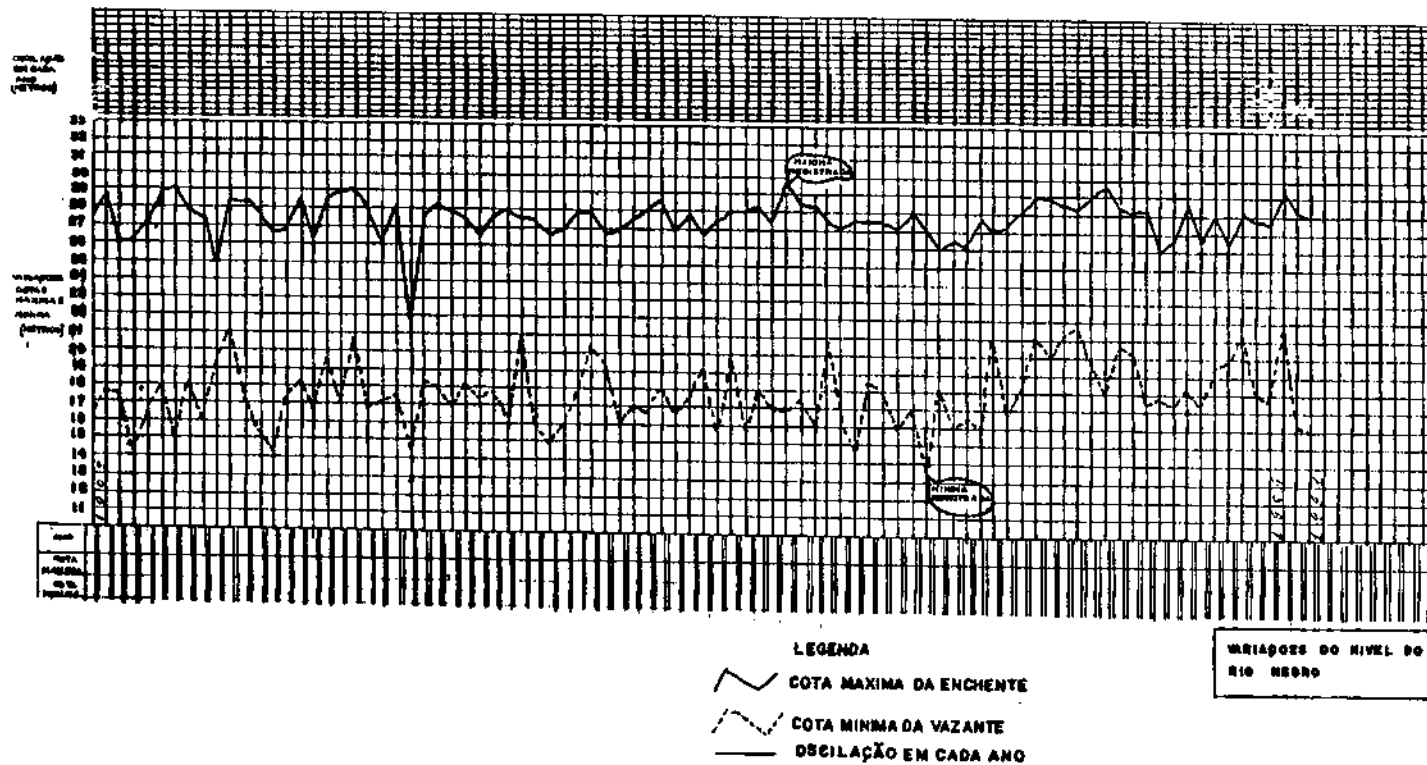
Nº de Ordem	Anos	Pico (m)	Classificação
1	1953	29,69	Extraordinária*
2	1976	29,61	Extraordinária
3	1989	29,42	Extraordinária
4	1922	29,35	Extraordinária
5	1909	29,17	Extraordinária
6	1971	29,12	Extraordinária
7	1975	29,11	Extraordinária
8	1921	28,97	Moderada**
9	1982	28,97	Moderada
10	1908	28,92	Moderada
11	1944	28,79	Moderada
12	1904	28,78	Moderada
13	1918	28,74	Moderada
14	1972	28,70	Moderada
15	1920	28,57	Moderada
16	1973	28,57	Moderada
17	1955	28,53	Moderada
18	1913	28,50	Moderada
19	1928	28,49	Moderada
20	1954	28,49	Moderada

* = Extraordinária: acima de 29,00 m e ** = Moderada: abaixo de 29,00 m.



FONTE: PORTOBRÁS (1992).

FIGURA 1 - Cotas Máximas do Rio Negro em Manaus, de 1903 a 1990.



FONTE: PORTOBRÁS (1992).

FIGURA 2 - Variações do Nível do Rio Negro, Cotas Máximas e Mínimas, em Manaus, Série Histórica de 1903 a 1991.

Graças aos altos valores pluviométricos, a região Amazônica é uma das mais importantes fontes de calor para circulação geral da atmosfera, embora não se tenha ainda conhecimento adequado da magnitude dessa fonte com relação às demais. Sabe-se, entretanto, que sua variabilidade interanual realimenta o clima do Globo (MOLION, 1990). Nas flutuações do clima, a ocorrência de estiagens prolongadas no período chuvoso caracteriza os denominados veranicos (interrupção no regime de chuvas por curtos períodos, de uma a duas semanas, na época chuvosa, de outubro a maio). Contudo, os elevados totais pluviométricos observados parecem estar associados a perturbações atmosféricas de diferentes escalas (planetária e continental).

Trabalhos recentes têm mostrado que as anomalias climáticas associadas a eventos quentes do tipo El Niño - Oscilação Sul (ENOS) são altamente persistentes e ocorrem predominantemente em todo o Globo. Na Amazônia, as grandes reduções nos totais de precipitação parecem estar também relacionadas com a ocorrência de fortes eventos ENOS, como ocorreu no período de 1982/83. Por outro lado, as precipitações intensas parecem estar associadas a outro fenômeno da grande escala do tipo Anti-El Niño (ou La Niña), que, ao contrário do evento El Niño, é o resfriamento da água do mar abaixo do normal (MOLION, 1990; CONRADO, 1992).

Um estudo integrado dos fenômenos, nas escalas planetária e continental, e das configurações por elas geradas permitiria entender melhor as causas dessas anomalias e, conseqüentemente, o melhor conhecimento do clima da região.

Este trabalho trata apenas das duas maiores escalas: a grande escala (escala planetária) e a escala continental, bem como suas interações na determinação do clima regional amazônico e, em particular, a situação dos sistemas atmosféricos que geraram as condições de tempo e os grandes totais pluviométricos da estação chuvosa de 1988/89.

A rigor, o estudo da variabilidade interanual da precipitação na Amazônia somente poderia ser feito se se dispusesse de um conjunto de dados completos contendo séries temporais longas, tanto dos dados de superfície quanto do ar superior. Isto, sim, permitiria detectar a ocorrência de fatores extremos, como estiagens prolongadas (veranicos) e inundações. Porém, como o trabalho seria vasto e não estavam disponíveis os dados aludidos, decidiu-se por concentrar esforços na estação chuvosa de 1988/89, que causou a terceira maior cheia deste século (Quadro 1), um estudo de caso que, sem dúvida, contribuirá para o melhor entendimento da situação em análise. Outro argumento fundamental, para a escolha desse período, foi a disponibilidade de um conjunto de dados e análises da circulação global, resultante dos modelos numéricos de previsão do tempo mais completos e mais confiáveis.

Desta forma, o presente trabalho pautou-se nos seguintes objetivos:

- comparar os totais mensais de precipitação da estação chuvosa de outubro de 1988 a maio de 1989 com os de outras estações chuvosas;

- verificar uma possível oscilação de 10 a 15 dias da Alta da Bolívia, conforme hipótese formulada por MOLION (1990); e
- analisar as configurações sinóticas geradas pelos sistemas atmosféricos nas duas maiores escalas que produziram a estação chuvosa de 1988/89 na Amazônia.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Poucos são os trabalhos publicados a respeito do comportamento da atmosfera na região Amazônica. Dentre esses trabalhos, destacam-se os de KREULS et alii (1975), MOLION (1975), RATISBONA (1976) e KOUSKY (1979). Outros trabalhos abordando o tema foram publicados, notadamente, por KAYANO (1980), KOUSKY e KAYANO (1981), KOUSKY e MOLION (1981), MOURA e KAYANO (1983), MOLION e KOUSKY (1985), OLIVEIRA (1986), COHEN et alii (1989) e MOLION (1987, 1989 e 1990). A revisão desses artigos indicou que os sistemas atmosféricos que produzem chuva na região podem ser classificados em quatro escalas, conforme serão descritas nos tópicos subseqüentes.

2.1. Grande Escala

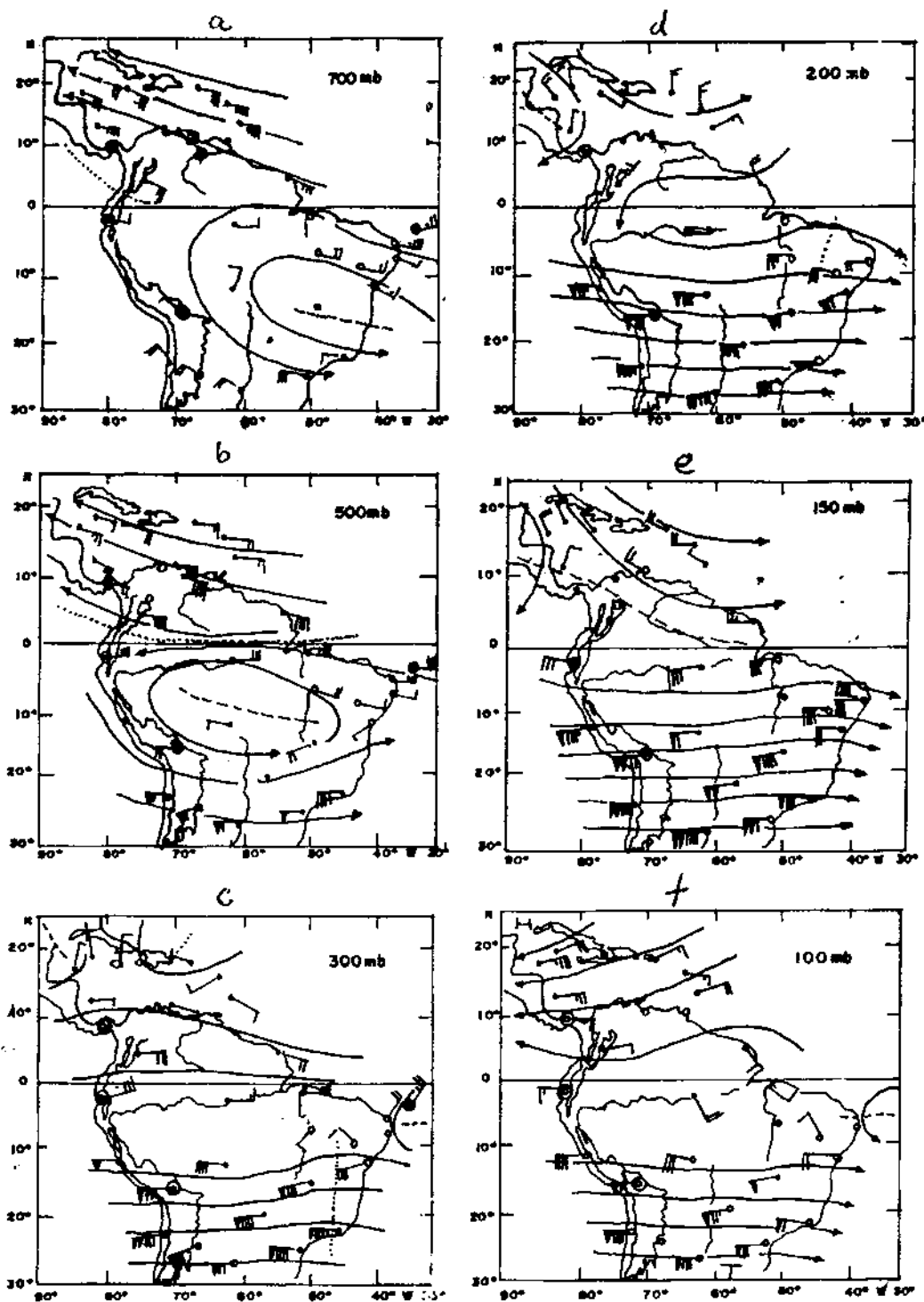
O comprimento característico da grande escala, ou escala planetária, é de 10.000 km. Até recentemente, a

circulação média sobre a Amazônia tinha sido estudada, usando-se dados convencionais de radiossondagens e de superfície, de algumas poucas estações.

NEWELL et alii (1972) analisaram os campos de função de corrente para os níveis de 850 e 200 hPa, entre 45°N e 45°S, para os trópicos. Suas análises incluíram menos de dois anos de dados acerca da circulação troposférica da Amazônia. Em trabalhos recentes, foram utilizadas séries mais longas, porém, ainda, com poucas estações (SOBRAL, 1979; KAYANO, 1980). Paralelamente, demonstrou-se que os dados obtidos por satélites geoestacionários, série SMS/GOES, com grande cobertura espacial, alta resolução e alta frequência na obtenção de imagens, poderiam ser utilizados para identificação de campos de temperatura, umidade e vento. VIRJI e KOUSKY (1983) foram os primeiros a utilizar esta técnica para o estudo da circulação de verão sobre a América do Sul. KOUSKY e MOLION (1981), usando um conjunto de dados do Centro Nacional de Meteorologia dos EUA (NMC), referentes ao período de 1970/75, que combina dados convencionais de radiossondagens, de superfície e de satélite, revisaram cartas médias de função de corrente para os níveis de 850 e 250 hPa, para dois meses-padrão: janeiro (verão) e julho (inverno). Por essas análises, parece não ter havido diferença significativa no escoamento troposférico médio, dos níveis de 850 hPa, entre inverno e verão. Nos níveis de 250 hPa, porém, notaram-se variações sazonais pronunciadas no escoamento troposférico médio: de movimento essencialmente meridional em janeiro para movimento zonal em julho. KREULS et alii (1975) pesquisaram as circulações

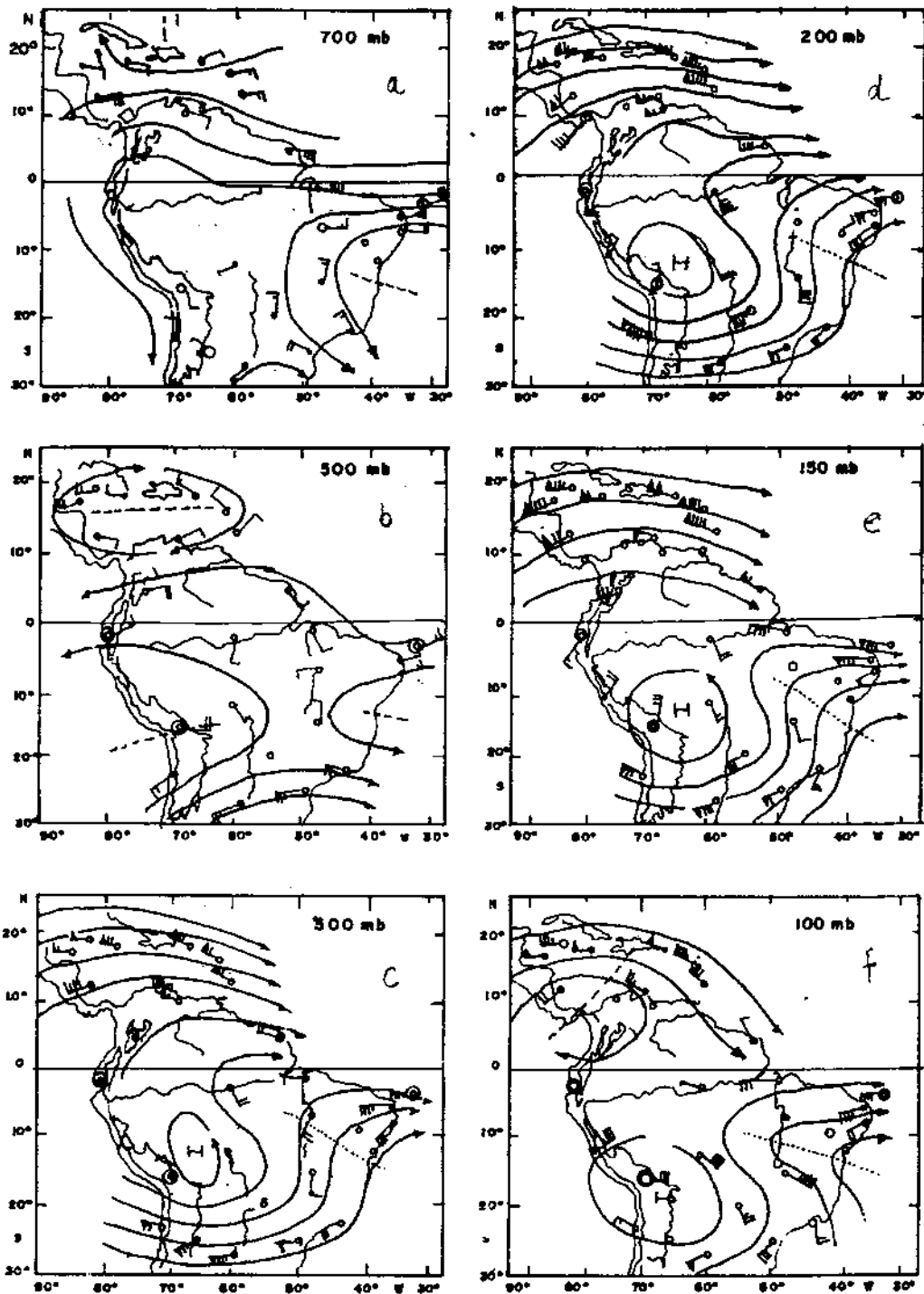
toposféricas, média e alta da América do Sul, referentes a estação de inverno (julho) e estação de verão (janeiro), para os níveis de 700, 500, 300, 200, 150 e 100 hPa. Estes últimos autores verificaram, em suas análises, que o fluxo médio segue um padrão zonal nos meses de inverno (Figura 3) e um fluxo aproximadamente meridional nos meses de verão (Figura 4). A natureza meridional do escoamento de verão é resultado direto do forte aquecimento da superfície, com a transferência de calor sensível e liberação de calor latente, em virtude da condensação de umidade em toda a coluna troposférica. Esse aquecimento produz uma célula de circulação direta, isto é, forçada termicamente com ar quente e úmido subindo (convecção) sobre o continente e ar frio e seco descendo (subsistência) sobre as áreas oceânicas adjacentes (Figura 5) (MOLION, 1987).

Na Figura 6, de acordo com MOLION (1987), o ramo leste da componente zonal desta circulação, conhecida como circulação de Walker, pode ser mais extenso do que o ramo oeste. No caso da América do Sul, o movimento subsidente estende-se desde o leste da Amazônia até o oeste da África, incluindo o Nordeste do Brasil. O ramo ascendente da circulação de Walker provoca desenvolvimento intenso de nuvens convectivas e altas precipitações pluviométricas, enquanto o ramo descendente inibe a formação de chuvas (MOLION, 1989).



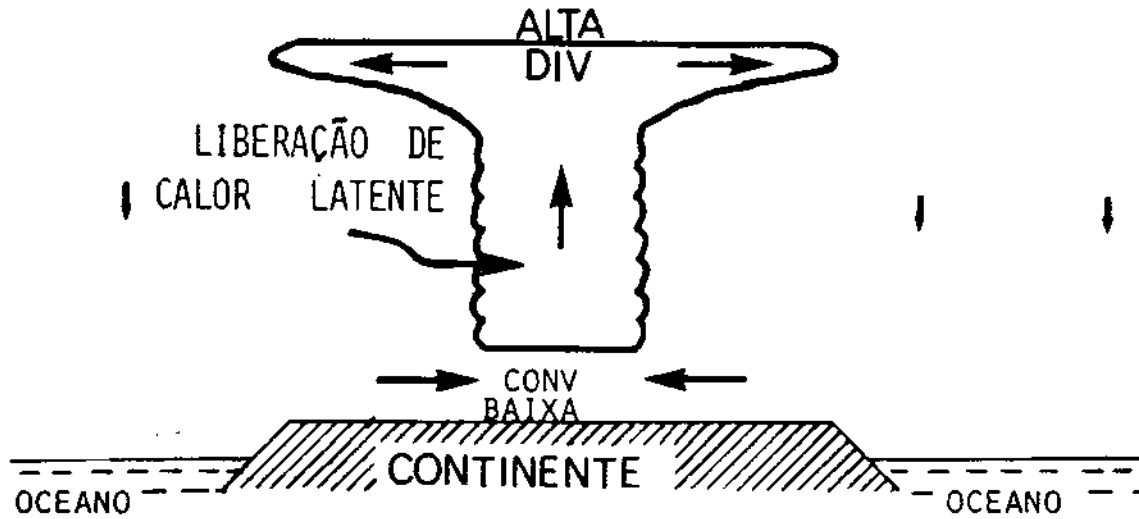
FONTE: KREULS et alii (1975).

FIGURA 3 - Linhas de Função de Corrente Representando o Escoamento Troposférico de Julho (Inverno), Níveis de 700 a 100 mb.



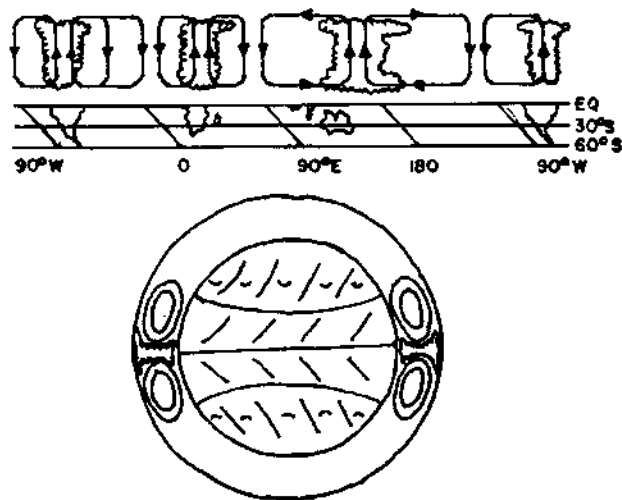
FONTE: MOLION (1987).

FIGURA 4 - Linhas de Função de Corrente Representando o Escoamento Troposférico de Janeiro (Verão), Níveis de 700 a 100 mb.



FONTE: GILL (1980).

FIGURA 5 - Diagrama Esquemático Representando a Circulação que Resulta do Aquecimento Diferencial entre o Continente e os Oceanos no Verão.



FONTE: GILL (1980).

FIGURA 6 - Diagrama Esquemático Representando a Circulação de Walker.

2.1.1. Alta da Bolívia

A circulação termal forçada sobre o continente sul-americano induz convergência de ar e baixa pressão atmosférica à superfície e divergência e alta pressão, nos altos níveis. Na América do Sul, o forte aquecimento convectivo, com liberação de calor latente para a atmosfera, produz a denominada Alta da Bolívia (AB). SCHWERDTFEGER (1976), VIRJI (1981), SILVA DIAS et alii (1983) e FIGUEROA (1990) descreveram a dinâmica da circulação atmosférica sobre a América do Sul; observaram aspectos importantes na interação da forçante térmica tropical associada à forte convecção organizada na Amazônia. A variabilidade da Alta da Bolívia, tanto em intensidade quanto em posição, está diretamente relacionada com as distribuições espacial e temporal da precipitação (KOUSKY e KAYANO, 1981). Quando a Alta da Bolívia enfraquece e se movimenta para o norte, no inverno (junho/agosto), os setores sul e leste da Amazônia experimentam sua estação seca. Em torno de setembro, a Alta da Bolívia começa a se mover para sua posição média de verão (dezembro/fevereiro) e a estação seca vai terminando, no sentido Brasil central para o leste. Nesse período, acontece a estação mais úmida da Amazônia. MOLION (1990) relatou que a variabilidade da Alta da Bolívia, isto é, divergência nos altos níveis, associada à convergência generalizada, não é uma atividade contínua e, sim, intermitente, apresentando um provável período de oscilação de 10 a 15 dias (Figura 5). Gutman e Schwerdtfeger (1965), citados por VIANELLO (1981), verificaram a presença de uma alta sobre os Andes

subtropicais na troposfera superior, no período de verão, causada pela liberação de calor latente e calor sensível. Esses autores comentaram que, nessas latitudes, o regime termal do continente influencia a circulação geral da atmosfera muito mais que os efeitos dinâmicos, induzidos pela cadeia montanhosa, mesmo que as montanhas sejam de grande porte e situem-se quase que perpendicularmente ao escoamento troposférico.

2.1.2. Zona de Convergência Intertropical (ZCIT)

Outro elemento da circulação geral da atmosfera, relacionado com a precipitação na costa nordeste da Amazônia, é a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), localizada sobre o Atlântico equatorial. Dinamicamente, a ZCIT é uma banda de baixa pressão e de convergência de escoamento nos baixos níveis da atmosfera, próximo da superfície, que propicia as condições favoráveis para movimentos ascendentes, condensação do vapor de água, formação de nuvens e grande quantidade de precipitação. A ZCIT é o fator mais importante na abundância ou na deficiência de dada estação chuvosa na costa atlântica da Amazônia. A ZCIT é formada pela confluência dos ventos alísios dos Hemisférios Norte (HN) e Sul (HS); entretanto, a banda de nebulosidade da ZCIT nem sempre coincide com a zona de convergência dos ventos alísios. HASTERATH e LAMB (1977) mostraram que, sobre o Atlântico, a ZCIT move-se progressivamente para o sul, a partir de sua posição-limite norte (HN), entre os meses de agosto e setembro, até

alcançar a posição-limite sul (HS) (aproximadamente 2°S), no verão do Hemisfério Sul, dezembro/fevereiro. Aparentemente, em anos secos, a ZCIT permanece ao norte do Equador Geográfico. Por outro lado, em anos chuvosos, a ZCIT desloca-se de 5° a 6°S, próximo da costa nordeste do Brasil. A circulação atmosférica de grande escala propicia elevada quantidade de precipitação, encontrada no litoral norte da Amazônia. A ZCIT é parte integrante da circulação geral da atmosfera, e as razões, para variações de intensidade e posição de ano para ano, devem estar associadas à circulação atmosférica de grande escala. Vários estudos observacionais indicaram a existência de uma ligação entre as anomalias de precipitação nas Regiões Nordeste brasileira e costa atlântica da Amazônia e anomalias da circulação atmosférica de grande escala (NAMIAS, 1972; HASTENRATH e HELLER, 1977). Esses estudos mostraram que, para a maioria dos anos que apresentam grandes desvios de precipitação com relação à média, a circulação atmosférica sobre o Atlântico é bastante distinta. Em anos chuvosos, o anticiclone do Atlântico subtropical norte (Alta dos Açores) fica mais intenso que o normal, e os ventos alísios de nordeste, do Atlântico norte, tornam-se mais fortes, enquanto a ZCIT fica mais deslocada para o sul. Para anos secos ocorre o reverso: o anticiclone do Atlântico subtropical norte (Alta dos Açores) fica menos intenso que o normal, os ventos alísios de nordeste do Atlântico sul também ficam menos intensos e a ZCIT encontra-se mais deslocada para o norte de sua posição normal. A variabilidade interanual da ZCIT parece estar relacionada com anomalias da circulação planetária,

associadas a eventos fortes do tipo El Niño - oscilação sul (ENOS), ou a anomalias de escala sinótica, resultantes de bloqueios do escoamento atmosférico (CLIMANALISE ESPECIAL, 1986).

2.1.3. El Niño - Oscilação Sul (ENOS)

As anomalias relacionadas a eventos ENOS são persistentes e ocorrem em todo o Globo. A longa duração desse fenômeno é devida ao forte acoplamento entre a atmosfera e o oceano Pacífico equatorial e a enorme inércia térmica do oceano. O El Niño é o aumento anômalo da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) no Pacífico equatorial leste (MOURA e KAYANO, 1983). Oscilação Sul (OS) é a denominação dada a um balanço ("see-saw") na Pressão ao Nível do Mar (PNM), entre o oceano Pacífico sudeste e a região de baixa pressão que se estende sobre o oceano Índico, desde a África até o norte da Austrália (Quadro 2 e Figura 7). BJERKNES (1966) verificou que estes dois fenômenos estão fortemente inter-relacionados e ocorrem a intervalos irregulares de dois a sete anos.

Um dos interessantes problemas da Climatologia da América do Sul, que têm preocupado vários pesquisadores, que aguardam solução, é a compreensão dos problemas físicos que precedem as grandes cheias na Amazônia ou secas intensas no Nordeste e inundações no Sul do País, como aquelas ocorridas durante o episódio de ENOS intensos de 1982/83 e nos meses de maio e junho de 1992, com elevadas perdas na agricultura

QUADRO 2 - Índices de Oscilação Sul

Anos	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
1935	0.6	-0.5	1.2	0.4	-0.2	-0.3	0.0	0.0	0.6	0.6	0.2	-0.6
1936	-0.3	-0.1	0.0	0.7	0.3	-0.5	0.3	-0.9	0.2	-0.1	-1.5	-0.1
1937	0.9	-0.6	0.6	0.1	0.2	0.2	-0.6	0.1	0.0	-0.5	-0.6	0.5
1938	0.7	0.3	-0.5	0.5	1.1	2.1	1.8	1.1	0.8	1.4	-0.1	1.4
1939	1.7	0.6	1.1	1.1	0.0	-0.3	0.8	-0.2	-1.0	-1.8	-1.0	-1.1
1940	0.0	-0.6	-1.3	-0.9	-1.3	-2.6	-1.6	-2.1	-1.9	-1.7	-0.9	-2.3
1941	-1.1	-1.6	-1.3	-1.2	-0.7	-1.9	-2.1	-2.2	-0.8	-2.3	-1.1	-1.1
1942	-1.5	-0.5	-0.8	-0.5	0.2	0.8	-0.2	0.3	0.8	0.7	-0.7	1.4
1943	0.9	0.9	0.3	1.6	0.3	-1.1	0.2	0.7	0.5	0.8	0.2	-1.1
1944	-1.0	0.3	0.5	-0.6	0.1	-0.6	-0.9	0.1	0.2	-1.0	-0.9	0.3
1945	0.4	0.5	1.3	-0.8	0.1	0.8	0.3	1.1	0.8	0.2	-0.5	0.6
1946	-0.3	0.3	-0.4	-1.1	-1.1	-1.3	-1.1	-0.6	-1.6	-1.4	-0.3	-0.8
1947	-0.6	-0.6	1.1	-0.6	-1.1	0.2	0.9	0.6	1.1	-0.4	0.7	0.4
1948	-0.4	-0.4	-0.6	0.2	0.4	-0.8	0.0	-0.6	-0.8	0.5	0.2	-0.7
1949	-0.9	0.0	0.5	0.3	-0.6	-1.6	-0.2	-0.6	0.2	0.4	-0.8	0.7
1950	0.5	1.6	1.8	1.7	0.5	3.0	2.0	1.1	0.6	1.7	0.9	2.4
1951	1.3	0.5	-0.7	-1.1	-1.2	-0.5	-1.4	-0.8	-1.2	-1.5	-1.0	-0.9
1952	-0.9	-0.8	0.0	-0.8	0.7	0.8	0.4	-0.4	-0.3	0.1	-0.2	-1.4
1953	0.1	-0.7	-0.8	-0.2	-2.5	-0.5	-0.1	-1.9	-1.4	-0.2	-0.4	-0.6
1954	0.6	-0.5	-0.3	0.4	0.1	-0.5	0.3	0.9	0.2	0.1	0.1	1.3
1955	-0.7	1.3	0.1	-0.9	0.8	1.6	1.7	1.4	1.4	1.5	1.4	0.9
1956	1.2	1.1	0.9	1.1	1.4	1.2	1.1	1.0	0.0	1.9	0.1	0.9
1957	0.4	-0.4	-0.4	0.0	-1.1	-0.4	0.1	-1.1	-1.0	-0.1	-1.2	-0.5
1958	-1.9	-0.7	-0.3	0.1	-1.3	-0.3	0.3	0.7	-0.4	-0.4	-0.6	-0.8
1959	-0.9	-1.5	0.8	0.2	0.2	-0.9	-0.5	-0.6	0.0	0.3	0.9	0.8
1960	0.0	-0.2	0.5	0.9	0.2	-0.5	0.4	0.5	0.7	-0.1	0.6	0.7
1961	-0.4	0.5	-2.6	1.1	0.2	-0.4	0.1	-0.3	0.0	-0.8	0.6	1.4
1962	1.7	-0.5	-0.4	0.0	1.2	0.5	-0.1	0.3	0.5	0.9	0.2	0.0
1963	0.8	0.3	0.6	0.9	0.0	-1.5	-0.3	-0.4	-0.7	-1.6	-1.0	-1.4
1964	-0.5	-0.2	0.6	1.7	-0.2	0.7	0.5	1.4	1.3	1.3	0.0	-0.5
1965	-0.5	0.0	0.2	-1.1	0.0	-1.5	-2.3	-1.3	-1.4	-1.2	-1.8	0.0
1966	-1.4	-0.5	-1.6	-0.7	-0.6	0.0	-0.1	0.3	-0.3	-0.3	-0.1	-0.5
1967	1.5	1.2	0.8	-0.2	-0.4	0.6	0.0	0.4	0.5	-0.2	-0.7	-0.7
1968	0.5	0.8	-0.5	-0.3	1.2	1.4	0.6	-0.1	-0.3	-0.3	-0.4	0.0
1969	-1.4	-0.8	-0.1	-0.8	-0.8	-0.2	-0.7	-0.6	-1.0	-1.4	-0.1	0.3
1970	-1.2	-1.2	0.0	-0.5	0.1	1.1	-0.6	0.3	1.2	0.8	1.8	1.8
1971	0.2	1.4	2.0	2.6	0.9	0.2	0.1	1.4	1.5	1.8	0.5	0.1
1972	0.3	0.6	0.1	-0.5	-2.2	-1.7	-1.9	-1.1	-1.5	-1.1	-0.4	-1.5
1973	-0.4	-1.5	0.2	-0.4	0.3	1.2	0.5	1.2	1.3	0.6	2.9	1.7
1974	2.2	1.5	2.1	1.3	1.3	0.1	1.2	0.5	1.1	0.8	-0.4	0.0
1975	-0.6	0.5	1.1	1.5	0.5	1.7	2.1	2.0	2.2	1.7	1.3	2.0
1976	1.2	1.2	1.3	0.2	0.6	-0.2	-1.2	-1.5	-1.2	0.2	0.7	-0.5
1977	-0.5	0.8	-1.2	-1.3	-1.1	-2.3	-1.5	-1.4	-0.9	-1.4	-1.6	-1.3
1978	-0.5	-2.6	-0.8	-0.9	1.3	0.4	0.4	0.1	0.0	-0.8	-0.1	-0.2
1979	-0.5	0.6	-0.5	-0.7	0.5	0.6	1.3	-0.7	0.1	-0.4	-0.6	-0.9
1980	0.3	0.0	-1.1	-1.6	-0.3	-0.7	-0.2	-0.1	-0.5	-0.3	-0.5	-0.2
1981	0.3	-0.5	-2.0	-0.6	0.8	1.6	0.8	0.4	0.3	-0.7	0.1	0.4
1982	1.0	0.0	0.0	-0.1	-0.6	-2.5	-2.0	-2.7	-1.9	-2.2	-3.2	-2.5

Continua...

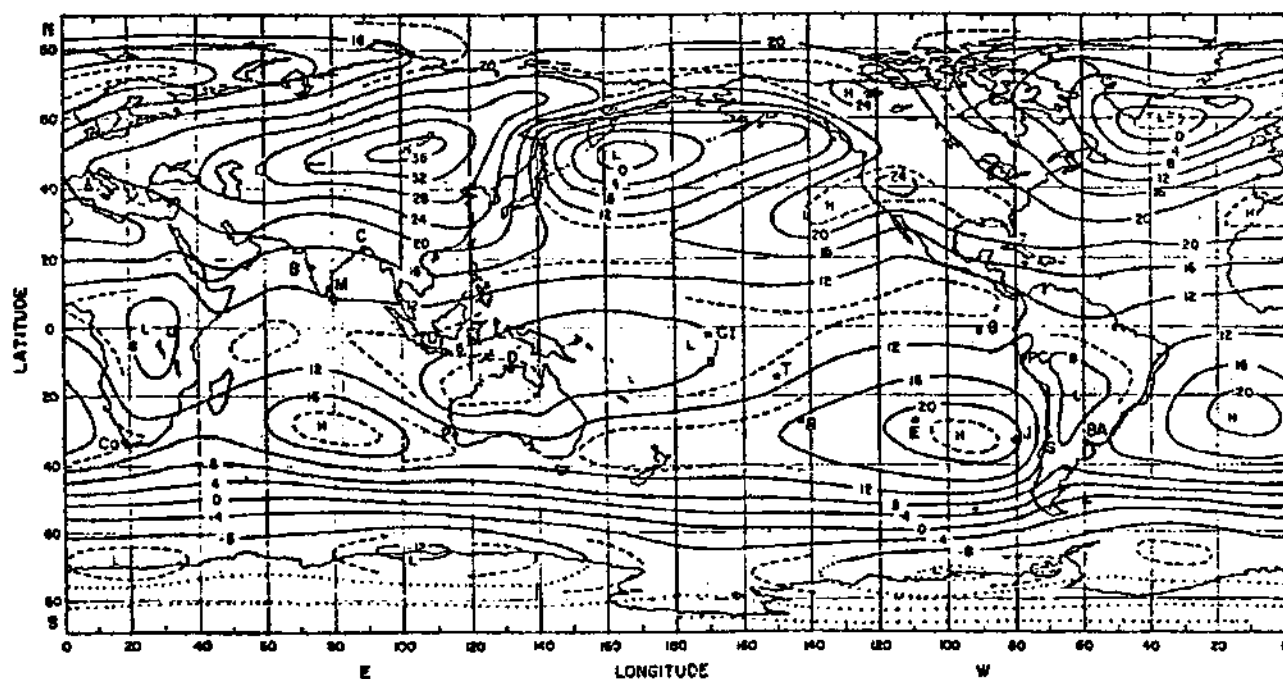
QUADRO 2, cont.

Anos	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
1983	-3.4	-3.5	-3.2	-2.1	0.9	-0.5	-0.9	-0.4	0.9	0.3	-0.1	-0.1
1984	0.0	0.4	-0.8	0.4	0.0	-1.2	0.0	0.1	0.1	-0.6	0.3	-0.3
1985	-0.5	0.8	0.2	1.4	-0.2	-1.4	-0.3	0.7	0.0	-0.8	-0.4	0.1
1986	0.8	-1.3	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9
1987	-0.8	-1.4	-0.2	-2.7	-2.0	-2.7	-1.8	-1.7	-1.7	-0.7	0.0	-1.6
1988	-0.2	-0.6	0.1	0.0	1.1	-0.3	1.1	1.4	1.9	1.3	1.9	1.1
1989	-1.3	0.8	0.6	2.3	1.4	0.8	0.8	-0.8	0.6	0.6	-0.4	-0.7
1990	-0.2	-2.4	-1.2	0.0	1.1	0.0	0.5	-0.5	-0.8	0.1	-0.7	-0.5

FONTE: Climate Diagnostics Bulletin, Mar. 1986, Jan. 1987, 1988, 1989, 1990 e 1991.

Obs. Índice de oscitação sul é a diferença de pressão, ao nível do mar, entre Taiti e Darwin em relação ao desvio-padrão do CAC-EUA.

Os valores positivos de IOS estão associados ao fenômeno Anti-El Niño. Em 1983, o maior índice foi de -3,5, em fevereiro.



FONTE: BERLAGE e BOER (1957).

FIGURA 7 - Campo Médio de Pressão do Mês de Janeiro.

e na economia da região (CLIMANÁLISE, 1990). É claro que esse tipo de estudo exige aplicação da Meteorologia em escala global, pois é óbvio que as causas devem ser procuradas em regiões bem distantes da área afetada (MOURA e KAYANO, 1983; MOLION, 1990). A natureza persistente dos eventos ENOS, embora as causas iniciais sejam desconhecidas, indica que, uma vez iniciado o processo, ocorrerá uma seqüência de eventos com efeitos definidos na precipitação sobre grande parte dos trópicos e subtropicais: secas na Austrália, Indonésia, Índia, no Oeste da África e nas Regiões Norte e Nordeste do Brasil, bem como excessiva precipitação nas Regiões Sul e Sudeste do País, norte da Argentina, sul do Uruguai, Pacífico central, leste do Peru e Equador. Igualmente, as precipitações intensas que aconteceram nos meses de maio e junho do ano de 1992 foram anomalias climáticas bem relacionadas com o episódio ENOS.

Os valores positivos de IOS estão associados ao episódio frio do tipo Anti El Niño e os negativos, ao episódio quente.

Em 1983 aconteceu o El Niño mais forte do século, enquanto o IOS foi igual a -3,5 em fevereiro do mesmo ano (QUIN e NEAL, 1987).

Os eventos ENOS também estão associados à grande variação na configuração do escoamento troposférico, em ambos os hemisférios. Durante os eventos ENOS, o jato subtropical da troposfera superior é bem mais intenso, assim como também são mais intensas as variações no regime de ventos alísios no Pacífico equatorial, em baixos níveis. As configurações de bloqueio também são mais frequentes em

certas regiões. Foi observado por CAVIEDES (1973) que a fase positiva da OS ocorre quando a alta subtropical do Pacífico leste e o sistema de baixa pressão da Indonésia são mais fortes que o normal. A oscilação sul tem sido estudada desde o começo do século e é relacionada com as variações de pressão no Pacífico leste e na Indonésia. WALKER (1928) notou que, quando a pressão é alta sobre o oceano Pacífico, tende a ser baixa na região da Indonésia, o que implica uma precipitação maior do que a normal nesta última, e, ao contrário, quando a pressão é alta sobre a Indonésia, tende a ser baixa sobre o oceano Pacífico, o que implica precipitação acima da normal na costa leste da América do Sul e Região Sul do Brasil. Para verificar a extensão espacial da OS, Berlage e Boer (1957), citados por MOURA e KAYANO (1983), correlacionaram anomalias de PNM e de Easter Island com anomalias de PNM de estações selecionadas em todo o Globo (Figura 7).

QUINN e NEAL (1987) estudaram eventos ENOS, estabelecendo um critério de classificação de suas intensidades: forte, muito forte, moderado e fraco. A série de dados para seus estudos abrange o período de 1844 a 1987. Na série de 143 anos estudados, foram registrados oito eventos muito fortes, inclusive o episódio ENOS de 1982/83, o mais severo deste século (Quadro 2). Na série histórica estudada, esses autores encontraram 38 eventos fortes, 26 moderados e quatro fracos a moderados.

2.2. Escala Sinótica

A Escala Sinótica é caracterizada por ondas de comprimento de 1.000 km, que são importantes mecanismos dinâmicos de produção de nuvens e chuvas. Dentre esses sistemas, destacam-se as frentes frias ou sistemas frontais. Vários autores descreveram a penetração de sistemas frontais do Hemisfério Sul na Amazônia, porém enfatizaram a estação invernal, quando ocorrem rápidos decréscimos na temperatura, com duração de três a cinco dias e que produz severos impactos no meio ambiente (TREWARTHA, 1961; PARMENTER, 1976; RATISBONA, 1976). Tais penetrações de massas polares são denominadas, regionalmente, friagens.

2.2.1. Sistemas Frontais

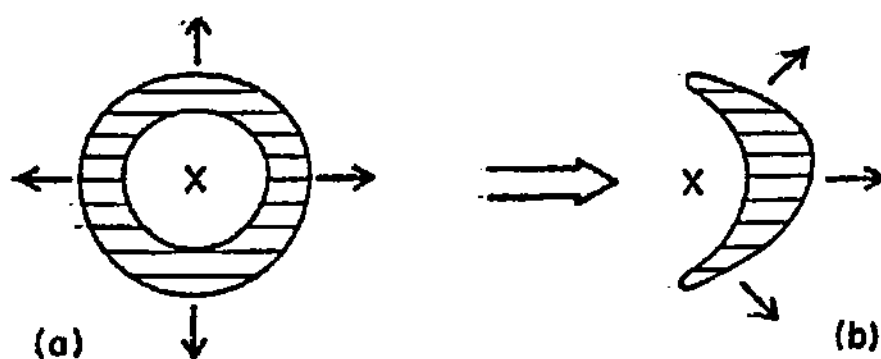
Os Sistemas Frontais (SF) que se deslocam sobre o Brasil estão entre as mais importantes perturbações atmosféricas, responsáveis pela precipitação e pelas mudanças de temperatura em quase todo o País e, mesmo, nas regiões equatoriais. Na maioria das vezes, esses sistemas originam-se de ondas baroclínicas das latitudes médias, de escala espacial da ordem de 3.000 km, e estão imersos nos ventos de oeste daquelas latitudes. Tais ondas, provenientes do oceano Pacífico, modificam-se ao atravessar os Andes e interagem com a circulação atmosférica sobre a América do Sul (MOLION, 1987; CLIMANÁLISE, 1986). Alguns autores relataram que o resultado da ação dos Andes e sua interação com a atmosfera e os sistemas frontais que se deslocam,

predominantemente, de oeste para leste, sobre o oceano Pacífico, adquirem uma componente de deslocamento em direção ao Equador, após cruzarem os Andes, com propagação típica de sudeste para nordeste, ao longo da costa leste da América do Sul, chegando a atingir latitudes tropicais. Durante a maior parte do ano, à exceção do inverno, esses sistemas frontais sobre a América do Sul interagem com a convecção tropical, dando origem a nuvens-cúmulos de grande desenvolvimento vertical, responsáveis pela maior parte da precipitação nas regiões tropical e subtropical do País (CLIMANÁLISE, 1986).

Segundo OLIVEIRA (1986), na Amazônia, uma das causas das altas precipitações é a influência dos Sistemas Frontais do Hemisfério Sul (SFHS). Esse autor estudou o deslocamento dos SFHS sobre o Brasil durante um período de 10 anos. Em seu trabalho, utilizou as imagens do satélite GOES, no período de 1975 a 1984, e observou que praticamente não existe muita diferença na distribuição temporal dos SFHS que ultrapassam a latitude de 25°, orientados na direção NW-SE. O número daqueles SFHS que organizam convecção na Amazônia é máximo na primavera (setembro/novembro) e mínimo no inverno (julho/agosto). As incursões de ar frio, oriundas do Hemisfério Norte, também parecem ter influência sobre as regiões tropicais da América do Sul. A penetração profunda dos Sistemas Frontais do Hemisfério Norte (SFHN) no Atlântico subtropical, especialmente durante o inverno daquele hemisfério, pode causar perturbações no campo dos ventos alísios, induzindo a formação de sistemas transientes na escala subsinótica (MOLION, 1987).

Na Amazônia, grandes aglomerados de cúmulos-nimbos formam-se e dissipam-se diariamente. O desenvolvimento das células convectivas, normalmente, começa pela manhã, caso não haja mecanismos forçantes de maior escala. Essas células sofrem um processo de seleção, por meio do qual algumas crescem, formando aglomerados ou linhas, enquanto as menores dissipam-se. A formação de uma linha, no interior do continente ou de um aglomerado, depende do escoamento troposférico médio. As correntes descendentes da célula original funcionam como um minissistema frontal, levantando ar quente e úmido a sua frente. Com um campo de vento moderado, as novas células convectivas surgem à frente da célula original, formando uma linha arqueada. Quando o vento é muito fraco, as novas células circundam a célula original, em decaimento, formando um anel, com uma região de subsidência no centro, conforme relatou MOLION (1987).

A Figura 8 ilustra esse mecanismo de formação de células nas regiões tropicais.



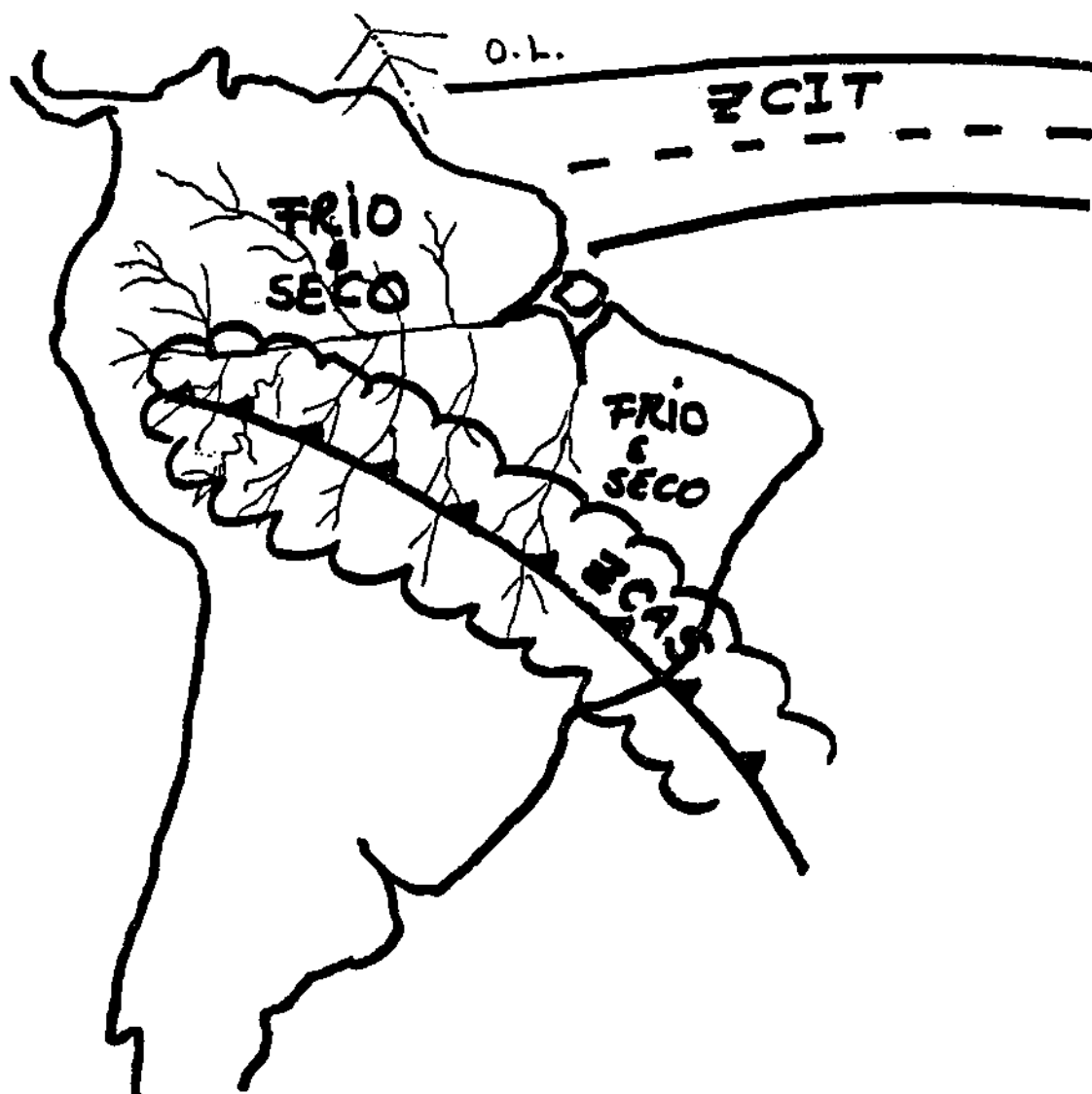
FONTE: MOLION (1987).

FIGURA 8 - (a) Célula Convectiva: Vento Moderado (b) Célula Convectiva Vento Fraco e X Região de Subsidência.

2.2.2. Zona de Convergência do Atlântico Sul

No período de verão tem sido observada, com frequência, mediante imagens de satélite, uma faixa de nebulosidade, orientada no sentido NW-SE, na altura da latitude de 15° a 25°S, que se estende sobre o continente Sul-Americano, desde o oeste da Amazônia até a costa leste do Brasil, atingindo o oceano Atlântico. Algumas vezes, esse sistema permanece estacionário nessa posição, estabelecendo uma zona de convergência entre os ventos alísios modificados, após passarem sobre a Amazônia, e a massa de ar frio de origem polar. Esta zona de convergência vem sendo denominada Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), e pode permanecer ativa por períodos de quatro a seis semanas consecutivas, quando produzem grandes totais pluviométricos em sua área de atuação (MOLION, 1990).

A ZCAS ocorre entre os ventos alísios sobre a América do Sul. Seu estudo é importante pelas condições de tempo a ela associadas, porque as regiões situadas ao sul e ao norte da ZCAS e, neste último caso, todo o centro-leste da Amazônia apresentam períodos de estiagem severa (Figura 9). CALHEIROS e SILVA DIAS (1988) relataram que a ZCAS tem condições apropriadas para formação de precipitação intensa, e, com alguma frequência, ocorre um fenômeno configurando um bloqueio que faz com que a ZCAS fique estacionária sobre a região, provocando chuvas intensas, acompanhadas de enchentes na região mais ativa e, frequentemente, veranicos ao sul e ao norte do País. Dentre outros episódios mais



FONTE: MOLION (1990).

FIGURA 9 - Representação Esquemática dos Sistemas Atmosféricos ZCIT, ZCAS e OL.

recentes, relacionados à ZCAS, as cheias ocorridas no Acre, as chuvas intensas na região do Rio de Janeiro, no mês de março de 1988, e, mesmo, o recente regime anômalo de chuva na África do Sul fazem parte do mesmo quadro geral ligado ao posicionamento da ZCAS (CALHEIROS e SILVA DIAS, 1988).

Tanto o deslocamento quanto o rompimento da ZCAS dependem de uma perturbação atmosférica muito intensa, proveniente do oceano Pacífico, a qual se automantém pela própria formação da precipitação, mediante um processo denominado CISK (Instabilidade Condicional de Segunda Espécie).

CALHEIROS e SILVA DIAS (1988) afirmaram que os processos, tanto de rompimento quanto de deslocamento da ZCAS, podem ser interpretados como se uma grande onda na atmosfera viesse do Pacífico e atravessasse os Andes, fazendo com que o sistema, até então estacionário, deixasse a região mais afetada. A cordilheira dos Andes parece ser um dos fatores topográficos importantes para o posicionamento da ZCAS, gerando um cavado de grande escala no escoamento geral da troposfera próximo da costa leste do continente sul-americano, possuindo a mesma inclinação horizontal da ZCAS (SATIAMURTY e RAO, 1988). Esse cavado semipermanente favorece a presença das frentes por longos períodos e serve como recipiente dos sistemas de baixa pressão e vórtices de mesoescala, permitindo, assim, uma manifestação da ZCAS nessa região. Outros fatores importantes são: o aquecimento continental, que gera uma região de baixa pressão, e a convecção tropical, com conseqüente liberação de calor latente, no Atlântico sul. Climatologicamente, a ZCAS é mais

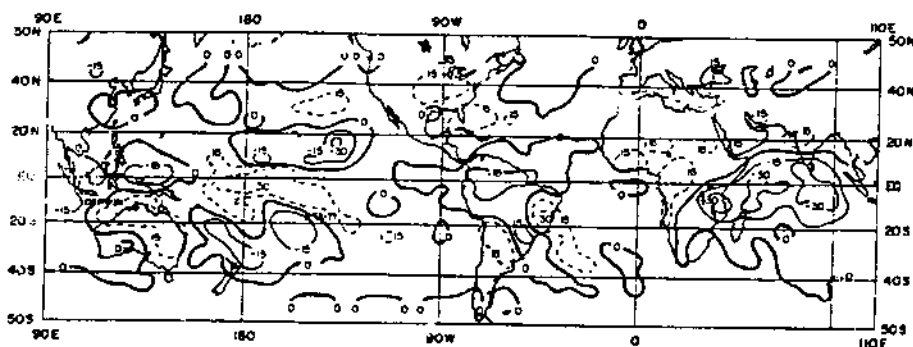
atuante entre os meses de novembro e abril e está diretamente associada à estação chuvosa de importantes regiões do País, como as Regiões Sul, Sudeste, Nordeste e Centro-Oeste e parte sul da região Amazônica (SATIAMURTY e RAO, 1988).

A situação de bloqueio desempenha um papel importante na meteorologia sinótica, que deve ser considerada, tanto por sua formação quanto pelas condições de tempo associadas. Os bloqueios são caracterizados por um sistema de alta pressão, também conhecido como alta de bloqueio na região onde os ventos vêm de oeste. Quando essa alta se estabelece, o sistema torna-se persistente e impede a propagação dos sistemas transientes, como frentes, ciclones e anticiclones (CLIMANÁLISE, 1986). Van Loon (1956), citado por CASARIN e KOUSKY (1986), em seus estudos para o HS, afirmou que a duração provável dos bloqueios parece estar entre 6 e 10 dias. Observou ainda que a duração média dos bloqueios no oceano Pacífico é de 9,5 dias e, dos casos examinados no oceano Atlântico, de 8,5 dias, tendo, portanto, duração menor que no HN, onde, em média, os bloqueios duram de 12 a 16 dias. CASARIN e KOUSKY (1986) relataram que as condições de bloqueio se caracterizam pela permanência do regime de condições atmosféricas específicas em determinadas regiões. Esse regime prolongado de condições atmosféricas indica a possibilidade da existência de anos de anomalias de temperatura e precipitação sobre a região abrangida pelo fenômeno de bloqueio.

2.2.3. Radiação de Onda Longa (ROL)

Os dados de radiação de onda longa emitidos pelo sistema Terra-Atmosfera ("outgoing longwave radiation") são uma ferramenta poderosa para estudo de anomalias de precipitação nas regiões tropicais e subtropicais (RASMUSSEN e CARPENTER, 1983). Atualmente, as medições são feitas por satélites e publicadas, mensalmente, pelo Boletim do Centro de Análises Climáticas dos Estados Unidos da América, CAC/NWS, e transcritos pelo Boletim de Monitoramento Climático do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE (CASARIN, 1986; KOUSKY e MOLION, 1981). Nas regiões onde existem nuvens de grande desenvolvimento vertical, tem-se a informação correspondente à temperatura no topo das nuvens. Nas regiões onde não existe nebulosidade, tem-se informação correspondente à temperatura da superfície da Terra (CASARIN e KOUSKY, 1986). Estes autores relataram que nas latitudes mais altas, onde a temperatura da superfície pode variar bastante, é difícil afirmar que as anomalias de ROL representam variações na quantidade de nebulosidade ou variações na temperatura da superfície. Entretanto, nas regiões tropicais mais chuvosas, uma anomalia negativa de ROL representa atividade convectiva forte e, provavelmente, precipitação mais intensa que a normal. Uma anomalia positiva de ROL mostra, ao contrário, menor atividade convectiva e, provavelmente, pouca ou nenhuma precipitação. Anomalias negativas de ROL de até -15 W/m^2 , sobre uma região alongada latitudinalmente, no Atlântico equatorial indicaram atividade convectiva associada à ZCIT e a sua

migração para o sul, em relação ao mês anterior (CASARIN e KOUSKY, 1986). Estes afirmaram que, sobre a América do Sul, são observadas ocorrências de anomalias negativas de ROL de até -15 W/m^2 sobre a Bolívia e o Peru, indicando aumento de atividade convectiva nessa região e anomalias positivas de ROL de até 15 W/m^2 sobre o sul do Nordeste, indicando uma possível diminuição das chuvas naquela região, em relação a dezembro. Essa descrição é evidenciada na Figura 10.



FONTE: CAC/NWS (1988).

FIGURA 10 - Anomalias de Radiação de Onda Longa.

2.2.4. Corrente de Jato Subtropical (CJS)

A Corrente de Jato Subtropical (CJS) é uma faixa estreita da atmosfera, com ventos fortes, com o máximo de intensidade (maior que 60 nós, aproximadamente 110 km/h) concentrado ao longo de um eixo quase horizontal, muitas vezes relacionado a cavados que se estendem às latitudes subtropicais, com raízes na ZCIT. Essa CJS localiza-se entre os níveis geopotenciais de 100 a 200 hPa, geralmente associada, em superfície, mais às frentes frias, encontrando-se próximo da tropopausa (TPP), entre 30 e 60 graus de latitude (KOUSKY e KAYANO, 1981). Na corrente de jato, destacaram-se as seguintes características atmosféricas: dentro da troposfera, a temperatura é mais alta próximo do Equador e decresce em direção aos pólos, bem como na vertical. A CJS está intimamente relacionada a uma forte zona de contraste térmico. No Hemisfério Sul, o ar frio localiza-se à direita da CJS, enquanto o ar quente se localiza à esquerda desta. Na região do jato existe vorticidade em virtude do cisalhamento. A vorticidade é ciclônica e ocorre do lado direito da CJ. Este fator contribui para gerar um centro de máxima vorticidade ciclônica no cavado, à direita da CJS (KOUSKY e KAYANO, 1981).

2.2.5. Fontes e Sumidouros

Junto à superfície do solo, os processos diabáticos predominam (processos nos quais se verificam fornecimento e,

ou, retirada de calor pelo sistema), posto que o ar atmosférico troca calor com o solo continuamente (VIANELLO, 1981). Se a temperatura do ar junto ao solo for menor que a temperatura do solo, este atuará como fonte de calor para a atmosfera; caso contrário, o solo atuará como sumidouro de calor da atmosfera (VIANELLO e ALVES, 1991). Estes autores relataram que nas camadas superiores da atmosfera, distantes das fontes e dos sumidouros, as trocas de calor são desprezíveis, predominando, dessa forma, os processos adiabáticos. VIANELLO (1981) reportou que as ondas livres, que se deslocam constantemente, caracterizam as variações do tempo e se originam de mecanismos de instabilidade da corrente zonal de grande escala. As ondas forçadas resultam, principalmente, dos efeitos sofridos pelo escoamento, em razão de irregularidades zonais da superfície. Tais irregularidades correspondem às elevações continentais, em contraste com a superfície oceânica, e às fontes e aos sumidouros de calor, resultantes do aquecimento diferencial (Charney e Eliassen, 1949, citados por VIANELLO, 1981). Este autor relatou, ainda, que o estudo das perturbações estacionárias contribuem significativamente para o melhor conhecimento dos climas regionais, embora sejam também importantes para a previsão do tempo.

2.3. Escala Subsinótica

Nesta escala, as ondas típicas têm comprimento entre 100 e 500 km. Dentre essas perturbações estão as linhas de instabilidade (LI) e aglomerados de cúmulos-nimbos ou linhas

de cúmulos-nimbos (LCb). Existe um bom número de estudos acerca do comportamento e da estrutura de sistemas tropicais de escala subsinótica que foram realizados a respeito da África e do Atlântico tropical leste, com dados coletados durante o primeiro experimento do Programa de Pesquisa da Atmosfera Global (GATE) (HASTENRATH, 1985; HOUZE, 1977). Para a Amazônia, porém, não existe ainda um conjunto de dados adequados. A única fonte disponível para estudar a formação e a propagação de sistemas atmosféricos têm sido as imagens de satélite, associadas com os dados esparsos de superfície e de radiossondagens (CAVALCANTI, 1982; COHEN et alii, 1989; MOLION, 1990). COHEN et alii (1989), utilizando dados coletados durante o Primeiro Experimento da Camada-Limite sobre a Amazônia (ABLE I) e imagens dos satélites GOES E e GOES W, nos canais do infravermelho e de vapor de água, mostraram que, em certas ocasiões, linhas de instabilidade (LI) que se originam na costa norte-nordeste da Amazônia ou costa atlântica, graças à convergência da brisa marítima, se propagam para o interior do continente ou se dissipam na costa. Estas LI's, quando se propagam para o interior do continente, alcançam muitas vezes a cordilheira dos Andes e permanecem ativas por mais de 48 horas. COHEN et alii (1989), em seus estudos, que abrangem o período de 1979 a 1986, determinaram as dimensões horizontais médias das LI's, sua velocidade média de propagação e seu tempo de vida aproximado. Na Amazônia, esses autores classificaram as LI's em duas categorias: linhas de instabilidade que se propagam para o interior do continente (LIP), com dimensões entre 170 e 400 km, e as linhas de instabilidade que se dissipam na

costa (LIC), com dimensão espacial de 170 km. Para uma amostragem de 30 casos, das 268 linhas de instabilidade analisadas, foi determinada uma velocidade média de 12 a 16 m/s. Estes cálculos estão de acordo com estimativas feitas por MOLION e KOUSKY (1985), que encontraram 10° de longitude/dia, ou seja, uma componente zonal de 12,8 m/s. FERNANDEZ (1980) elaborou cálculo idêntico para Africa, encontrando a velocidade média das LI's de 14,8 m/s sobre o Atlântico leste. Quanto ao tempo de vida das LI's, COHEN et alii (1989) verificaram que 68% das LIC duram de 6 a 12 horas, enquanto as LIP variam entre 9 e 15 horas; em alguns casos, chegam a duração de até dois dias. ORLANSKI (1975) estudou as linhas de instabilidade na Amazônia e as classificou como sistema da escala Mesobeta, em que o comprimento varia de 20 a 200 km e sua duração temporal, de 1 a 24 horas, enquanto as LIC têm 1.400 km de comprimento por 170 km de largura. Dessa forma, estes sistemas, em seus estádios iniciais, podem ser considerados como sistemas de mesoescala e atingir a escala sinótica após seu deslocamento.

CUTRIN e COHEN (1987) relataram que as linhas de instabilidade são responsáveis por aproximadamente 45% das chuvas que caem no leste paraense durante o período chuvoso daquela região. MOLION e KOUSKY (1985) afirmaram que as linhas de instabilidade na Amazônia formam-se no final da tarde, propagando-se para dentro do continente, com uma velocidade média de 10° de longitude/dia, porém a redução do contraste térmico, durante a noite conduz à dissipação das Lis, as quais podem reiniciar suas atividades no dia

seguinte, quando se estabelece o aquecimento da superfície. Afirmaram ainda que a distribuição anual de precipitação mostra um máximo de 3.000 mm junto à costa e um mínimo de 1.600 mm na região de Santarém, distante 700 km da costa atlântica, e que as LI's seriam responsáveis pela distribuição média mensal de precipitação na Amazônia.

KOUSKY (1979), em trabalho observacional, verificou que a brisa marítima na costa atlântica penetra no continente como uma LI e propaga-se como uma LIP; isto ocorre quando o escoamento médio em 850 hPa é perpendicular à costa. CAVALCANTI (1982), utilizando cinco anos de imagens de satélite, realizou um estudo observacional a respeito da interação entre as linhas de instabilidade formadas no litoral nordeste da América do Sul e a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Observou que a região de formação das Lis apresenta um deslocamento na direção norte-sul, no mesmo sentido e na época da ZCIT. Seus resultados indicaram que a maior frequência das LI's ocorre no período em que a ZCIT está mais organizada (Figuras 11 e 12). Além da convergência da brisa marítima, penetrações profundas de sistemas frontais de ambos os hemisférios, em regiões equatoriais do Atlântico, causam perturbações no campo dos alísios, as quais se propagam para oeste e, também, dão origem às linhas de instabilidade (MOLION, 1990).



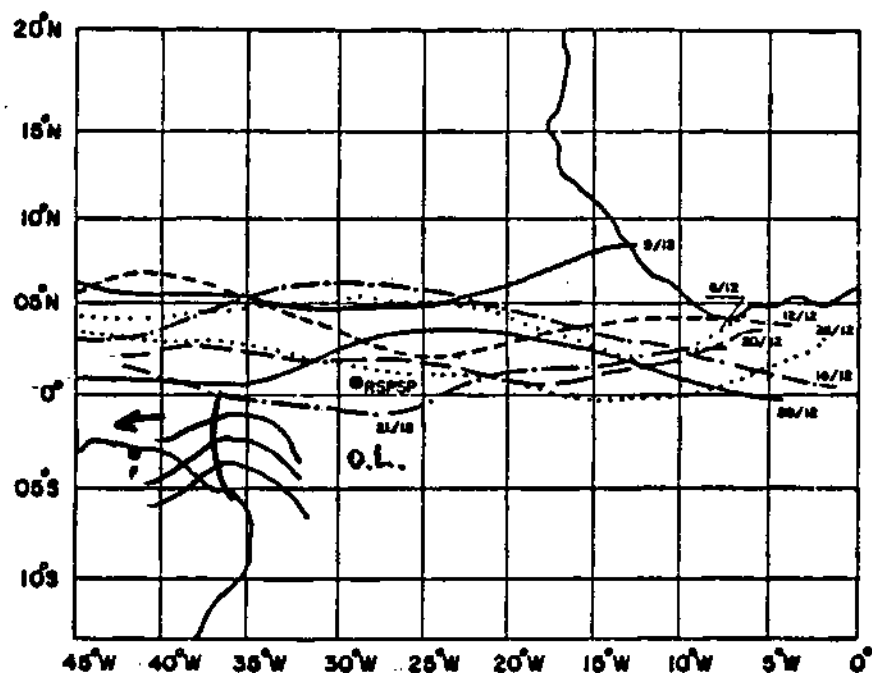
(a) Janeiro



(b) Junho

FONTE: MILLER e FEDDES (1971).

FIGURA 11 - Mosaico de Nebulosidade Sobre a América do Sul.



FONTE: INPE (1989).

FIGURA 12 - Posição Geográfica Média do Eixo de Nebulosidade Convectiva, Indicativo da Posição da ZCIT.

2.3.1. Ondas de Leste

As Ondas de Leste (OL) são perturbações no deslocamento dos ventos alísios na faixa tropical do Globo, propagando-se de leste para oeste. As OL, denominadas também de ondas nos alísios, são reconhecidas pela configuração de V invertido (Figuras 9 e 12). As bandas cumuliformes são curvadas em relação ao eixo do cavado e apresentam inclinação maior que as linhas de corrente. As OL formam-se no campo da pressão atmosférica, ao longo dos ventos alísios, na faixa tropical do Globo. Segundo PETERSEN (1976), estas linhas de fluxo oscilam superpostas ao fluxo

de leste, no cinturão dos ventos alísios. Na região de baixa pressão da onda, o tempo é caracteristicamente chuvoso, associando-se freqüência a tempestades. As nuvens do tipo cúmulos e cúmulos-nimbos destacam-se sobre a configuração. Ainda de acordo com PETERSEN (1976), na América do Sul, as ondas de leste ocorrem, com freqüência, na faixa tropical do Atlântico, e seu deslocamento tem direção para oeste. As OL são mais freqüentes, principalmente, no inverno. Como essa região é dominada pela massa tropical marítima e pelo anticiclone do Atlântico sul, provoca subsidência e, conseqüentemente, inversão dos alísios (RIEHL, 1954; PETERSEN, 1976; KOUSKY et alii, 1984; CARVALHO, 1988; VIANELLO e ALVES, 1991).

2.4. Meso e Microescala

A mesoescala, ou escala de grade, dos modelos numéricos tem comprimento de onda característico de 100 km. Os representantes desta escala são as células convectivas e os cúmulos-nimbos, associados ou não à circulação local, que geralmente produzem chuvas intensas, porém de curta duração.

Os sistemas convectivos de mesoescala podem produzir precipitação nas regiões de média e baixa latitudes. Entretanto, este trabalho ocupou-se apenas da descrição daqueles sistemas atmosféricos de maior importância que produzem as condições de tempo nas regiões equatoriais.

SILVA DIAS (1988) afirmou que a "Escola Norueguesa", que advoga a estrutura frontal, com seus modelos frontais, há mais de meio século ainda tenta interpretar os detalhes

dos sistemas de precipitação nas baixas e médias latitudes, em mesoescala, no contexto de simples cópias das frentes frias, quentes e oclusas. Esses modelos são, na melhor das hipóteses, inadequados e, na pior das hipóteses, levam a conclusões errôneas e a uma dependência exagerada. Brownig (1986), citado por SILVA DIAS (1988), propôs-se à tarefa de melhorar tais modelos, o que não é fácil. Sugeriu, entretanto, que se podia apresentar apenas alguns passos cambaleantes na direção de um novo ataque conceitual da análise frontal. O mesmo autor relatou ainda que o primeiro requisito para analisar as características de mesoescala das nuvens de precipitação, em sistemas frontais, seria fazer um enquadramento da escala sinótica que fosse capaz de conciliar as observações de forma natural com essa escala centrada no sistema. No entanto, um conceito que tem sido útil está baseado na idéia da "esteira transportadora", em cuja essência se identifica o mais importante escoamento troposférico, que produz nuvens e precipitação, utilizando-se eixos de referências relativos aos sistemas de Brownig (1986), citado por SILVA DIAS (1988). A esteira transportadora quente é um mecanismo dominante em sistemas frontais, para região tropical, e o levantamento baroclínico inclinado mostra um padrão de escoamento de grande escala no sistema cavado-crista.

MOLION e DALLAROSA (1990), analisando duas séries de dados de precipitação, uma ao longo da longitude de 56°W, com 11 anos de registro, e outra ao longo de 60°W, com 10 anos, mostraram que as estações próximas às margens dos grandes rios apresentam totais pluviométricos de 20 a 30%

inferiores aos das estações afastadas mais de 20 km das margens. Atribuíram tal decréscimo à influência da brisa fluvial, uma circulação de mesoescala que se estabelece em regiões onde os rios são suficientemente largos, isto é, como uma pista para o vento (fetch) superior a 10 km. O ramo descendente da brisa localiza-se sobre o rio e suas imediações, provocando a redução de chuvas. MOLION (1990) analisou os perfis verticais de vento obtidos com balão cativo e radiossonda durante os experimentos meteorológicos da Amazônia (GTE-ABLE IA e IIB), no período de 1987 a 1988, e identificou a presença de uma circulação de baixo nível na região próxima aos rios Amazonas e Negro. Concluiu que esta circulação indica a presença de um escoamento troposférico de nordeste (sentido floresta-rio), durante o períodos noturno e da manhã, e de um escoamento de sudeste (sentido rio-floresta), durante o período da tarde. Essa circulação é coerente com uma circulação do tipo brisa fluvial, descrita posteriormente por MOLION e DALLAROSA (1990). Estes autores relataram que ainda esta é uma circulação induzida pelo contraste térmico entre os rios Amazonas e Negro, localizados a sudeste da região do experimento (Reserva Duck, área pertencente ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia-INPA), com a região de florestas localizada ao norte. Durante o ciclo diurno, os gradientes de pressão e temperatura comprovam a existência de uma área de alta pressão, "mais fria", sobre a região correspondente ao rio Negro, situada a sudeste, mudando gradativamente para a região correspondente à floresta, situada a nordeste, durante o período noturno. Este padrão de escoamento

confirmou a hipótese da presença de uma "circulação térmica induzida" pelo contraste térmico entre o rio e a floresta adjacente. Os referidos autores relataram, ainda, que o contraste térmico entre a temperatura do ar sobre o rio Negro e a temperatura do ar sobre a floresta adjacente é da ordem de 6°C, no período noturno, e de cerca de 3°C, no período diurno.

3. MATERIAL E MÉTODOS

No presente estudo, analisaram-se apenas as duas maiores escalas e suas interações para determinação do clima da região Amazônica. Tratou-se, portanto, da interpretação das configurações geradas pelos sistemas atmosféricos, nas duas maiores escalas e suas influências no clima local.

Procurou-se analisar os sistemas atmosféricos geradores das condições de tempo e dos elevados totais pluviométricos que trouxeram, como consequência, a elevação dos níveis dos rios amazônicos. Enfatizaram-se aqueles trimestres em que os sistemas atmosféricos estiveram mais ativos, bem como deram contribuições para o período mais chuvoso, de novembro de 1988 a julho de 1989, na Amazônia, quando o nível das águas do rio Negro alcançou a cota máxima de 29,42 m, dia 3 de julho de 1989 (Quadros 1, 3 e 4 e Figura 1).

QUADRO 3 - Cotas do Nível do Rio Negro, no Porto de Manaus, em Relação ao Nível do Mar no Ano de 1988

Dias em 12/1987	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Maio	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
1	20 50	22 55	24 43	24 97	25 73	27 25	27 76	27 09	24 10	18 75	18 36	19 93
2	+ 55	+ 59	+ 48	24 97	+ 79	+ 27	- 75	- 04	23 92	- 61	- 37	20 10
3	+ 60	+ 66	+ 52	- 96	+ 83	+ 30	75	26 99	- 74	- 47	+ 38	+ 20
4	+ 65	+ 72	+ 58	- 95	+ 89	+ 32	75	- 94	- 56	- 34	+ 41	+ 29
5	+ 70	+ 76	+ 61	- 95	+ 95	+ 34	- 74	- 89	- 38	- 24	41	+ 38
6	+ 75	+ 81	+ 64	24 94	26 00	+ 37	- 73	- 84	- 19	- 12	- 38	+ 48
7	+ 79	+ 86	+ 66	24 94	+ 09	+ 39	- 72	- 79	- 04	- 04	- 35	+ 59
8	+ 80	+ 91	+ 69	24 93	+ 18	+ 41	- 71	- 73	22 89	17 99	- 31	+ 69
9	+ 97	+ 99	+ 73	24 94	+ 27	+ 44	- 70	- 68	- 69	- 94	31	+ 79
10	21 05	23 06	+ 78	24 96	+ 35	+ 46	- 69	- 62	- 47	- 89	+ 32	+ 89
11	+ 13	+ 13	+ 80	24 98	+ 42	+ 48	- 67	- 55	- 25	- 85	+ 34	+ 99
12	+ 20	+ 19	+ 82	25 00	+ 48	+ 51	- 65	- 49	- 03	17 82	+ 37	21 12
13	+ 25	+ 26	+ 83	25 02	+ 53	+ 54	- 62	- 41	21 82	17 82	+ 40	+ 19
14	+ 30	+ 33	+ 84	25 05	+ 57	+ 56	- 62	- 61	- 61	17 82	+ 44	+ 27
15	+ 37	+ 41	+ 85	+ 07	+ 61	+ 58	- 60	- 24	- 43	+ 85	+ 48	+ 38
16	+ 47	+ 49	+ 86	+ 10	+ 64	+ 60	- 58	- 15	- 25	+ 88	+ 53	+ 46
17	+ 57	+ 57	+ 90	+ 13	+ 67	+ 62	- 55	- 06	- 07	+ 91	+ 59	+ 54
18	+ 67	+ 65	24 91	+ 16	+ 70	+ 64	- 52	25 96	20 89	+ 95	+ 66	+ 61
19	+ 77	+ 72	24 91	+ 19	+ 74	+ 66	- 50	- 85	- 71	+ 96	+ 73	+ 68
20	+ 84	+ 79	24 91	+ 23	+ 79	+ 68	- 47	- 74	- 51	+ 98	+ 91	+ 78
21	+ 90	+ 86	24 91	+ 27	+ 92	+ 69	- 44	- 63	- 35	+ 98	+ 89	+ 89
22	+ 99	+ 94	24 91	+ 31	+ 85	+ 69	- 41	- 52	- 20	18 00	19 02	+ 95
23	22 07	24 00	24 91	+ 35	+ 87	+ 69	- 38	- 40	- 05	+ 02	+ 16	+ 99
24	+ 15	+ 06	+ 92	+ 40	+ 90	+ 69	- 35	- 28	19 88	+ 05	+ 26	22 03
25	+ 23	+ 11	+ 93	+ 45	+ 97	+ 70	- 32	- 14	- 71	+ 08	+ 37	+ 07
26	+ 29	+ 16	+ 94	+ 50	27 01	+ 72	- 30	- 01	- 54	+ 12	+ 46	+ 11
27	+ 35	+ 24	+ 95	+ 54	+ 06	+ 74	- 28	24 87	- 37	+ 13	+ 55	+ 19
28	+ 39	+ 32	+ 96	+ 58	+ 10	+ 75	- 26	- 73	- 19	+ 19	+ 63	+ 20
29	+ 43	24 40	24 97	+ 63	+ 14	27 78	- 21	- 59	- 04	+ 24	+ 73	- 18
30	+ 47		24 97	25 68	+ 18	27 78	- 17	- 43	18 89	+ 28	19 84	- 17
31	22 51		24 97		27 22		27 13	24 26		18 32		22 16
Médias	21 50	23 43	24 80	25 17	26 56	27 56	27 53	25 97	21 43	18 08	18 76	21 33

QUADRO 4 - Cotas do Nível do Rio Negro, no Porto de Manaus, em Relação ao Nível do Mar no Ano de 1989

Dias	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Maió	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
1	22 15	22 96	25 32	26 83	27 82	28 92	29 40	28 87	27 12	23 35	21 08	21 94
2	- 14	23 07	+ 36	+ 92	+ 84	+ 85	+ 41	- 84	- 03	- 17	+ 11	- 87
3	- 09	+ 17	+ 42	+ 96	+ 87	+ 53	29 42	- 79	26 94	22 99	+ 15	- 80
4	- 04	+ 27	+ 47	27 00	+ 89	+ 91	29 42	- 76	- 86	- 80	+ 20	- 72
5	21 99	+ 37	+ 52	+ 04	+ 91	+ 95	29 42	- 73	- 78	- 61	+ 26	- 65
6	- 95	+ 47	+ 56	+ 08	+ 94	+ 99	29 42	- 69	- 69	- 43	+ 32	- 56
7	- 91	+ 56	+ 61	+ 12	+ 97	29 02	- 41	- 65	- 59	- 26	+ 38	- 48
8	- 87	+ 64	+ 66	+ 16	28 01	+ 05	- 40	- 60	- 49	- 09	+ 41	- 40
9	- 93	+ 69	+ 71	+ 20	+ 03	+ 07	- 39	- 56	- 39	21 92	+ 46	- 33
10	- 75	+ 77	+ 76	+ 23	+ 06	+ 09	- 38	- 52	- 29	- 76	+ 51	- 26
11	- 76	+ 85	+ 81	+ 28	+ 09	+ 11	- 36	- 48	- 18	- 59	+ 57	- 19
12	- 75	+ 93	+ 86	+ 33	+ 11	+ 14	- 34	- 44	- 06	- 45	+ 63	- 12
13	- 75	24 01	+ 91	+ 38	+ 13	+ 16	- 32	- 40	25 95	- 33	+ 69	- 03
14	+ 81	+ 10	+ 98	+ 41	+ 16	+ 19	- 30	- 36	- 84	- 23	+ 73	20 95
15	+ 58	+ 19	26 05	+ 44	+ 19	+ 22	- 28	- 31	- 70	- 15	+ 79	- 90
16	+ 95	+ 28	+ 12	+ 47	+ 23	+ 23	- 27	- 25	- 58	- 08	+ 85	- 83
17	+ 95	+ 37	+ 19	+ 49	+ 28	+ 24	- 26	- 19	- 47	- 02	+ 93	- 76
18	+ 95	+ 46	+ 24	+ 51	+ 32	+ 25	- 24	- 12	- 36	20 98	+ 98	- 69
19	+ 99	+ 55	+ 28	+ 53	+ 37	+ 27	- 22	- 06	- 21	- 95	22 03	- 64
20	22 05	+ 64	+ 32	+ 56	+ 41	+ 28	- 20	28 00	- 09	- 94	+ 08	- 58
21	+ 11	+ 74	+ 36	+ 59	+ 44	+ 30	- 17	27 94	24 96	- 94	+ 12	- 51
22	+ 16	+ 82	+ 40	+ 62	+ 47	+ 32	- 14	- 87	- 83	- 95	+ 15	- 43
23	+ 21	+ 83	+ 45	+ 64	+ 50	+ 33	- 11	- 79	- 68	- 96	+ 17	- 35
24	+ 29	+ 96	+ 50	+ 66	+ 54	+ 34	- 07	- 72	- 52	- 99	+ 17	- 27
25	+ 35	25 04	+ 55	+ 69	+ 58	+ 35	- 06	- 65	- 36	21 01	+ 15	- 20
26	+ 42	+ 12	+ 60	+ 72	+ 61	+ 37	- 05	- 58	- 20	- 01	+ 12	- 13
27	+ 49	+ 19	+ 66	+ 75	+ 64	+ 39	- 04	- 51	- 05	- 01	+ 09	- 03
28	+ 57	25 26	+ 70	+ 76	+ 67	+ 40	- 01	- 44	23 89	- 02	+ 06	19 93
29	+ 65		+ 76	+ 78	+ 71	+ 40	28 98	- 36	- 71	- 03	+ 03	- 81
30	+ 74		+ 80	27 80	+ 75	29 40	- 94	- 28	23 53	- 05	21 99	- 68
31	22 37		26 84		28 79		28 90	27 21		21 05		19 55
Médias	22 11	24 14	26 08	27 40	28 26	29 17	28 26	28 16	25 54	21 55	21 74	20 82

Na elaboração deste trabalho, utilizaram-se séries temporais de dados meteorológicos de superfície e climatológicos, do período de setembro de 1988 a maio de 1989. Esse conjunto de informações abrangeu as séries pluviométricas diárias e totais médios mensais e anuais de 46 estações de superfície, em que foram selecionadas as séries homogêneas de estações localizadas na Amazônia, pertencentes ao Instituto Nacional de Meteorologia-INMET (Quadro 5 e Figura 13). Utilizaram-se, ainda, dados de ar superior, da América do Sul, e análises globais oriundas de modelos numéricos produzidos pelo Centro Nacional de Meteorologia dos EUA (NMCWS), pela Agência de Meteorologia do Japão (AJM) e pelo Centro Europeu de Previsão de Tempo a Médio Prazo (ECMWF).

Tais informações foram utilizadas para descrever o comportamento da circulação da alta e média troposfera sobre a América do Sul, região equatorial e vizinhanças. Campos de vento, altura geopotencial e anomalias do vento, nos níveis de 850, 500 e 200 hPa, também foram analisados. Em 850 hPa, procurou-se analisar o escoamento troposférico, verificando a existência de cavados, cristas, divergência e o comportamento dos centros semipermanentes do Atlântico e do Pacífico. Em 500 hPa, nível não-divergente, procuraram-se verificar a existência de cavados profundos e analisar a temperatura, com relação a anomalias de temperaturas em anos de El Niño intenso (1982/83) e em anos de Anti-El Niño, 1988/89. No nível de 200 hPa, procurou-se descrever o comportamento da Alta da Bolívia (AB) e da Corrente do Jato Subtropical, conforme determinações de KOUSKY e KAYANO (1981) e SILVA DIAS et alii (1983).

QUADRO 5 - Estações Meteorológicas dos Distritos de Meteorologia na Amazônia

Estação	Disme	Latitude	Longitude
82113 Barcelos	01	00°59'S	62°55'W
82410 Benjamin Constant	01	04°23'S	70°02'W
82425 Coari	01	04°55'S	63°05'W
82326 Codajás	01	03°50'S	62°05'W
82704 Cruzeiro do Sul	01	07°38'S	72°40'W
82610 Eirunepe	01	06°40'S	69°52'W
82212 Fonte Boa	01	02°32'S	66°10'W
82336 Itacoatiara	01	03°08'S	58°26'W
82723 Labrea	01	07°15'S	64°50'W
82331 Manaus	01	03°08'S	60°01'W
82533 Manicoré	01	05°49'S	61°18'W
82825 Porto Velho	01	08°46'S	63°05'W
82240 Parintins	01	02°38'S	56°44'W
82915 Rio Branco	01	09°58'S	67°48'W
82106 São Gabriel da Cachoeira (UAUPES)	01	00°08'S	67°05'W
82807 Tarauacá	01	08°10'S	70°46'W
82317 Tefé	01	03°22'S	64°42'W
82353 Altamira	02	03°12'S	51°12'W
82571 Barra do Corda	02	05°30'S	45°16'W
82191 Belém	02	01°27'S	48°28'W
82188 Breves	02	01°40'S	50°29'W
82765 Carolina	02	07°20'S	47°28'W
82861 Conceição do Araguaia	02	08°15'S	49°17'W
82568 Grajaú	02	05°48'S	46°27'W
82564 Imperatriz	02	05°32'S	47°30'W
82445 Itaituba	02	04°16'S	55°35'W
82098 Macapá	02	00°02'S	50°03'W
82562 Marabá	02	05°21'S	49°09'W
82281 Monte Alegre	02	02°00'S	54°05'W
82178 Óbidos	02	01°55'S	55°31'W
82243 Santarém (Taperinha)	02	02°25'S	54°20'W
82668 São Félix do Xingu	02	06°38'S	51°59'W
82280 São Luís	02	02°32'S	44°18'W
82141 Soure	02	00°43'S	48°33'W
82194 Tracuateua	02	01°05'S	46°54'W
82361 Tucuruí	02	03°43'S	49°43'W
82198 Turiaçu	02	01°43'S	45°24'W

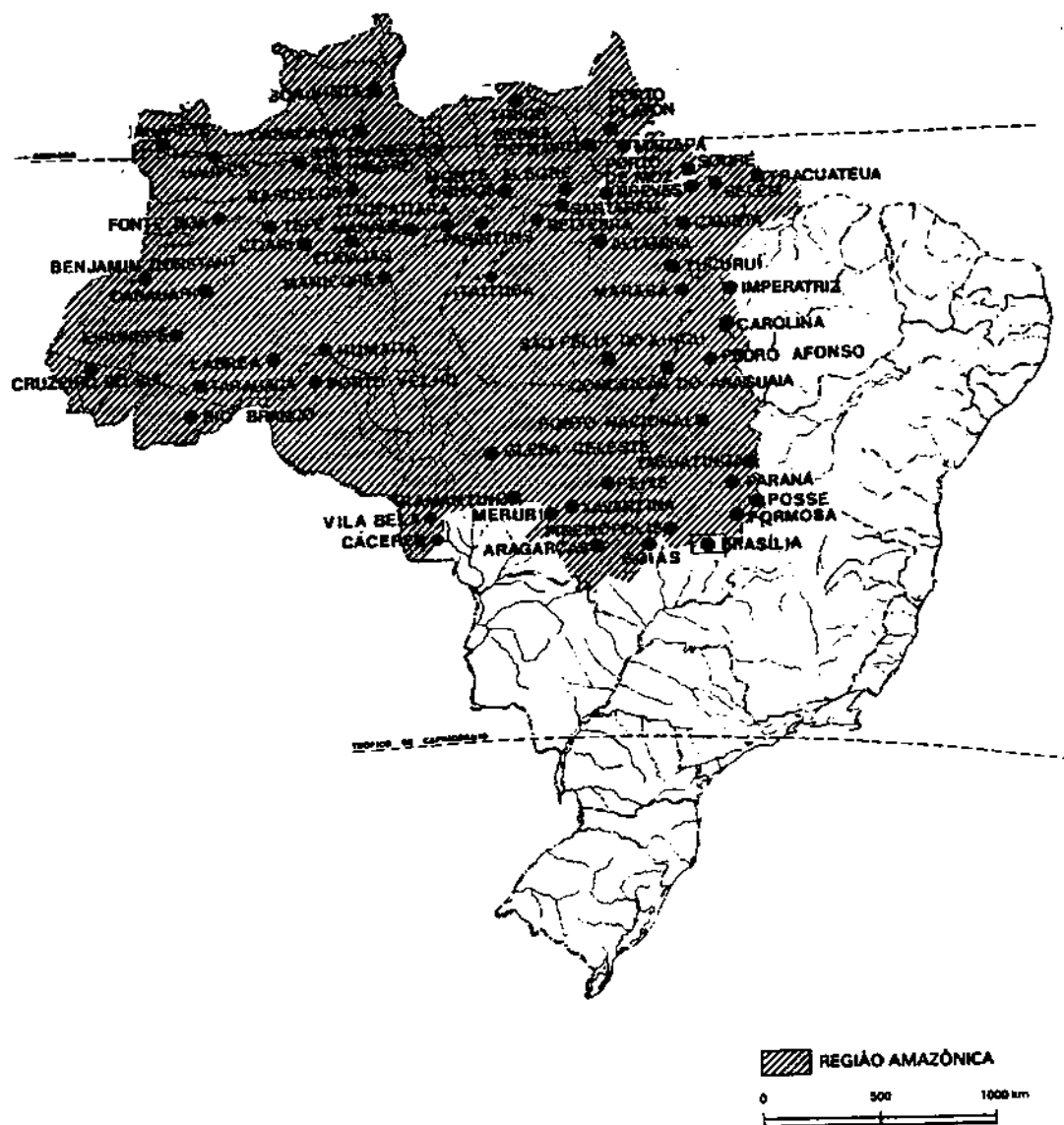
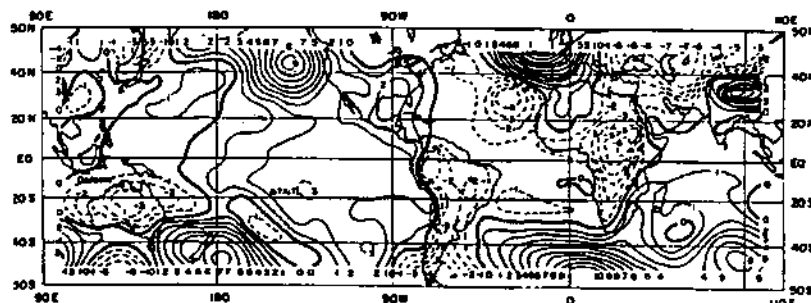


FIGURA 13 - Rede de Estações Meteorológicas do INMET na Amazônia.

À superfície, analisaram-se os sistemas de Alta e Baixa pressões semipermanentes do Atlântico e do Pacífico, bem como os Sistemas Frontais, as Linhas de Instabilidade, a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), a Zona de Convergência da América do Sul (ZCAS), as Cristas e os Cavados. Quando pertinente, esturaram-se as relações com a média e alta troposfera e com o gradiente isobárico. As condições de tempo meteorológico associado a esses sistemas atmosféricos foram prioritariamente analisadas.

As temperaturas da superfície do mar (TSM) e suas anomalias foram comparadas com os índices de IOS verificados no oceano Pacífico e com a convecção ocorrida na região em estudo (Figura 14). Analisou-se o comportamento do Índice de Oscilação Sul (IOS), conforme a intensificação ou o enfraquecimento dos episódios quente (El Niño), e frio (Anti-El Niño), particularmente na região do Pacífico equatorial (Quadros 2 e 7). As anomalias de radiação de onda longa emitida para o espaço (ROL) foram associadas à intensificação da convecção tropical.



FONTE: CAC (1988).

FIGURA 14 - Anomalias de Pressão ao Nível do Mar no Mês de Dezembro de 1988.

Usando cartas globais de pressão e as anomalias em 1.000 hPa, procurou-se verificar a predominância da baixa pressão sobre o continente, particularmente sobre as regiões norte e centro da Amazônia, durante o período de chuvas intensas. Esses produtos, resultantes de modelos numéricos globais e elaborados pelos centros mundiais de previsão do tempo (CAC/NWS, ECMWF e AJM), estão dispostos em uma grade global de 2,5° de latitude por 2,5° de longitude.

Para a análise das anomalias do campo de temperatura, no nível de 500 hPa, em anos de ENOS intensos de 1982/83 e Ante-El Niño de 1988/89, utilizou-se um gráfico preparado por Kousky, exclusivamente para este trabalho*.

Analisaram-se as séries de dados diários das oscilações do rio Negro, ocorrida nos portos de Manaus (período de 1903 a 1990) (Figura 1), Tefé, Coari e Manacapuru. Enfatizou-se o período de 1988/89, cujo objetivo foi comparar as variações dos níveis dos rios Negro e Solimões com as maiores atividades dos sistemas atmosféricos na região em estudo.

3.1. Análise das Cartas de Superfície

Para descrever o comportamento da atmosfera na baixa troposfera e suas relações com o tempo significativo, foram utilizadas as cartas diárias, horário 12 h TMG, elaboradas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET),

* Cortesia de E.V. Kousky, pesquisador do CAC/NWS, EUA.

comparando-se as configurações verificadas nessas cartas de superfície com os campos do vento nos níveis de 850, 500 e 200 hPa (análise isobárica ao nível de superfície, com análises de linha de corrente), de setembro de 1988 a maio de 1989, conforme observou VIRJI e KOUSKY (1983). Compararam-se, também, as configurações encontradas nos campos médios mensais e anomalias de 1.000 hPa do CAC/NWS, escalas planetária e continental. Compararam-se ainda, visualmente, as configurações geradas pelos sistemas atmosféricos nos níveis geopotenciais de 850, 500 e 200 hPa. Com essas análises, procurou-se descrever o comportamento de cada sistema, bem como sua intensidade.

Descreveram-se os campos isobáricos, em particular, as configurações verificadas ao nível de superfície e as atividades dos sistemas desenvolvidos nas escalas planetária e continental, procurando verificar quais foram suas influências na escala regional. Tentou-se, também, associar as configurações dos campos de pressão a possíveis penetrações de sistemas frontais, linhas de instabilidade, cavados e cristas, ondas nos alísios e respectivas intensificações ou enfraquecimentos dos sistemas atmosféricos. Para análise dos campos médios mensais e decendiais de precipitação, utilizaram-se mapas pluviométricos do Boletim Agroclimatológico, disponível nos arquivos do INMET. Os totais pluviométricos mais elevados, encontrados nas séries diárias, foram comparados com as maiores atividades dos sistemas atmosféricos que produziram as condições de tempo na região. A intensidade dos sistemas atmosféricos na baixa, alta e média troposfera foi relacionada mês a mês, para facilitar a análise

dos sistemas e suas configurações nas escalas planetária, continental e local.

3.1.1. Análises Globais de TSM

Para análise das anomalias de temperatura da água do mar (TSM), de acordo com NEWELL (1979), utilizaram-se as cartas médias globais do CAC/NWS. Com essas cartas, procurou-se relacionar as anomalias de TSM com a ocorrência do episódio Anti El Niño, no oceano Pacífico equatorial, e com a convecção na região tropical, dando ênfase à região Amazônica.

O critério adotado para seleção das estações meteorológicas de superfície foi a existência de séries históricas completas, compreendendo-se o período de setembro de 1988 a maio de 1989. A aplicação desse critério fez com que 128 estações fossem reduzidas a apenas 46. O mesmo critério foi adotado para os dados selecionados em escalas planetária e continental. Dessa forma, deu-se mais ênfase à ocorrência dos sistemas atmosféricos, no período de maior intensidade de chuvas, que correspondeu à mais elevada atividade daqueles sistemas que produziram as condições de tempo na região Amazônica.

As séries pluviométricas diárias e os valores médios mensais e anuais foram normalizados com base no desvio-padrão. Tais desvios foram utilizados, também, como índices para identificar períodos de maior ou menor precipitação. Com os gráficos do tipo histograma e mapas de precipitação, fizeram-se análises estatísticas, que apontaram os meses e

os trimestres com chuvas mais elevadas que os valores normais climatológicos.

Procedeu-se a análises e comparações das precipitações médias das 46 estações selecionadas. Os totais pluviométricos mensais foram comparados com as normais climatológicas, referentes ao período de 1931 a 1960. Tal comparação objetivou determinar os desvios positivos. Procedeu-se, também, à análise de chuvas diárias de cada uma das 46 estações, comparando os resultados com as configurações encontradas nas cartas sinóticas de superfície (12 h TMG).

Neste trabalho, aplicou-se o método da curva de dupla massa, graças a sua praticidade e simplicidade, para o estudo da homogeneidade das séries.

3.2. Análise das Cartas de Ar Superior

Para maior confiabilidade nas análises e interpretações dos campos verificados, utilizaram-se as cartas de altitude nos níveis-padrão de 850, 500 e 200 hPa, para descrever a circulação atmosférica sobre a região de interesse e, em particular, a convecção na região Amazônica.

As variações zonais foram obtidas pela análise dos campos de vento, da temperatura e da pressão à superfície. Analisaram-se, também, os campos de convergência e divergência. Para tal análise, utilizaram-se cartas diárias de altitude de (12 h TMG), nos níveis de 850, 500 e 200 hPa, cartas essas de escala continental (INMET).

3.2.1. Análises Globais das Cartas de 850, 500 e 200 hPa

Para análises da circulação atmosférica e das configurações, em grande escala, utilizaram-se as cartas médias globais do NMC/NWS e JMA (1988/89), nos níveis de 850, 500 e 200 hPa, para descrever a atmosfera nesses níveis sobre o Hemisfério Sul e, em particular, sobre a Amazônia.

3.2.2. "Grids" de Superfície e de Ar Superior

Utilizaram-se os GRIDS (grades), cartas globais produzidas pelos Centros Mundiais de Meteorologia e difundidas pelo sistema de comunicação GTS, recebidas, diariamente, pelo INMET em dois horários, às 8 h 30 min e às 15 h, hora local. Essas informações chegam na escala de 5° x 5° de latitude e de longitude. Essas grades são produtos resultantes dos modelos numéricos globais. Dessa forma, podem-se obter, com maiores detalhes, as características das configurações produzidas pelos sistemas e por perturbações transientes, nas escalas global, continental e regional. Procedeu-se, também, à comparação dessas configurações de grande escala, em particular, com o comportamento dos centros semipermanentes de pressão do Atlântico sul e do Pacífico, dos sistemas frontais do Hemisfério Sul, do jato subtropical, das linhas de instabilidade, da frequência latitudinal da ITCZ, dos bloqueios atmosféricos, dos anticiclones migratórios, dos cavados e cristas e de outras perturbações geradas pela convecção tropical na Amazônia.

3.3. Imagens de Satélite

Para maior confiabilidade das análises de superfície e análises de ar superior, utilizaram-se as imagens diárias do satélite GOES, canal infravermelho, no período de setembro de 1988 a maio de 1989, recebidas, a cada meia hora, pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos totais pluviométricos mensais acumulados na estação chuvosa de setembro de 1988 a maio de 1989 foi comparada com as médias dos totais pluviométricos da estação chuvosa antecedente. O resultado da comparação mostrou que o período em estudo foi sensivelmente mais chuvoso, cerca de 30% em algumas estações meteorológicas (Figuras 15 e 16).

Para algumas estações, na Amazônia ocidental, próximas à calha do rio Amazonas (Manaus e Tucuruí), as chuvas ocorridas foram maiores que 30%, no trimestre dezembro-janeiro-fevereiro, em relação à normal climatológica (Figuras 17 e 18). Verificou-se que ocorreu acréscimo, também, no número total de dias chuvosos entre 10 e 23 dias por mês.

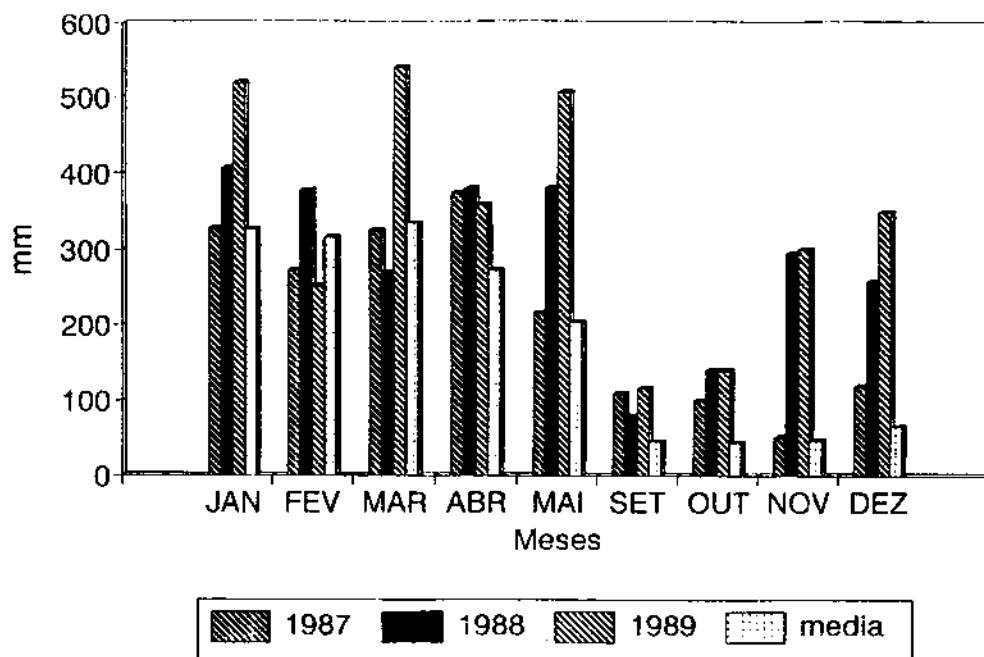


FIGURA 15 - Precipitação Média Mensal dos Anos 1987, 1988, 1989 e MC em Itacoatiara, AM.

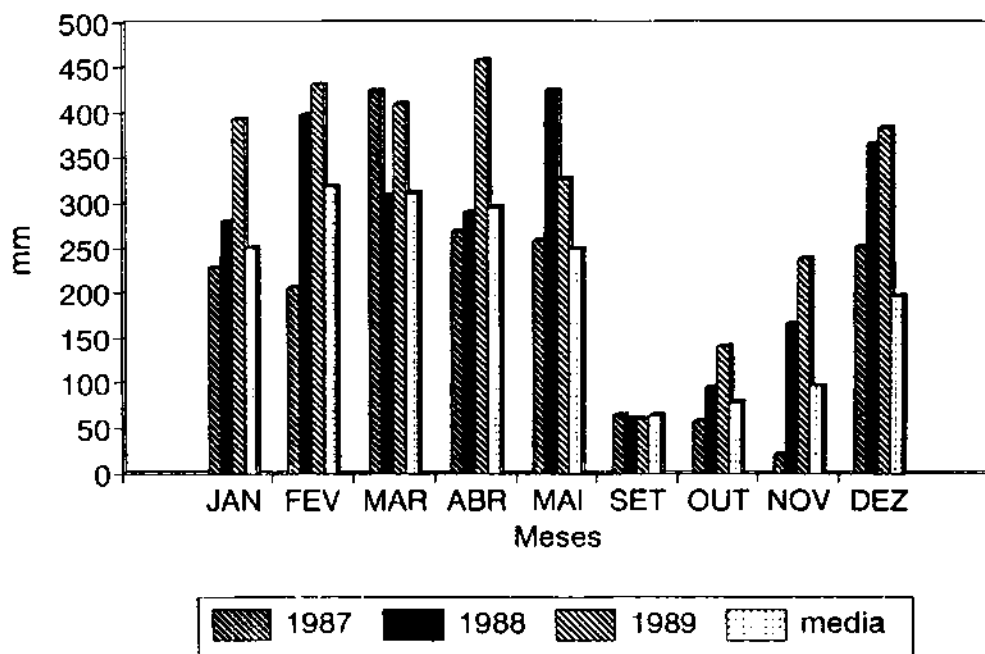


FIGURA 16 - Precipitação Média Mensal dos Anos 1987, 1988, 1989 e MC em Parintins, AM.

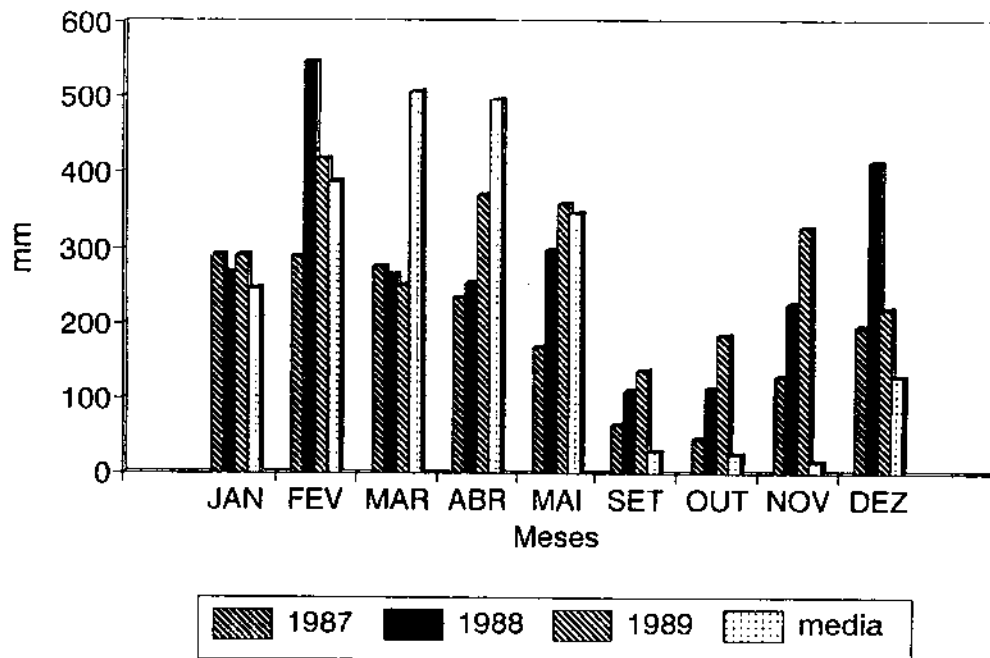


FIGURA 17 - Precipitação Média Mensal dos Anos 1987, 1988, 1989 e MC em Manaus, AM.

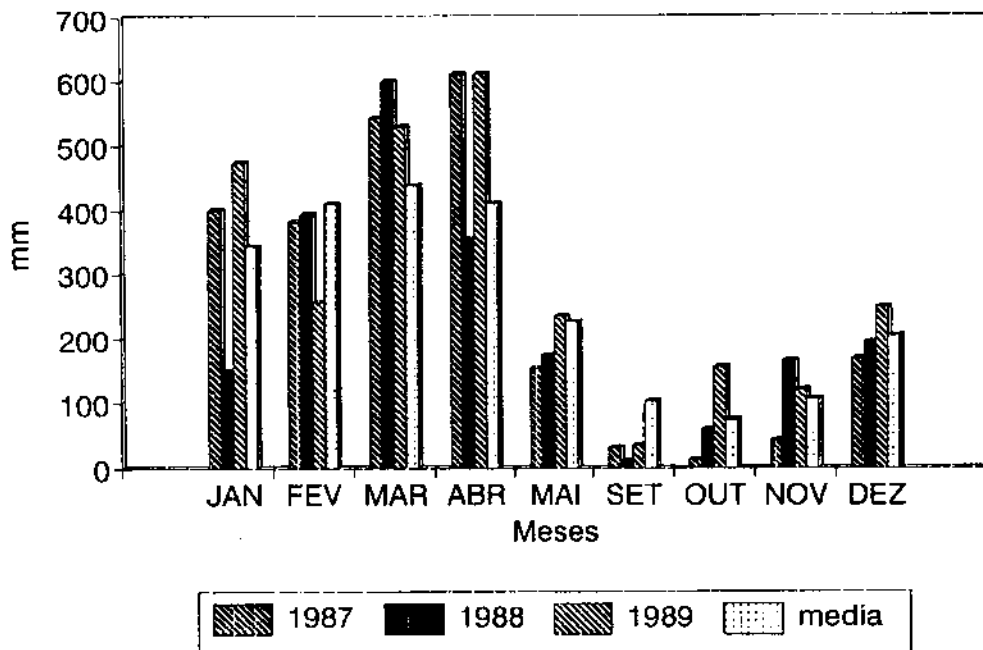
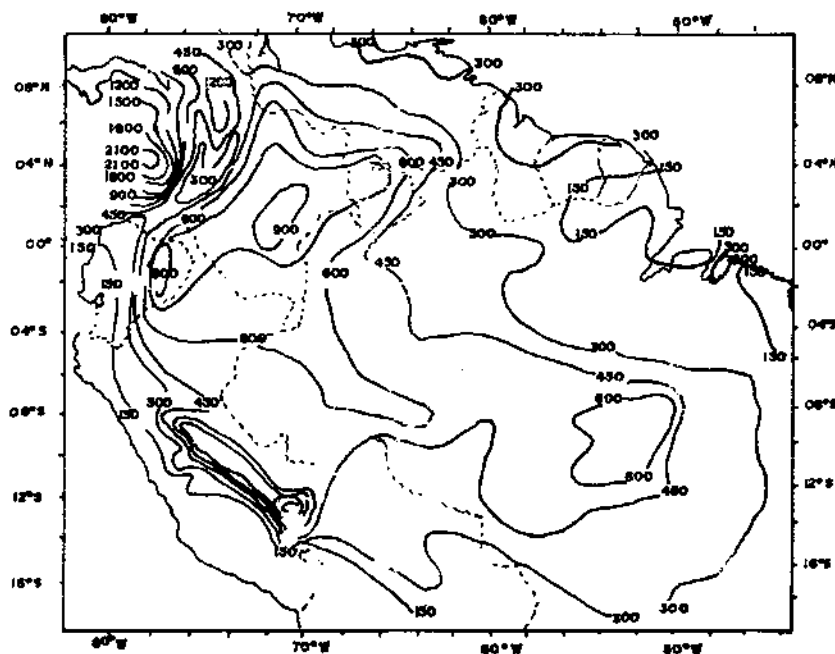


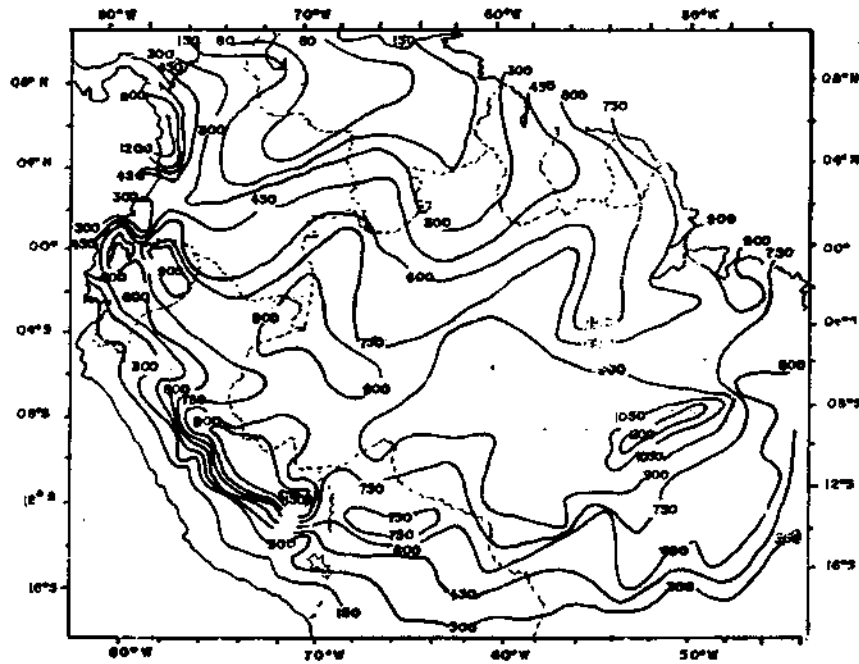
FIGURA 18 - Precipitação Média Mensal dos Anos 1987, 1988, 1989 e MC em Tucuruí, PA.

As Figuras 19, 20 e 21 ilustram a distribuição média da precipitação na Amazônia, com totais expressos em milímetros, para os trimestres setembro, outubro e novembro, dezembro, janeiro e fevereiro, março, abril e maio, que facilitam a visualização da distribuição espacial da precipitação, durante a estação chuvosa na região. A Figura 22 ilustra a distribuição média anual. Os elevados totais pluviométricos verificados no nordeste e no estuário da Amazônia estão associados às atividades da ZCIT, às linhas de instabilidade e à brisa marítima.



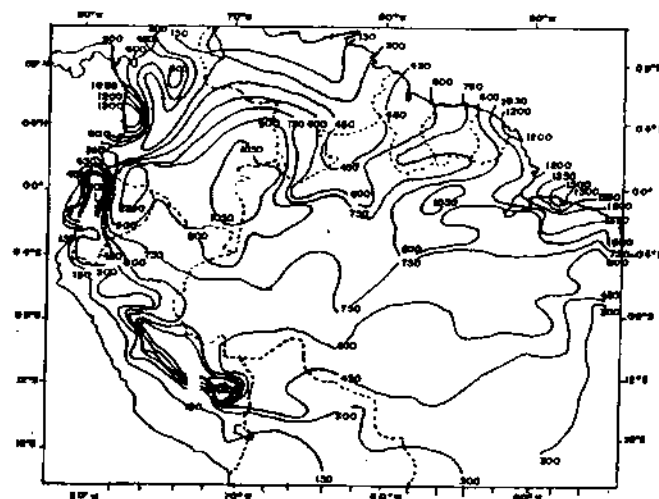
FONTE: OBREGON e NOBRE (1990).

FIGURA 19 - Média de Precipitação do Trimestre Setembro a Novembro, Período de 1981 a 1990.



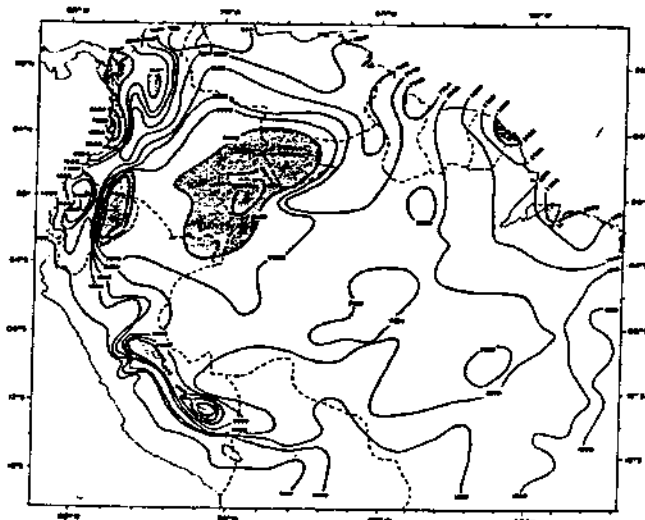
FONTE: OBREGON e NOBRE (1990).

FIGURA 20 - Média de Precipitação do Trimestre Dezembro a Fevereiro, Período de 1981 a 1990.



FONTE: OBREGON e NOBRE (1990).

FIGURA 21 - Média de Precipitação do Trimestre Março a Maio, Período de 1981 a 1990.



FONTE: OBREGON e NOBRE (1990).

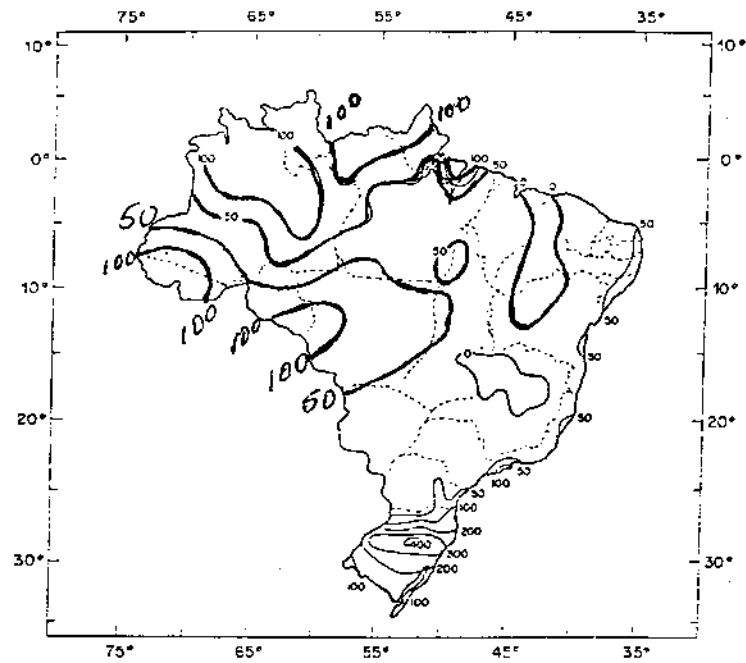
FIGURA 22 - Distribuição Média Anual da Precipitação na Amazônia, Período de 1981 a 1990.

4.1. Resultados das Análises das Cartas Pluviométricas Mensais

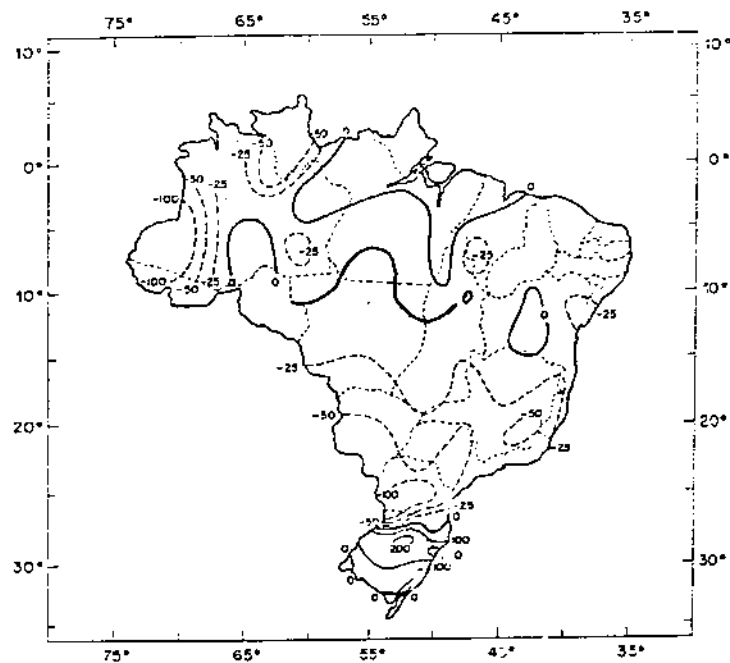
Na maioria das regiões do País, as precipitações do mês de setembro de 1988 estiveram abaixo da média climatológica.

Na Amazônia, durante o mês de setembro de 1988, as precipitações variaram entre 50 e 100 mm, quando teve início a atividade dos sistemas atmosféricos. Os índices de precipitação mais expressivos ocorreram no norte da região (Figura 23a). Contudo, durante o mês de setembro as chuvas foram de 25 a 100% inferiores à média climatológica.

A distribuição das precipitações foi bastante irregular, com desvios negativos da ordem de -25 a -100 mm, no extremos norte e noroeste da região (Figura 23b).



(a): Precipitação total observada



(b): Desvio, em relação à média climatológica

FONTE: INMET (1988).

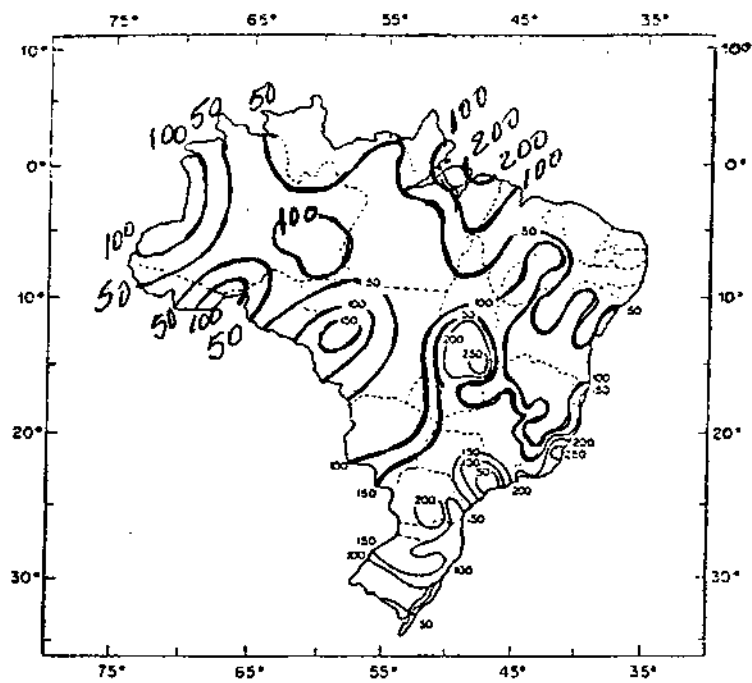
FIGURA 23 - Total de Precipitação do Mês de Setembro de 1988.

O mês de outubro marca o início lento da estação chuvosa em quase toda a Amazônia. As precipitações pluviiais variam, geralmente, entre 30 e 200 mm, em média, com exceção do extremo norte, Roraima, onde o regime de chuvas é influenciado pelos sistemas atmosféricos do Hemisfério Norte.

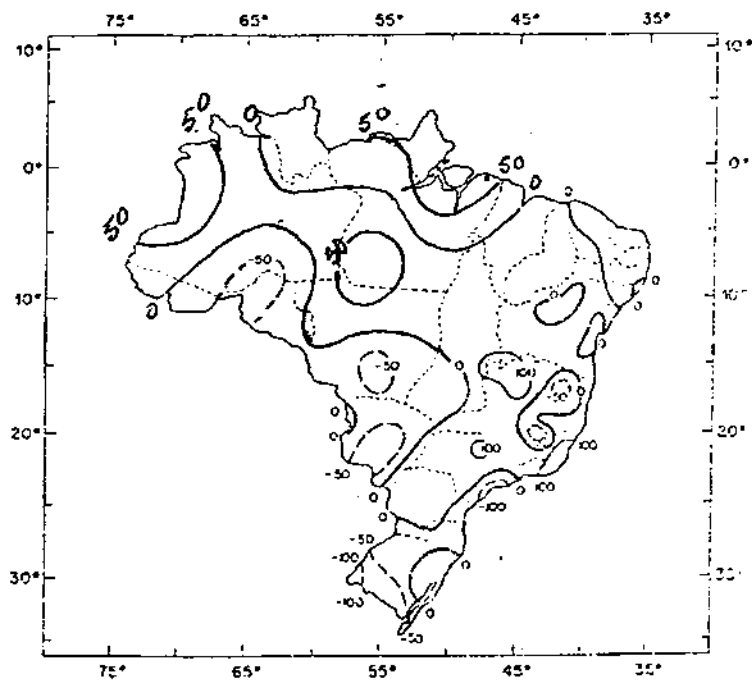
No mês de outubro de 1988, as precipitações estiveram 20% acima da MC, com índices bastante significativos em áreas localizadas no centro, litoral e nordeste da região (Figura 24a). Verificaram-se desvios positivos da ordem de 50 mm. Entretanto, verificaram-se, também, desvios negativos de -50 mm na parte sul da região.

Para o mês de novembro, na maior parte do País inicia-se, de fato, a estação chuvosa.

Em novembro de 1988, em algumas áreas localizadas no centro e nordeste da região, as chuvas estiveram acima de 50% da MC. Os valores variaram de 100 a 400 mm, com desvios positivos entre 50 e 200 mm (Figura 25a,b). A análise temporal e espacial das cartas de chuva, do trimestre setembro a novembro, mostrou aumento progressivo de precipitação pluviial. Estes resultados estão de acordo com estudos de alguns pesquisadores da região, os quais discutiram, com bastante propriedade, a variabilidade interanual das chuvas e sua importância para a Amazônia, destacando-se, dentre outros, MOLION e DALLAROSA (1990) e OBREGON e NOBRE (1990).



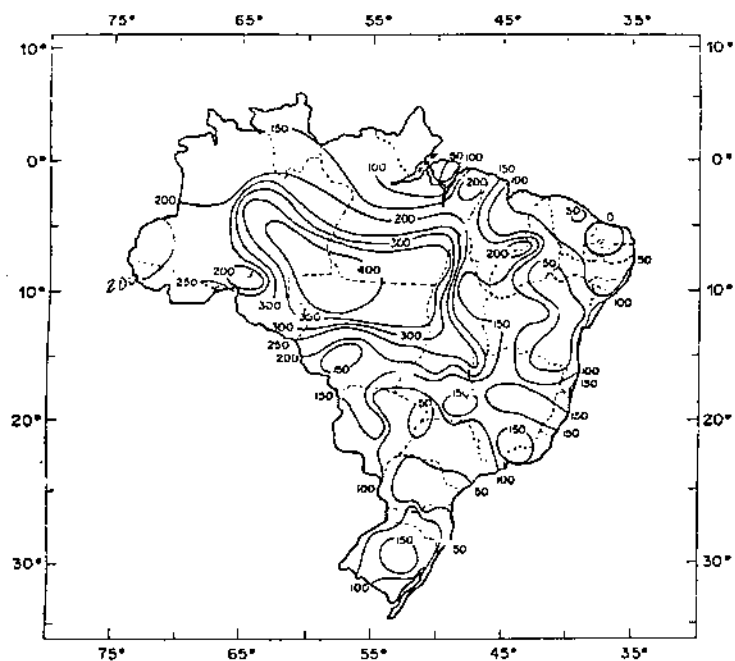
(a): Precipitação total observada



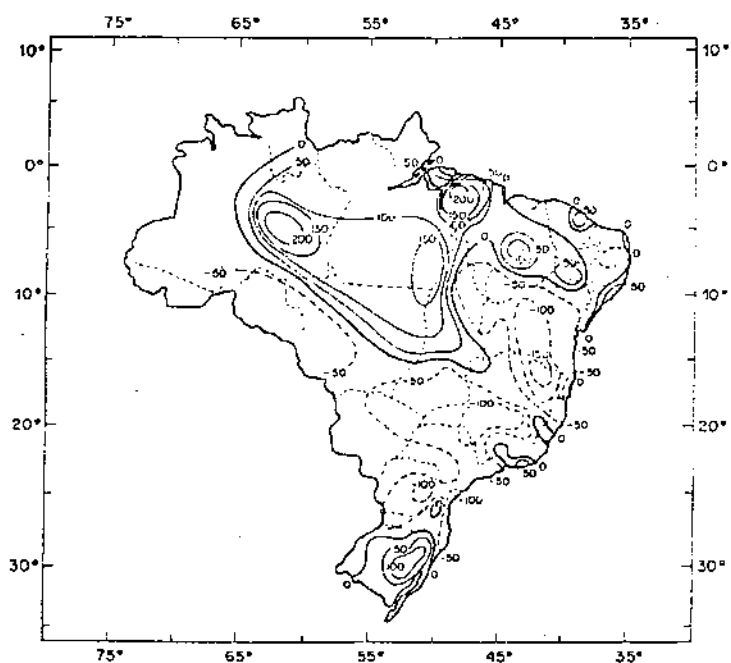
(b): Desvio, em relação à média climatológica

FONTE: INMET (1988).

FIGURA 24 - Total de Precipitação do Mês de Outubro de 1988.



(a): Precipitação total observada



(b): Desvio, em relação à média climatológica

FONTE: INMET (1988).

FIGURA 25 - Total de Precipitação do Mês de Novembro de 1988.

O mês de dezembro é caracterizado por ser bastante chuvoso em quase todo o País. Na Amazônia, as precipitações variam, em média, entre 60 e 400 mm, em áreas localizadas nas partes leste e baixo Amazonas.

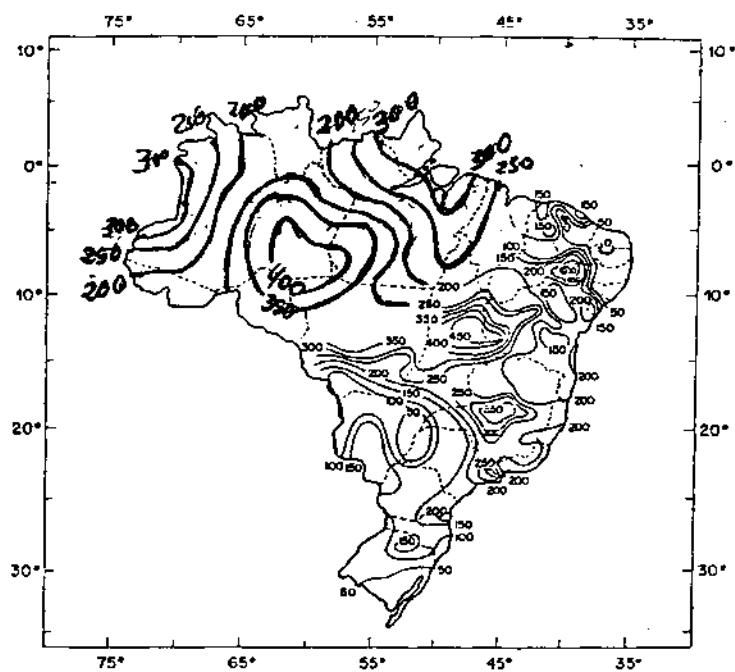
No mês de dezembro de 1988, as chuvas estiveram 100% acima da MC, em algumas áreas situadas a nordeste, noroeste e no centro da região (Figura 26a) as precipitações variaram entre 300 e 400 mm. Em quase toda a Amazônia, os desvios foram positivos e seus valores estiveram entre 30 e 50 mm. O número de dias chuvosos do mês ficou em torno de 10 e 22.

Janeiro é também um mês de estação chuvosa em quase todo o País. Na Amazônia, as chuvas variam, em média, de 100 a 400 mm na calha do rio Amazonas.

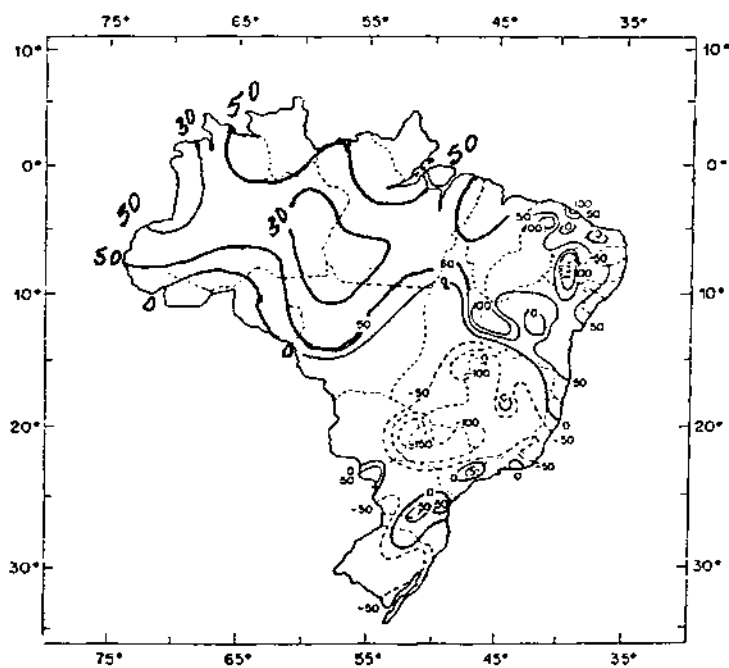
O mês de janeiro de 1989 foi bastante chuvoso, com índice de 50% acima da MC. Os totais pluviométricos alcançaram valores de 100 a 500 mm, em áreas localizadas na parte média da calha dos rios Solimões e Madeira e no estuário do rio Amazonas (Figura 27a,b).

O mês de fevereiro também faz parte da estação chuvosa, de quase todo o território brasileiro. Em fevereiro de 1989, as precipitações estiveram 100% acima da MC em várias localidades da Amazônia. Os totais pluviométricos apresentaram valores entre 200 e 700 mm nas partes noroeste e centro do Estado do Amazonas e 300 mm no litoral norte dos Estados do Amapá e Pará (Figura 28a,b).

A análise dos mapas de chuva mostrou que as precipitações do trimestre dezembro/88 e janeiro e fevereiro de 1989 destacaram-se dos demais trimestres, por ter sido o



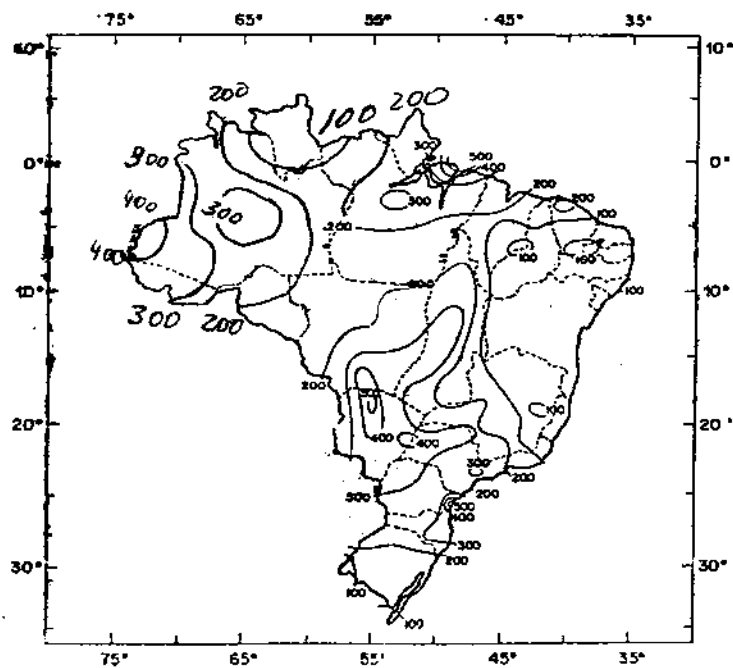
(a): Precipitação total observada



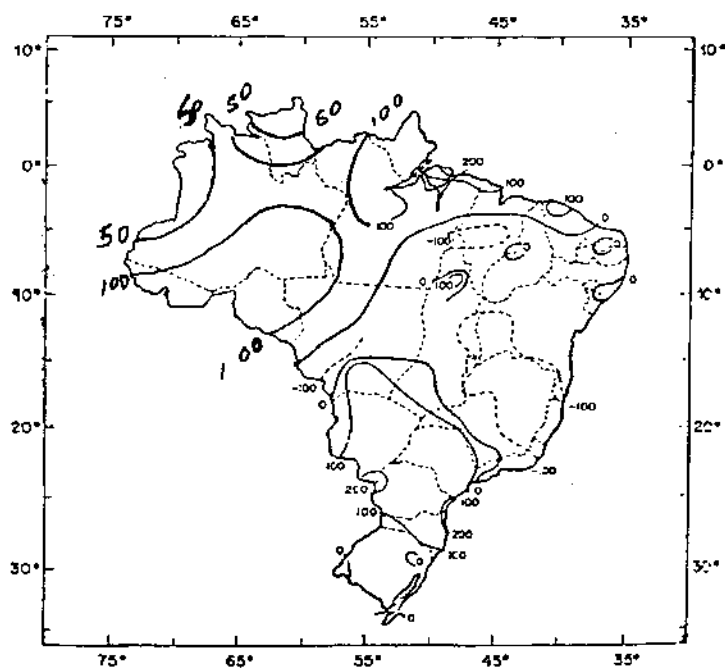
(b): Desvio, em relação à média climatológica

FONTE: INMET (1988).

FIGURA 26 - Total de Precipitação do Mês de Dezembro de 1988.



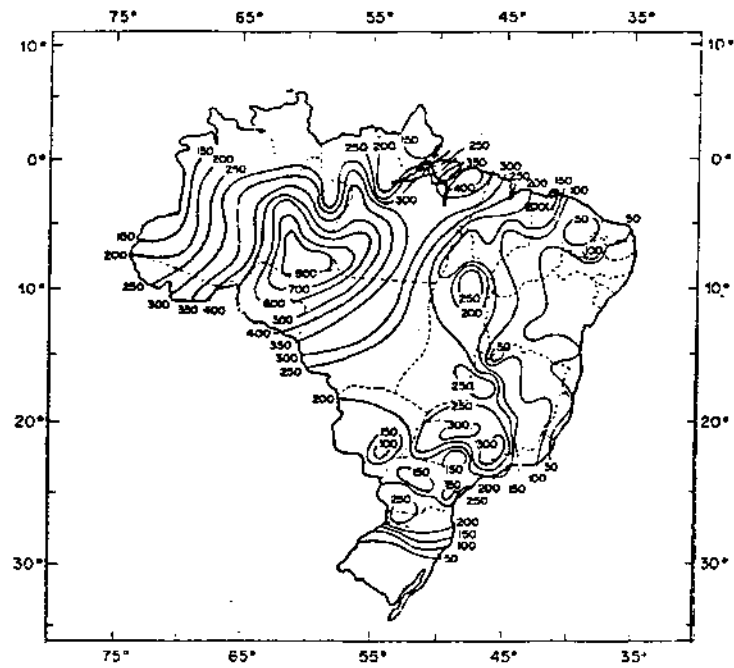
(a): Precipitação total observada



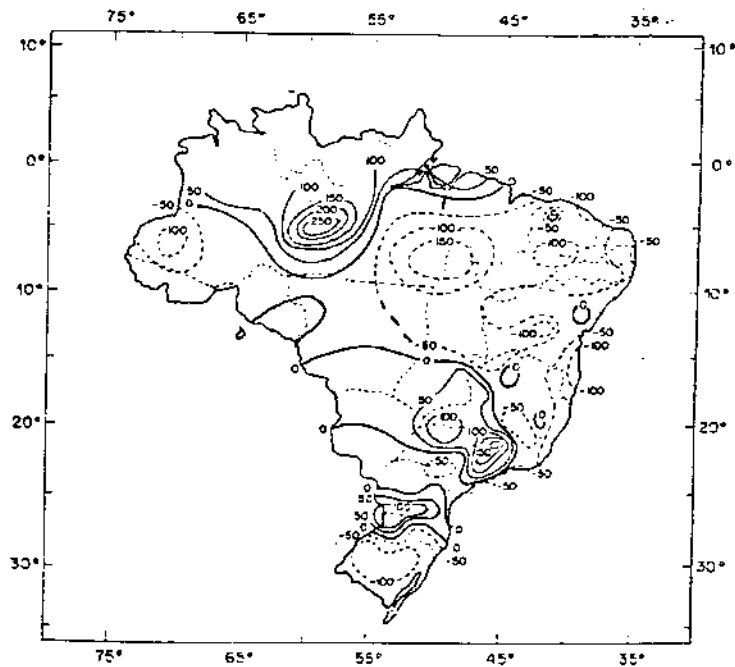
(b): Desvio, em relação à média climatológica

FONTE: INMET (1989).

FIGURA 27 - Total de Precipitação do Mês de Janeiro de 1989.



(a): Precipitação total observada



(b): Desvio, em relação à média climatológica

FONTE: INMET (1989).

FIGURA 28 - Total de Precipitação do Mês de Fevereiro de 1989.

trimestre mais chuvoso do período estudado (Figuras 26 a 28). Observou-se, também, que as chuvas foram mais intensas, com totais superiores ao do mesmo trimestre da estação chuvosa dos anos de 1986/87.

Esses resultados mostraram também que, a partir da estação de verão do Hemisfério Sul, os sistemas atmosféricos, responsáveis pelas condições de tempo na região, parecem ter tido suas atividades intensificadas (KAYANO et alii, 1990). De fato, a Alta da Bolívia migrou para sua posição média sazonal de verão, e sua atividade convectiva tornou-se mais intensa e com maior frequência de pulsação, resultando em grandes totais pluviométricos na região, conforme relataram KOUSKY e KAYANO (1981), como se pode ver no Quadro 6.

O mês de março de 1989 foi bastante chuvoso em toda a Amazônia: as precipitações foram superiores a 50% acima da MC, com totais pluviométricos entre 200 e 400 mm, em áreas situadas ao norte, nordeste e noroeste da região. Nas demais áreas, as chuvas estiveram em torno da média, com desvios positivos, que variaram de 50 a 100 mm, em áreas localizadas nos rios Purus e Madeira e no baixo Amazonas (Figura 29a,b).

O mês de abril de 1989, na Amazônia, continuou bastante chuvoso, com índice também de 50% acima da MC. Os totais mensais variaram entre 100 e 400 mm, em áreas localizadas nas partes central e leste da Amazônia (Figura 30a).

Os desvios foram positivos e variaram entre 50 e 100 mm, nas áreas situadas nas partes central e nordeste da região (Figura 30b).

QUADRO 6 - Sistemas Atmosféricos que Contribuíram para Produzir as Condições de Tempo na Amazônia para o Período de Setembro de 1988 a Maio de 1989

Sistemas Atmosféricos	Set. 1988	Out. 1988	Nov. 1988	Dez. 1988	Jan. 1989	Fev. 1989	Mar. 1989	Abr. 1989	Maio 1989
Anomalias de PNM/hPa*	-1 a -3	-1 a -2	-1 a -2	-1 a -2	-1 a -2	-1 a -2	-2 a -3	-2 a -2	-1,0
Anomalias de TSM/°C*	-1 a -2	-1 a -3	-1 a -2	2 a -1	-1 a -2	-1 a -2	-1 a -2	-1 a -1	-1 a 1
Anomalias de ROL*	-15w/m ² 0/4°N	-15w/m ² 0/10°N	-15w/m ² 0/10°N	-15w/m ² 0/15°N	-15w/m ² 0/5°N	-15w/m ² 10N/20°S	-15w/m ² 9N/15°S	-15w/m ² 0/20°S	-15w/m ² 0/10°
Anomalias de TSM e Temp. observadas*	-0,8 24,0°C	-1,3 27,0°C	-1,4 23,5°C	-1,6 23,5°C	-1,1 24,3°C	-0,7 25,5°C	-0,6 25,5°C	-0,4 26,8°C	-0,2 26,5°C
FF que chegou à Amazônia**	Uma	Uma	Cinco	Uma	Duas	Uma	Quatro	Seis	Quatro
FF que chegou ao Brasil	Oito	Seis	Cinco	Seis	Quatro	Cinco	Seis	Seis	Quatro
ZCIT oscilou entre 5 e 10°N e 0 e 4°S**	Seis 5°/10°N	Cinco 5°/10°N	Cinco 3°/10°N	Seis 4°S/6°N	Sete 4°S/5°N	Cinco 0°S/4°N	Cinco 3°S/4°N	Cinco 2°S/4°N	Cinco 0°S/4°N
Alta da Bolívia**	XXI	Seis (5F/1Frt)	Seis (5F/1Frt)	Onze 4M/5F e 2Frt	Cinco 3F/2Frt	Três 2F/1Frt	XXI	XXI	XXI

* = Extraídos da literatura.

** = Resultados deste trabalho.

PNM = Anomalia de pressão ao nível do mar.

TSM = Anomalia de temperatura da superfície do mar.

ROL = Radiação de onda longa.

IOS = Índice de oscilação sul.

FF = Frente fria.

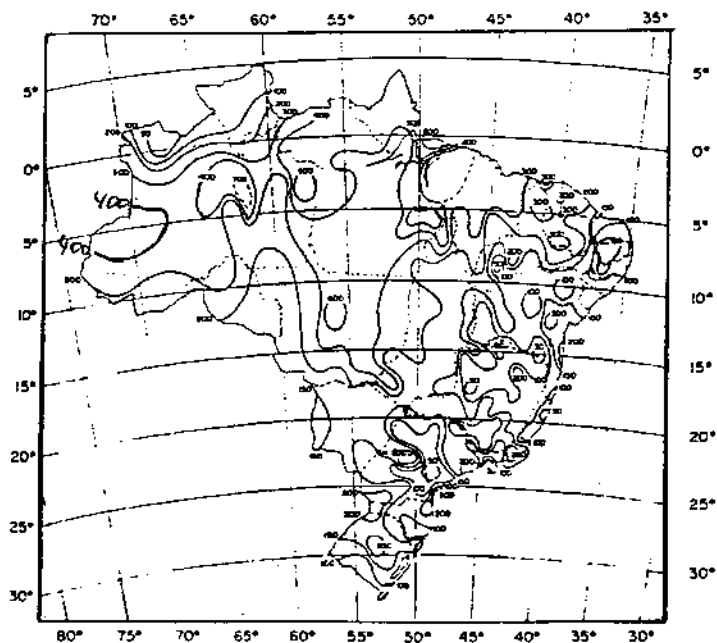
ZCIT = Zona intertropical de convergência.

N = Norte.

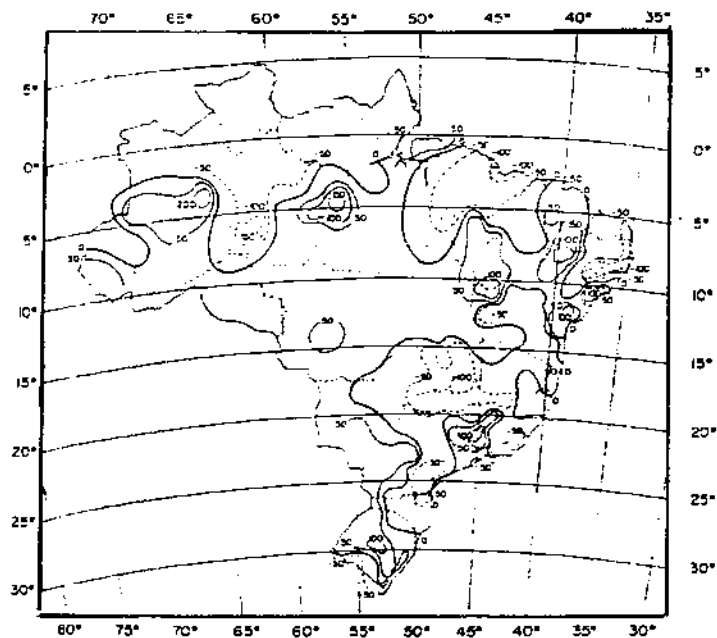
S = Sul.

T = Temperatura.

Obs.: Observada na superfície do mar.



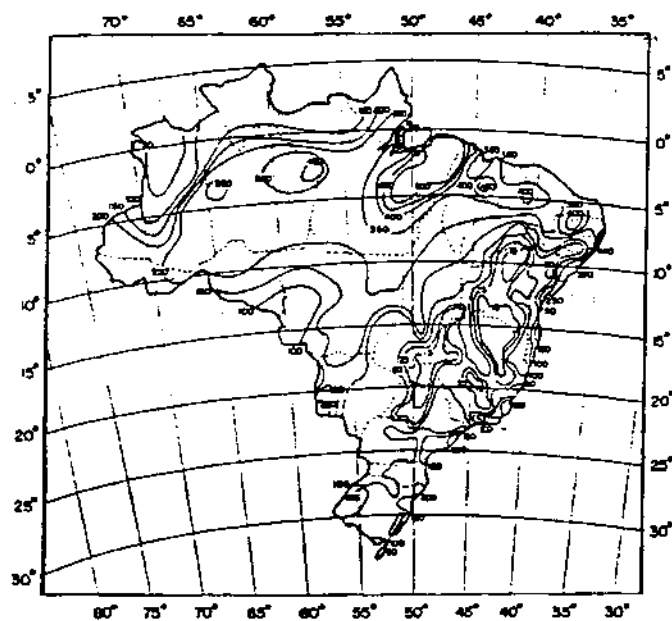
(a): Precipitação total observada



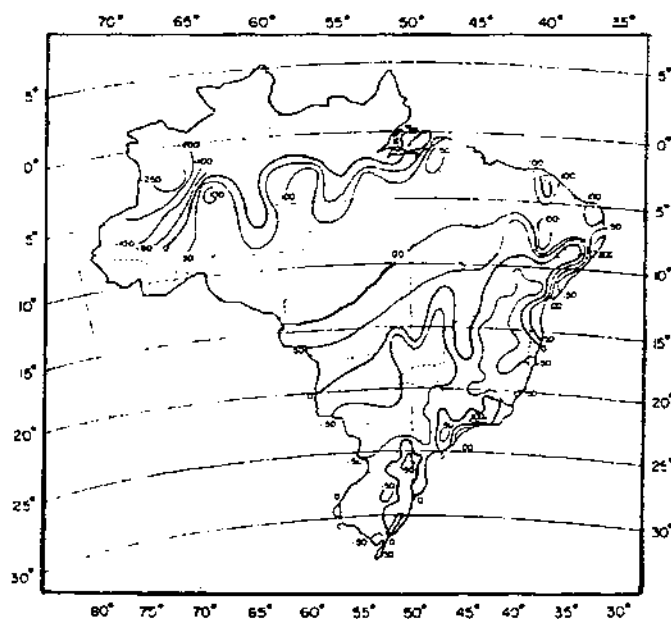
(b): Desvio, em relação à média climatológica

FONTE: INMET (1989).

FIGURA 29 - Total de Precipitação do Mês de Março de 1989.



(a): Precipitação total observada

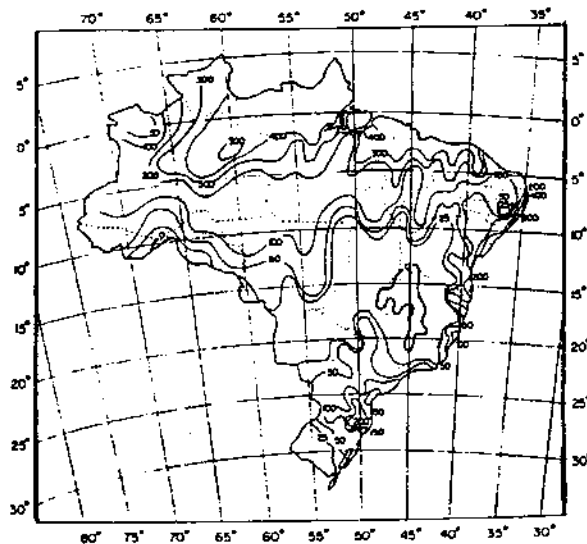


(b): Desvio, em relação à média climatológica

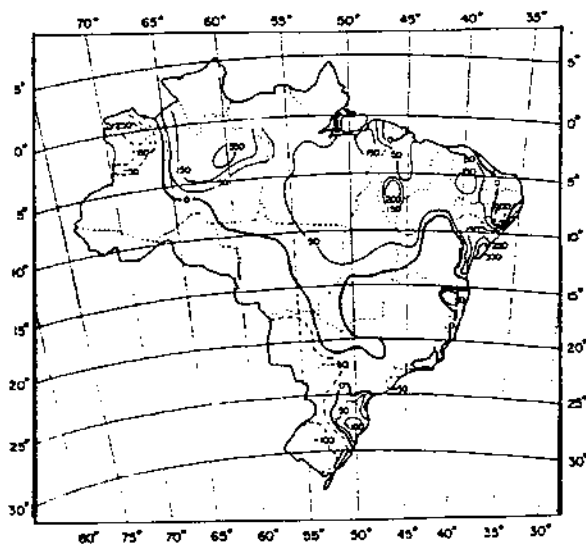
FONTE: INMET (1989).

FIGURA 30 - Total de Precipitação do Mês de Abril de 1989.

No mês de maio de 1989, as precipitações ocorreram com menor intensidade, nas regiões norte e nordeste da Amazônia. As precipitações foram 30% acima da MC e os totais pluviométricos variaram entre 50 e 500 mm, em áreas localizadas no centro e nordeste do Estado do Amazonas e a leste do Estado do Pará, com desvios positivos que variaram entre 50 e 150 mm (Figura 31 a e b). O resultado da análise dos mapas de precipitação, do trimestre março-abril-maio/89, mostrou um trimestre ainda bastante chuvoso, com totais pluviométricos acima da MC e superiores ao do mesmo trimestre dos anos de 1986/87. Tais resultados indicam a contribuição importante de cada trimestre para a estação chuvosa de 1988/89, na Amazônia. Essas chuvas provocaram a terceira maior cheia do século, quando o nível do rio Negro, em Manaus, alcançou 29,42 m no dia 3 de julho de 1989.



(a): Precipitação total observada



(b): Desvio, em relação à média climatológica

FONTE: INMET (1989).

FIGURA 31 - Total de Precipitação do Mês de Maio de 1989.

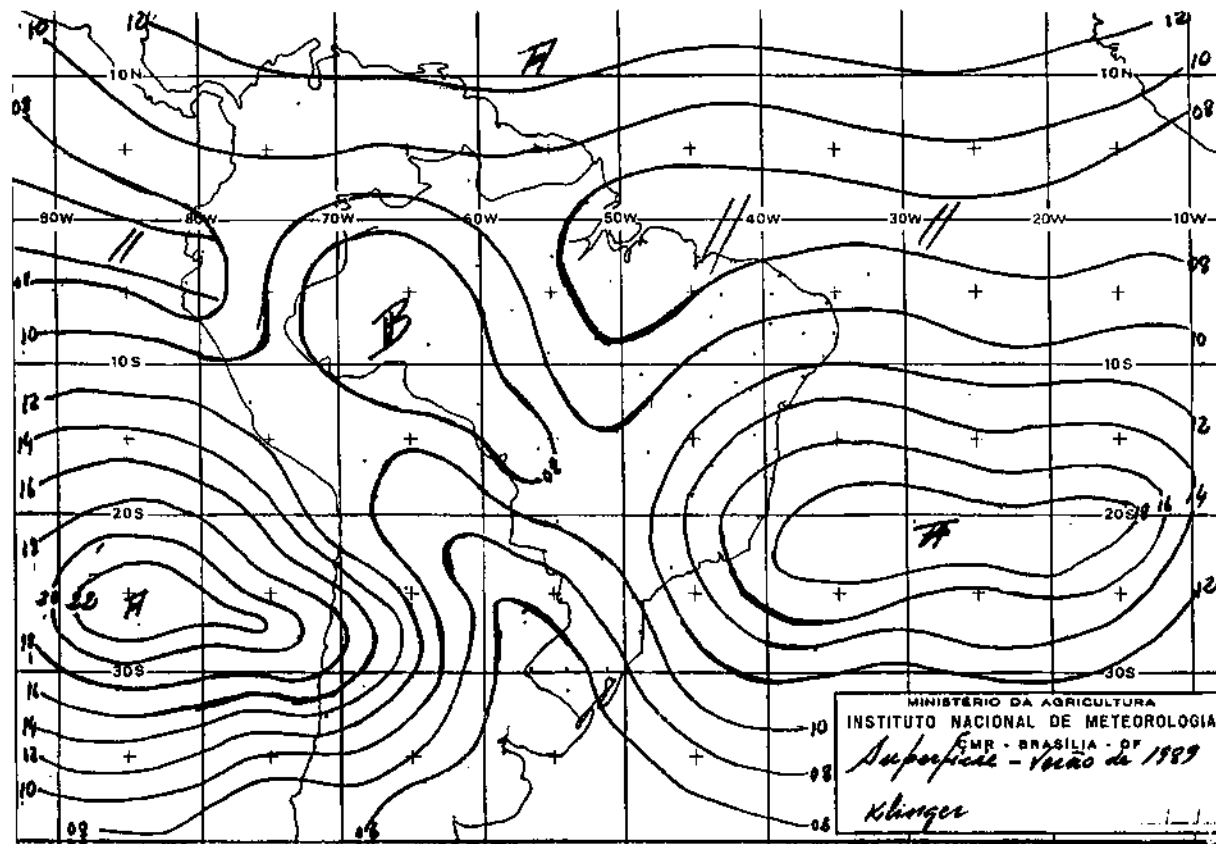
4.2. Resultados das Análises das Cartas de Superfície

A análise das cartas de superfície (12 h TMG) mostrou que, durante o trimestre mais chuvoso, dezembro de 1988 a fevereiro de 1989, quatro sistemas frontais atingiram a Amazônia (Quadro 6), embora 15 tenham chegado ao Brasil. A ZCIT esteve bastante ativa em torno da posição média de verão (0° e 3° sul) (Quadro 6); as linhas de instabilidade que se deslocaram sobre a região foram em torno de 12.

Essas análises mostraram também que os sistemas frontais, quando atingem o litoral norte do Estado do Espírito Santo e litoral sul da Bahia, dão origem a essas perturbações na Amazônia. Os anticiclones semipermanentes dos oceanos Pacífico e Atlântico estiveram com centro de 1.020 hPa e localizados em torno de 20° sul e 30° oeste, enquanto o sistema de alta pressão do Pacífico também esteve intenso e seu centro teve a posição média de 25° sul e 85° oeste, com centro de 1.022 hPa (Figura 32).

É notável que os padrões das linhas de corrente seguem o comportamento do fluxo zonal, no período de inverno. Entretanto, esse comportamento muda com o aquecimento, quando acontece o fluxo meridional no período de verão, nos níveis 850 a 200 hPa (Figuras 33, 34 e 35).

A Figura 32 ilustra a análise média de superfície para o trimestre mais chuvoso. A análise isobárica desse período mostrou a permanência de um sistema de baixas pressões sobre a Amazônia.



FONTE: DNMET (1989).

FIGURA 32 - Carta Média de Superfície da Estação Chuvosa de 1988/89, Trimestre Dezembro de 1988 a Fevereiro de 1989.

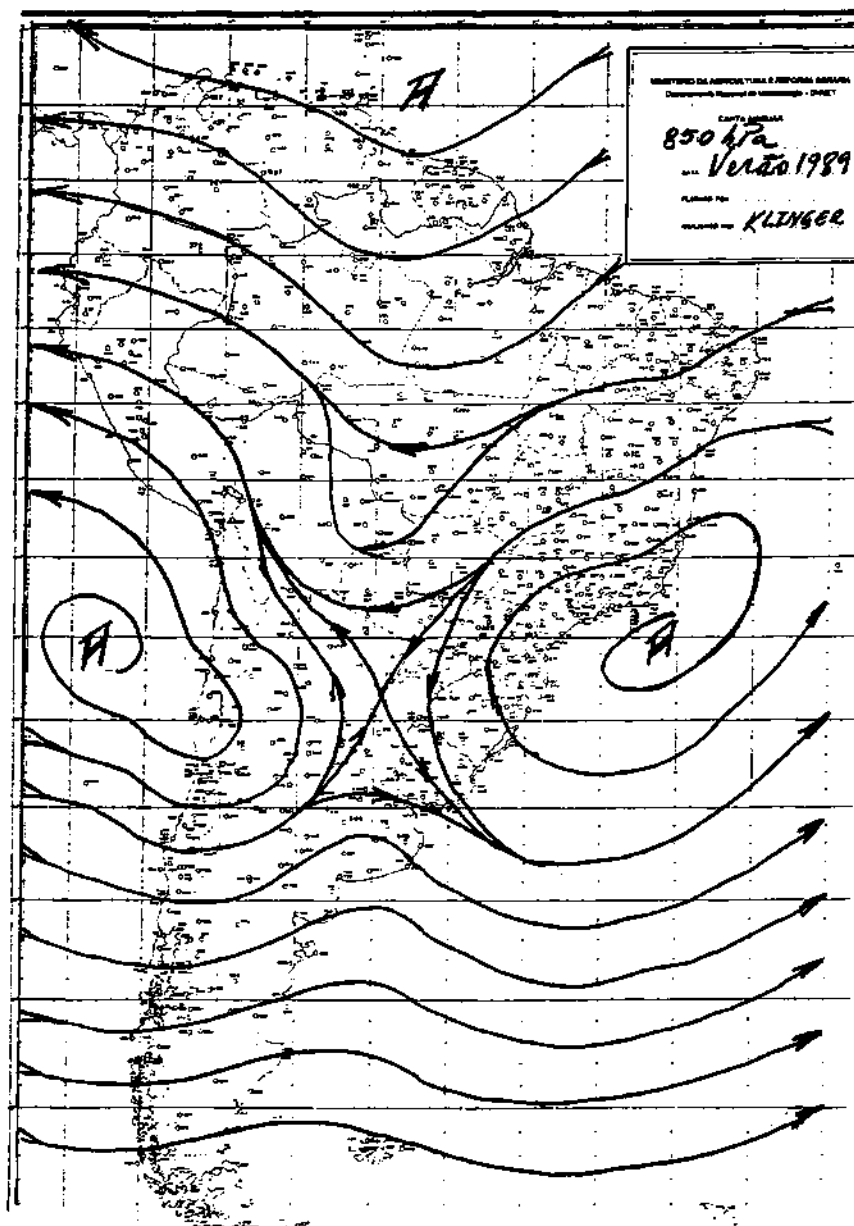


FIGURA 33 - Carta Média de Ar Superior, Nível 850 hPa.

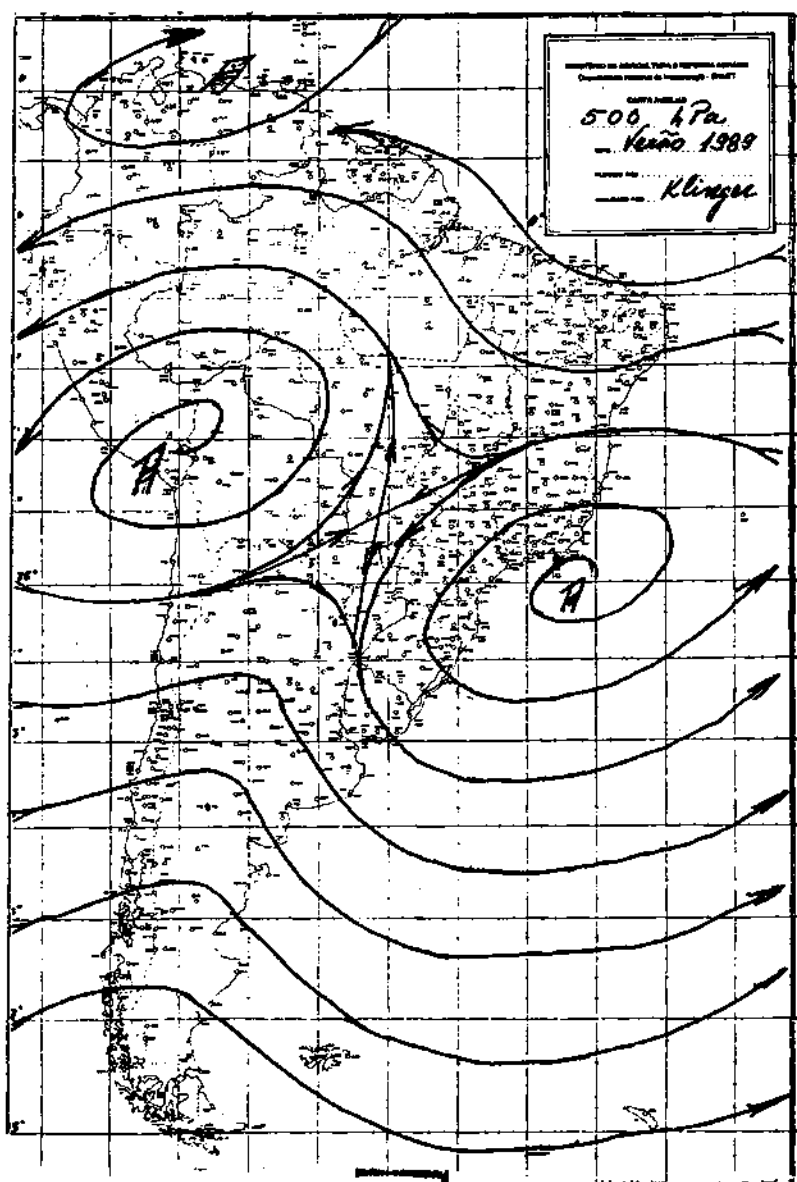


FIGURA 34 - Carta Média de Ar Superior, Nível 500 hPa.

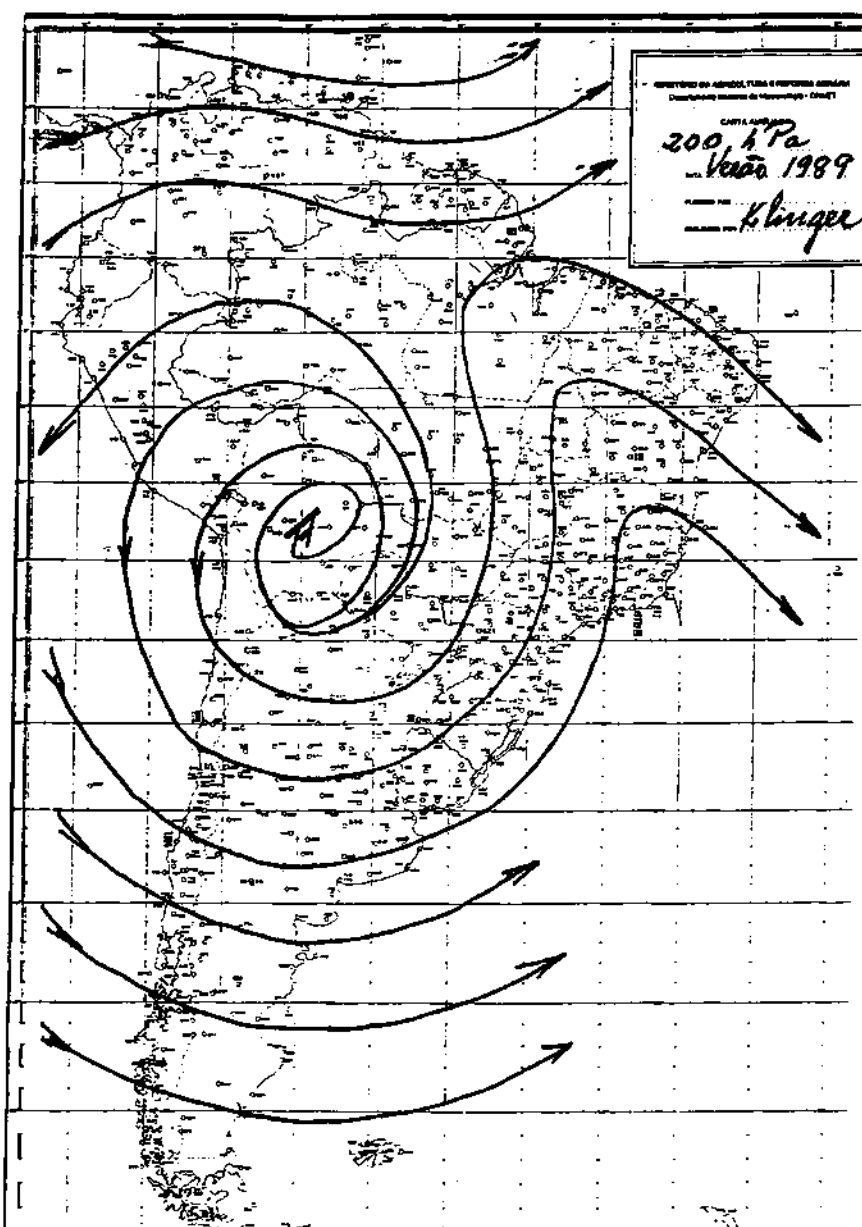


FIGURA 35 - Carta Média de Ar Superior, Nível 200 hPa.

4.3. Resultados das Análises das Imagens do Satélite GOES

Para dar maior consistência às análises feitas, nas cartas de superfície e altitude, utilizaram-se análises visuais das imagens do satélite GOES. A série utilizada no presente trabalho consta de imagens diárias do período em estudo, setembro de 1988 a maio de 1989. Essa análise mostrou, principalmente, que os sistemas sinóticos estiveram mais intensos durante os trimestres de verão e outono, no Hemisfério Sul. Verificou-se que a intensa nebulosidade encontrada nas imagens de satélite estava associada à atividade convectiva, ocorrida em superfície (Figuras 36 a 41). Dentre esses sistemas, ressalta-se a contribuição da Alta da Bolívia (Figura 36), quando sua atividade mais intensa ocorreu nos meses de dezembro de 1988 a março de 1989, que foi o período mais importante para a análise dos sistemas que estiveram ativos na Amazônia durante o verão austral. A intensa atividade do sistema Alta da Bolívia (AB) parece estar associada ao maior contraste térmico que ocorre, no verão, entre o oceano, o continente e a atmosfera (Quadro 6). A pulsação da AB entre os períodos de maior ou menor intensidade também parece associada a essas condições de contraste térmico. Verificou-se também que a atividade da Alta da Bolívia (Figura 36) está associada à mais intensa convecção que ocorre no verão na Amazônia, associada ao deslocamento dos sistemas frontais, da zona de convergência intertropical ZCIT, linhas de instabilidade e zona de convergência do Atlântico sul-ZACAS (Quadro 6). A maior atividade da AB esteve concentrada nos meses de outubro a

dezembro de 1988 e de janeiro a fevereiro de 1989 (Quadro 6). No período em análise, sua máxima frequência foi de dezembro (Quadro 6) e sua pulsação pareceu ocorrer de maneira intermitente, com duração de 8 a 12 dias consecutivos, apresentando períodos de dois a quatro dias de pouca atividade, quando o sistema parece migrar para noroeste. Observou-se que, quando há ocorrência de um sistema frontal



FONTE: INPE (1989).

FIGURA 36 - Imagem do Satélite GOES-E do Dia 10 de Dezembro de 1988, Alta da Bolívia Ativa sobre a Amazônia.

(Figuras 37 e 38) sobre a Região Sul ou Sudeste, o sistema AB contribuiu com grande atividade convectiva no Centro-Oeste brasileiro. Observou-se, também, que o comportamento do fluxo zonal de inverno foi bastante atípico em relação aos padrões normais, enquanto o fluxo de verão e as linhas correntes tiveram comportamento meridional (Figuras 34 e 35) (Quadro 7).

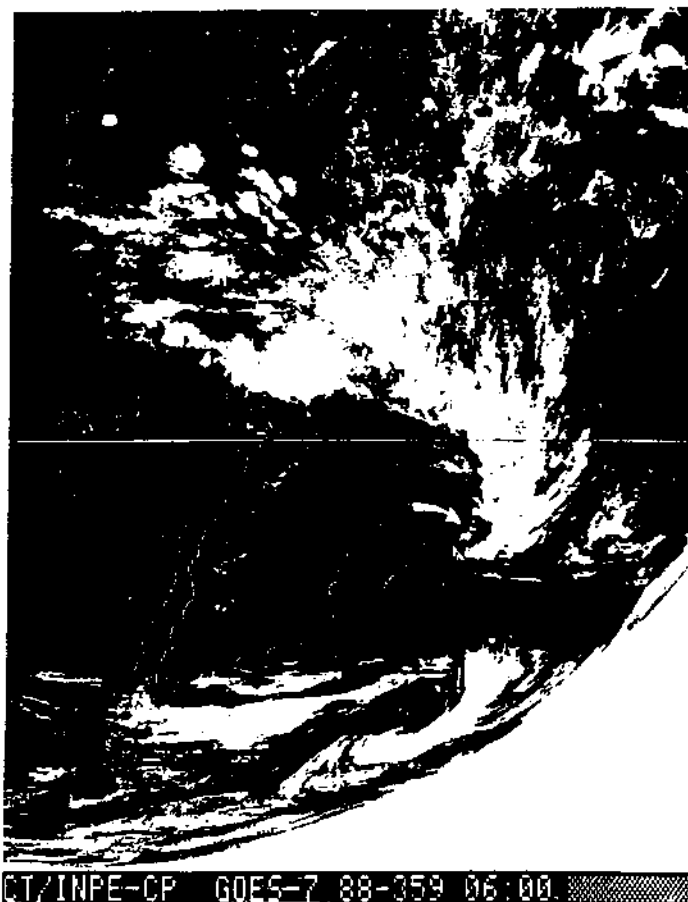


FIGURA 37 - Imagem do Satélite GOES-E do Dia 24 de Dezembro de 1988.



FONTE: INPE (1989).

FIGURA 38 - Imagem do Satélite GOES-E do Dia 4 de Janeiro de 1989.

QUADRO 7 - Sistemas Atmosféricos Significativos que Produziram as Condições de Tempo na Amazônia para o Período de Setembro de 1988 a Maio de 1989 e Índices de Oscilação Sul dos Anos de 1952/53, 1975/76 e 1988/89

Sistemas Atmosféricos	Set. 1988	Out. 1988	Nov. 1988	Dez. 1988	Jan. 1989	Fev. 1989	Mar. 1989	Abr. 1989	Maio 1989
850 hPa** Alt. 1500m	Bloque. Conv. (F)	Bloque. Conv. (F)	s/Bloque. Conv. (M)	s/Bloque. Conv. (Frt)	s/Bloque. Conv. (Frt)	s/Bloque. Conv. (Frt)	s/Bloque. Conv. (F)	s/Bloque. Conv. (F)	s/Bloque. Conv. (F)
500 hPa** Alt. 5500m	Fluxo Zonal (A)	Fluxo Zonal (A)	Fluxo Zonal (A)	Fluxo Med. (A)	Fluxo Med. (A)	Fluxo Med. (A)	Fluxo Med. (A)	Fluxo Med. (A)	Fluxo Med. (A)
200 hPa Análise** Alt. 14000m	Esco. Zonal Sist. F	Esco. Zonal Sist. F	Esco. Med. Sist. M	Esco. Med. Sist. M	Esco. Med. Sist. Fr	Esco. Med. Sist. Fr	Esco. Med. Sist. M	Esco. Med. Sist. M	Esco. Med. Lat. Sist. M
200 hPa Diverg.** Alt. 14000m	Esco. Zonal Conv. F	Esco. Zonal Conv. F	Esco. Med. L Conv. Fr	Esco. Med. Conv. Fr	Esco. Med. Conv. Fr	Esco. Med. Conv. Fr	Esco. Med. Conv. M	Esco. Med. Conv. M	Esco. Lat. Conv. M
IOS, 1952*	-0,3	0,1	-0,2	-0,4	-0,9	-0,8	0,0	-0,8	-0,7
1. IOS, 1953*	-1,4	-0,2	-0,4	-0,6	+0,1	-0,7	-0,8	-0,2	-2,5
IOS, 1975*	2,2	1,7	1,3	2,0	-0,6	0,5	1,1	1,5	0,5
2. IOS, 1976*	-1,2	+0,2	+0,7	-0,5	+1,2	+1,2	+1,3	+0,2	+0,6
IOS, 1988*	1,4	1,9	1,3	+1,9	+1,1	-0,3	-0,8	+0,6	0,0
3. IOS, 1989*	+0,8	+0,6	+0,6	-0,4	-0,7	+1,3	+2,4	+0,8	+0,6

* = Extraídos da literatura.

** = Resultados deste trabalho.

1. = Ano de Anti-El Niño, em que ocorreu a maior enchente do século na Amazônia.

2. = Ano de Anti-El Niño, em que ocorreu a segunda maior enchente na região.

3. = Ano de Anti-El Niño, em que ocorreu a terceira maior enchente na região.

A = Ativo.

F = Fraco.

M = Médio.

Frt. = Forte.

Bloq. = Bloqueio.

Conv. = Convergência.

Esco. = Escoamento.

Sist. = Sistema.

Med. = Meridional.

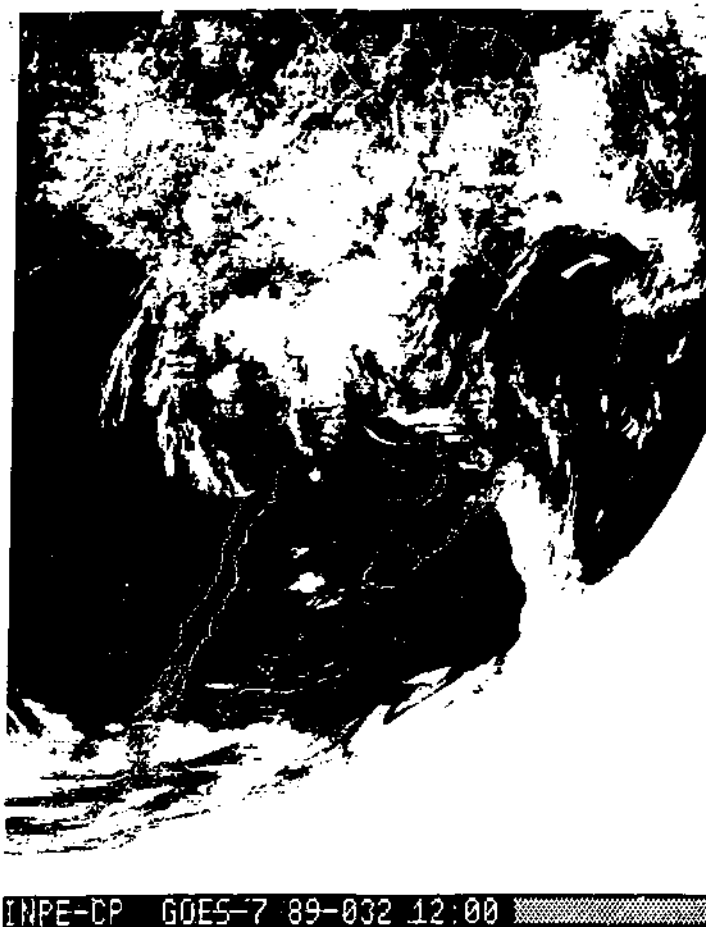
Alt. = Altitude.

, = Aproximadamente.



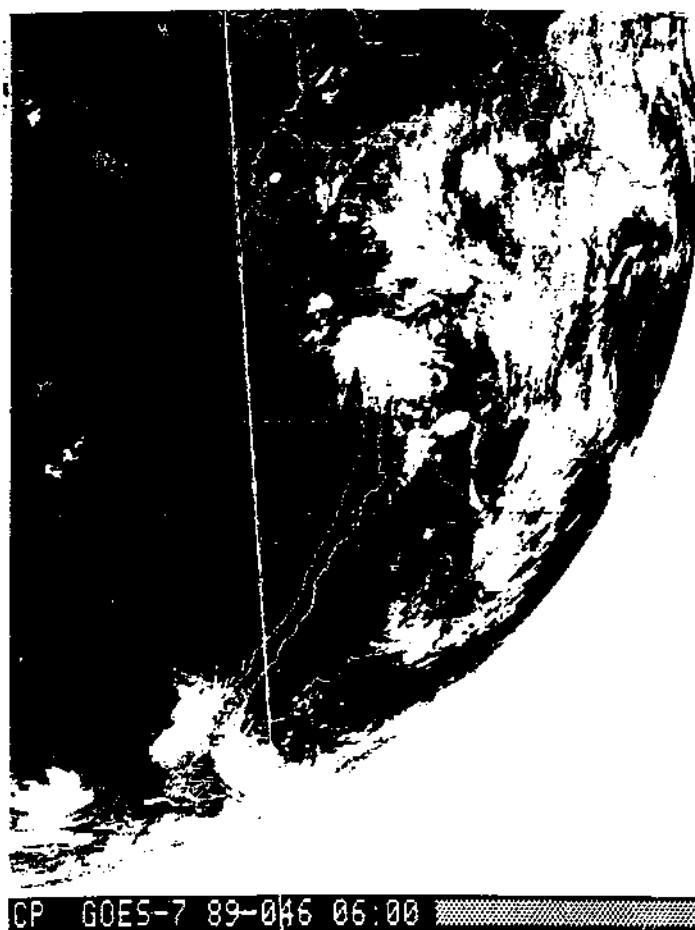
FONTE: INPE (1989).

FIGURA 39 - Imagem do Satélite GOES-E do Dia 6 de Janeiro de 1989.



FONTE: INEP (1989).

FIGURA 40 - Imagem do Satélite GOES-E do Dia 1 de Fevereiro de 1989.



FONTE: INPE (1989).

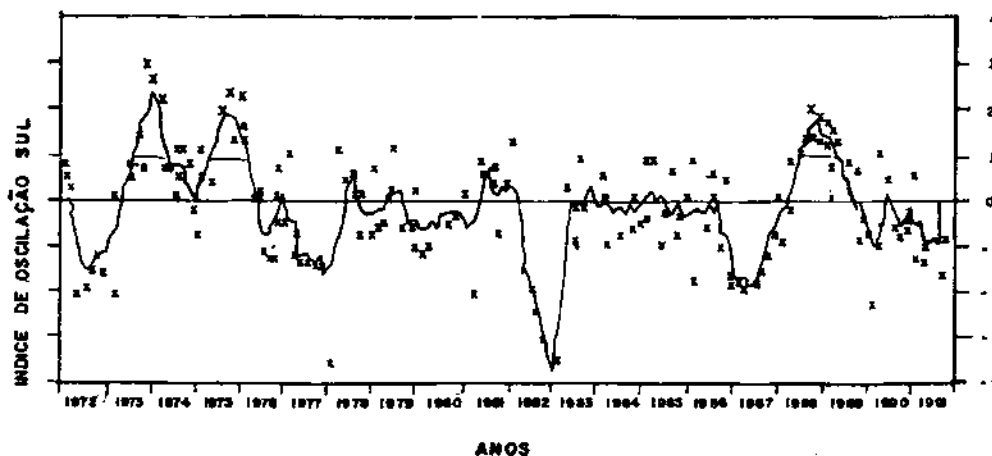
FIGURA 41 - Imagem do Satélite GOES-E do Dia 15 de Fevereiro de 1989.

A contribuição do jato subtropical também concorreu para a intensificação dos sistemas frontais que se deslocaram sobre o Brasil, num total de 19 sistemas frontais (entre 0° e 25°), durante os meses de primavera (Quadro 6). Verificou-se que, no verão, também há predominância de um anticiclone bem definido em 200 hPa sobre a Bolívia, estendendo-se para o noroeste brasileiro e parte do sudoeste da Amazônia (Figuras 35 e 36), com a intensificação dos ventos em altitude a partir de 25° sul. No nível de 500 hPa, os anticiclones dos oceanos Pacífico e Atlântico são mais definidos, com suas contribuições para que ocorra convecção sobre a Amazônia e o Nordeste do Brasil, assim como os ventos são mais intensos, atingindo de 40 a 60 nós a 20° sul.

As anomalias observadas nos padrões de precipitação da região tropical amazonense parecem estar associadas tanto ao episódio frio da grande escala do tipo Anti El Niño quanto ao El Niño-oscilação sul, ENOS, como ocorreu nos anos de 1952/53, 1975/76 e 1988/89.

Esses episódios ocorreram no período em que aconteceram duas das maiores cheias do século na Amazônia (Quadro 1 e Figuras 1 e 42). Por outro lado, a maior cheia do século na região aconteceu em 1953, quando ocorreu um episódio quente do tipo El Niño, sendo o maior valor do índice de oscilação sul IOS registrado em fevereiro de -3,5 e as anomalias de temperatura da superfície do mar no Pacífico equatorial (TSM) de -1°C. Por ocasião desta maior cheia, o nível máximo das águas do rio Negro foi de 29,69 m.

Na enchente ocorrida no ano de 1976, o índice de oscilação sul (IOS) foi de 1,3 mm no mês de março e 0,6 mm em maio, final da enchente. A TSM atingiu 3°C, e o nível máximo das águas do rio Negro foi de 29,61 m. Por ocasião da cheia ocorrida em 1989, o IOS foi de 2,3 no mês de abril, enquanto a anomalia de temperatura do mar no Pacífico equatorial foi de -2°C em janeiro e -1°C de fevereiro a maio, valores que confirmaram a existência de um fraco episódio Anti El Niño. As águas do rio Negro atingiram o nível de 29,42 m, no porto de Manaus (Figuras 1, 2 e 42 e Quadro 4).



FONTE: BOLETIM DE ANOMALIAS NA CIRCULAÇÃO OCEÂNICA e da ATMOSFERA GLOBAL DA NOAA (1992).

FIGURA 42 - Séries Anuais do índice de Oscilação Sul, Período de 1972 a 1991.

4.4. Resultados das Análises dos Mapas de 850, 500 e 200 hPa

Os mapas médios dos níveis de 850, 500 e 200 hPa são o resultado das análises diárias desses níveis, referentes aos meses de verão (dezembro de 1988 e fevereiro de 1989).

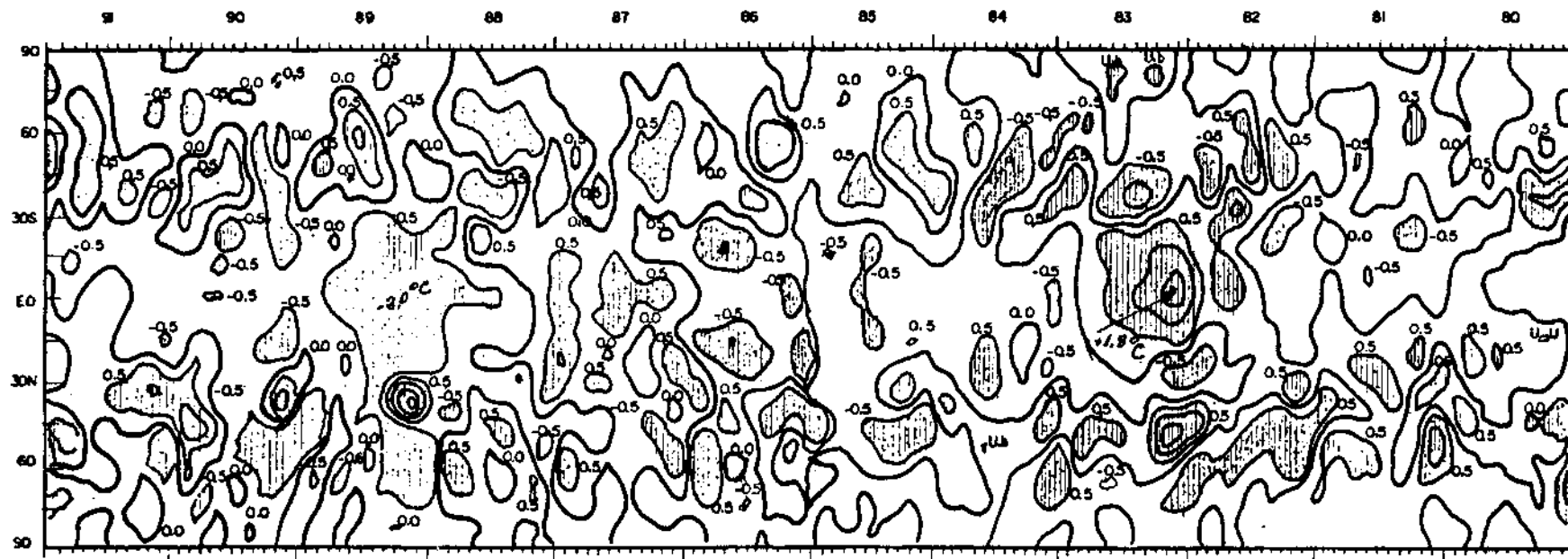
Esse período foi o de maior atividade dos sistemas atmosféricos na Amazônia, quando se registraram também as mais intensas chuvas regionais em razão, provavelmente, da maior convecção regional, produzida pelo maior aquecimento da faixa equatorial.

No nível de 850 hPa, observou-se forte atividade dos dois anticiclones dos oceanos Pacífico e Atlântico. Como era de se esperar, o escoamento neste nível tornou-se meridional e os sistemas atmosféricos foram aproximadamente idênticos aos encontrados na carta de superfície (Figura 33 e Quadro 7).

No nível de 500 hPa, nível não divergente, os sistemas atmosféricos dos oceanos Pacífico e Atlântico estiveram bem definidos, observando-se um ponto neutro na parte sul da região Amazônica. O fluxo teve comportamento meridional, próprio dos meses de verão (Figura 34 e Quadro 7).

No nível de 200 hPa, verificou-se, com maior destaque, o sistema Alta da Bolívia (AB), que nesse nível esteve bastante ativo, contribuindo para intensificação da convecção na região Amazônica (Figuras 35, 36 e Quadro 7).

A Figura 43 ilustra anomalias do campo da temperatura do ar no nível de 500 hPa, em relação à série temporal no período de 1980 a 1981, entre 30° W e 40° W de longitude.



* Cortesia de E.V. Kousky, pesquisador pertencente ao CAC/NWS, EUA.

FIGURA 43 - Anomalias do Campo de Temperatura do Ar no Nível de 500 hPa. (Kousky, 1982)*.

Verificaram-se, nos anos de ocorrência de El Niño, ENOS intensos (1982/83 e 1986/87), anomalias positivas no campo da temperatura, com núcleos de $+1,8^{\circ}\text{C}$ sobre a região equatorial; contrariamente, em anos de Anti El Niño (1988/89), anomalias negativas no campo de temperatura de até $-2,0^{\circ}\text{C}$ sobre a referida região foram observadas. O aquecimento verificado sobre o continente sul-americano, em anos de ENOS intensos, foi, possivelmente, resultante da compressão adiabática e da forte subsidência na atmosfera, com o que concordaram os pesquisadores Molion e Kousky*. Com relação aos anos de Anti El Niño (1988/89), não se tem ainda uma idéia precisa dos mecanismos físicos que levaram ao resfriamento da média troposfera (500 hPa). Quanto ao resfriamento verificado sobre o continente, uma hipótese seria a divergência de calor, ou seja, o transporte desse calor para as latitudes mais altas, associado à perda radiativa.

* Comunicação pessoal (pesquisadores do CAC/NWS e INPE).

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

No presente trabalho foi analisada a estação chuvosa de 1988/1989 e suas relações com a circulação geral da atmosfera, caracterizando-se as configurações geradas pelos sistemas atmosféricos na escala planetária e suas relações com escalas menores.

Os resultados obtidos indicam que a utilização conjunta das séries pluviométricas diárias, das cartas de superfície de 12 h TMG, das cartas de ar superior, de 12 h TMG e de produtos resultantes de modelos numéricos da escala global, como pressão ao nível do mar (PNM), temperatura da superfície do mar (TSM), radiação de onda longa (ROL), índice de oscilação sul (IOS) e imagens diárias de satélite foi importante no monitoramento das flutuações climáticas na Amazônia brasileira.

Com relação às principais cheias do século, pôde-se constatar que:

- duas das maiores cheias de caráter extraordinário, ocorridas nas estações chuvosas de 1975/76 e 1988/89 na Amazônia, coincidiram com fenômeno frio do tipo Anti El Niño;
- a maior cheia de caráter extraordinário acontecida, na Amazônia, ocorreu em ano de fenômeno quente El Niño (1952/53);
- houve um Anti El Niño intenso em 1974/75, porém a cheia desse período foi considerada normal;
- a terceira maior cheia do século (1988/89), motivo deste trabalho, acontecida na Amazônia, coincidiu com o fenômeno frio do tipo Anti El Niño;
- as anomalias das TSM e PNM, registradas no oceano Pacífico equatorial, variaram entre -1°C e -3°C e entre -1 a -3 hPa; os índices de oscilação sul (IOS) variaram de 0,3, no mês de novembro, a 2,3, no mês de abril; e as anomalias de ROL, na faixa equatorial, estiveram em torno de -15 W/m^2 .

No período chuvoso em estudo a Alta da Bolívia migrou para sua posição sazonal média de verão e a atividade convectiva tornou-se mais intensa, com maior frequência de pulsação. Esta observação concorda com resultados obtidos por outros pesquisadores.

Dos sistemas frontais, dentre os quinze ocorridos no Brasil, durante o trimestre mais chuvoso, quatro atingiram a

região Amazônica, colaborando para maior severidade da estação chuvosa.

Nada menos que doze linhas de instabilidade (LI) deslocaram-se sobre a região, no trimestre mais chuvoso em questão.

A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), por seu turno, também esteve mais ativa, em torno de sua posição média de verão, entre 0° e 3° sul.

Os anticiclones semipermanentes do Atlântico e do Pacífico estiveram localizados em torno de 20° sul e 30° oeste e 25° sul e 85° oeste, respectivamente.

O escoamento médio do nível de 850 à 200 hPa tornou-se meridional no verão chuvoso, contrastando com sua situação zonal, climaticamente dominante no inverno.

As imagens de satélite mostraram intensa nebulosidade associada a atividade convectiva em superfície, concordando com a situação sinótica configurada pela forte atuação da Alta da Bolívia e dos anticiclones do Atlântico e do Pacífico, sistemas frontais, da Zona de Convergência Intertropical, das linhas de instabilidade.

Os fenômenos e processos que ocorreram no Sistema Terra-Atmosfera, em diferentes escalas, como os processos convectivos; o aquecimento/resfriamento ocorrido nas águas oceânicas; e as mudanças nos campos de pressão e temperatura etc. não podem ser considerados isoladamente, associando-os a um evento como cheia anormal da Amazônia.

Muitos estudos devem ainda ser feitos com o intuito de conhecer melhor as interações desses fenômenos e processos físicos, para que se possam, com sucesso, diagnosticar e

prognosticar flutuações nas condições atmosféricas na Amazônia brasileira. Tais prognósticos poderão ser úteis para prevenir anomalias no clima, auxiliar no planejamento econômico-social, em particular, nas atividades agropecuárias da região.

A exemplo deste estudo de caso, outros períodos anômalos, tantos chuvosos quanto secos, deverão ser ainda estudados, visando a compreensão e a conclusões objetivas dos mecanismos atmosféricos de causa e efeitos.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

BERLAGE, H.P. & BOER, H.J. On the extension of the southern oscillation throughout the world during the period July 1, 1949 up to July 1, 1957. *Geof. Pure e Appl.*, (44):287-95, 1957.

BJERKNES, J. A possible response of the atmospheric Hadley circulation to equatorial anomalies of ocean temperature. *Tellus*, (18):820-9, 1966.

BOLETIM CLIMÁTICO DA AGÊNCIA DE METEOROLOGIA DO JAPÃO, Tokio
JMA MRCS/MA, 1988/1989.

BOLETIM DE MONITORAMENTO E ANÁLISE CLIMÁTICA. *Climanálise*,
INPE, v. 5, n.7, 1992.

BOLETIM DE ANÁLISES DA CIRCULAÇÃO OCEÂNICA E ATMOSFÉRICA
GLOBAL. NOAA/NWS, 1992.

CLIMATE DIAGNOSTICS BULLETIN Nº 86/103 - 87, 88, 89, 90,
91/01 NOAA/NWS e NMC-National Meteorological Center EUA.

———. *Climanálise*, INPE, v.6, n.7, 1992.

———. *Climanálise*, INPE, v.7, n.7, 1992.

- CALHEIROS, R.B. & SILVA DIAS, P.L. Como prever melhor. **Boletim de Monitoramento e Análise Climática - CLIMANÁLISE**, INPE, v.3, n.2, p.31-52, 1988.
- CARVALHO, A.M.G. **Conexões entre a circulação em altitude e a convecção sobre a América do Sul**. São José dos Campos, INPE, 1988. 105p. (Tese M.S.)
- CASARIN, D.P. **Um estudo observacional sobre sistemas de bloqueio no Hemisfério Sul**. São José dos Campos, INPE, 1986. 105p. (Tese M.S.)
- CASARIN, D.P. & KOUSKY, E.V. **Análise de precipitação no sul do Brasil e variações na circulação atmosférica**. *R. Bras. Meteorol.*, (1):53-90, 1986.
- CAVALCANTI, I.F.A. **Um estudo sobre interações de circulação de escala sinótica e circulação locais**. São José dos Campos, INPE, 1982. 100p. (Tese M.S.)
- CAVIEDES, C.N. Drongert and El Niño: two simultaneous climatical hazards in South America. *Proc. Assoc. Amer. Geogr.*, (5):44-9, 1973.
- CLIMANÁLISE, (Número especial). São José dos Campos, out. 1986.
- CLIMANÁLISE, São José dos Campos, n.8, 1989.
- CLIMANÁLISE, São José dos Campos, n.7, 1990.
- COHEN, J.C.P.; SILVA DIAS, M.A.F.; NOBRE, C.A. Aspectos climatológicos das linhas de instabilidade na Amazônia. *Climanálise*, 4(11):34-40, 1989.
- CONRADO, H. **Estudos sinóticos de períodos deficientes de chuvas no Rio Grande do Sul**. São José dos Campos, INPE, 1992. 115p. (Tese M.S.)
- CUTRIN, E.M.C. & COHEN, J.C.P. Estudos dos sistemas atmosféricos produtores de chuvas no leste paraense. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA**, 5, Belém, 1987. *Anais...* Belém, 1987. p.5-11.

- FERNANDEZ, W. Environmental conditions and structure of some types of convectives mesosystems observed over Venezuela. *Arc. Meteorol. Geophys and Bioclimatol.*, 29(3), 249-67, 1980.
- FIGUEROA, S.N. Simulação da circulação atmosférica no verão sobre a América do Sul com a presença da Cordilheira dos Andes usando coordenadas ETA. INPE, 1990. 150p. (Tese M.S.)
- FIGUEROA, S.N. & NOBRE, C.A. Precipitation distribution over central and western tropical South America. *Boletim de Monitoramen. Anál. Climát.*, CLIMANÁLISE, São José dos Campos, 5(6):36-45, 1990.
- GILL, A.E. Some simple solutions for heat - induced tropical circulation. *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, 106:447-62, 1980.
- HASTENRATH, S. *Climate and circulation of the tropics.* Boston, D. Redel. Pub. Co., 1985. p.245.
- HASTENRATH, S. & LAMB, P. *Climate atlas of the tropical Atlantic and Eastern Pacific Oceans.* Madison, WI, University of Wisconsin Press, 1977. p.445.
- HASTENRATH, S. & HELLER, J. Dynamics of climate hazards in northeast Brazil. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, (103):77-92, 1977.
- HOUZE, J.R.A. Structure and dynamics of a tropical squall line system. *Monthly Weather Review*, 105(12):1540-67, Dec. 1977.
- KAYANO, M.T. Um estudo climatológico e sinótico utilizando dados de radiossondagem (1968-1976) de Manaus e Belém. São José dos Campos, INPE, 1980. (Tese M.S.)
- KAYANO, M.T.; STUDZINSKI, C.D.; SILVA DIAS, P.L.; KOUSKY, V.E. As variações intra-sazonais da precipitação no Brasil durante o verão de 1989/90. *Boletim de Monitoramento e Análise Climática*, São José dos Campos, INPE, 5(4):40-50, 1990.
- KIDSON, J.W. Tropical eigenvector analysis and southern oscillation. *Mon. Wea. Rev.*, (103):187-96, 1975.

- KOUSKY, V.E. Frontal influences on Northeast Brazil. *Mon. Wea. Rev.* 107:1140-53, 1979.
- KOUSKY, E.V. Diurnal rainfall variation in the northeast Brazil. *Monthly Weather Review*, 108(4):488-498, apr. 1980.
- KOUSKY, V.E. & KAYANO, M.T. A climatological study of the tropospheric circulation over the Amazon Region. *Acta Amazônica*, 11:743-58, 1981.
- KOUSKY, V.E. & MOLION, L.C.B. Uma contribuição à climatologia da dinâmica da troposfera sobre a Amazônia. *Revista Brasileira de Hidrologia e Recursos Hídricos*, 3(2):199-211, 1981.
- KOUSKY, V.E. **The southern oscillation: oceanic-atmospheric circulation changes and related rainfall anomalies.** 1983.
- KOUSKY, V.E.; KAYANO, M.T.; CAVALCANTI, I.F.A. A review of the southern oscillation: oceanic, atmospheric circulation changes and related rainfall anomalies. *Tellus*, 36A:490-504, 1984.
- KOUSKY, V.E. **Anomalias de temperatura ao nível de 500 hPa.** NOAA/NWS-NMC, EUA. 1992.
- KREULS, R.; RUPRECHT, E.; FRAEDRICH, K. An Aerological Climatology of South America. *Meteorol. Rdsch.* 28:17-24, 1975.
- MOLION, L.C.B. Climate variability and its effects on Amazonian hydrology. *Interciência*, 15(6):367-72, 1990.
- MOLION, L.C.B. Climatologia e dinâmica da região amazônica: mecanismo de precipitação. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 2:107-17, 1987.
- MOLION, L.C.B. A climatology study of energy and moisture fluxes of the Amazonas basin, with considerations of deforestation effects. Madison, WI, University of Wisconsin Press, 1975. 173p. (Tese Ph.D.)
- MOLION, L.C.B. A climatology study of the energy and moisture fluxes of the Amazon basin with considerations of the deforestation effects. São José dos Campos, INPE, 1976.

- MOLION, L.C.B. El Niño e o clima do Brasil. *Ciência Hoje*, out. 1989.
- MOLION, L.C.B. & DALLAROSA, R.L.G. Pluviometria da Amazônia: são os dados confiáveis? *Climanálise*, São José dos Campos, 5(3):40-2, 1990.
- MOLION, L.C.B. & KOUSKY, V.E. *Climatologia da dinâmica da troposfera sobre a Amazônia*. São José dos Campos, INPE, 1985.
- MOURA, A.D. & KAYANO, M.T. O El Niño de 1982/83 e a precipitação sobre a América do Sul. São José dos Campos, INPE, 1983. p.37.
- NAMIAS, J. Influence of northern hemisphere general circulation on drought in northeast Brazil. *Tellus*, (24):336-42, 1972.
- NEWELL, R.E. Climate and the ocean. *Amer. Sci.*, (67):405-16, 1979.
- NEWELL, R.E.; KIDSON, J.W.; VICENT, D.G.; BOER, G.J. *The circulation of the tropical atmosphere*. Cambridge, Mass., The MIT Press, 1972. v.1, p.216.
- NOBRE, C.A. & RENNÓ, N.O. Droughts and floods in South America due to the 1982/83 ENSO episode. In: CONFERENCE HURRICANES AND TROPICAL METEOROLOGY, 16, Houston, 1985. *Proceedings...* Houston, Texas, AMS, 1985. p.131-3.
- OBREGON, G. & NOBRE, C.A. Principal component analysis of precipitation fields over the Amazon River basin. *Boletim de Monitoramento e Análise Climática*, CEPETEC, INPE, São José dos Campos, 5(7):35-46, 1990.
- OLIVEIRA, A.S. *Interações entre sistemas frontais na América do Sul e a convecção na Amazônia*. São José dos Campos, INPE, 1986. 105p. (Tese M.S.).
- PARMENTER, F.C. A Southern Hemisphere cold front passade at the Equator. *Bul. Amer. Meteorol. Soc.*, 57:1435-40, 1976.
- PETTERSEN, S. *Weather analysis and forecasting; motion and montion systems*. New York, MacGraw-Hill, 1976.

- QUINN, H.W. & NEAL, T.V. El Niño occurrences over the past four and a half centuries. *J. of Geophysical Research*, V.92, No C13, p.14, 449-461. Dec. 15, 1987.
- RASMUSSEN, E.M. & CARPENTER, T.H. The relationship between eastern equatorial pacific sea surface temperatures and rainfall over India and Sri Lanka. *Mon. Wea. Rev.*, (111):517-8, 1983.
- RATISBONA, L.R. The climate of Brazil. In: SCHWERDTFEGER, W. (ed). *World survey on climatology*. Amsterdam, Elsevier, 1976. v.12, p.219-91.
- RIEHL, H. *Tropical meteorology*. New York, MacGraw-Hill, 1954. p.392.
- SATIAMURTY, P. & RAO, V.E. Zona de convergência do Atlântico Sul. *Climanálise*, São José dos Campos, INPE. 3(3):31-5, 1988.
- SCHWERDTFEGER, W. The atmospheric circulation over central and South America. In: *Climates of central and South America*. World Survey of Climatology, 1976. v.12.
- SILVA DIAS, P.L.; SHUBART, W.H.; DE MARIA, M. Large scale response of the tropical atmosphere to transient convection. *J. Atmosphere*, 40:2689-707, 1983.
- SILVA DIAS, M.A.F. Meso-scale meteorology - South America phenomena USP. In: SESSION OF THE EXECUTIVE COUNCIL, 40, Geneve, 1988. *Proceedings...* São Paulo, 1988.
- SILVA FILHO, V.P. Um estudo dos perfis de vento sob condições de atmosfera quase neutra e estável sobre uma floresta de terra firme. São José dos Campos, INPE, 1988. 100p. (Tese M.S.)
- SOBRAL, Z.R. Um estudo climatológico dos campos de ventos e temperatura nos níveis superiores sobre a América do Sul. São José dos Campos, INPE, 1979. 135p. (Tese M.S.)
- TREWARTHA, G.T. *The earth's problem climates*. Wisconsin, University of Wisconsin Press, 1961. p.220.
- VIANELLO, R.L. & ALVES, A.R. *Meteorologia básica e aplicações*. Viçosa, Impr. Univ./UFV, 1991. p.449.

- VIANELLO, R.L. Ondas estacionárias forçadas pela topografia e pelas fontes e sumidouros de calor no Hemisfério Sul. São José dos Campos, INPE, 1981. 115p. (Tese D.S.)
- VIRJI, H. An estimate of the summertime tropospheric circulation patterns over South America estimated from cloud winds. *Mon. Wea. Rev.*, 109:599-610, 1981.
- VIRJI, H. & KOUSKY, E.V. Regional and global aspects of a low latitude frontal penetration in Amazonas and associated tropical activity. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOUTHERN HEMISPHERE METEOROLOGY, 1983. Preprints... 1983.
- VILLA NOVA, N.A.; SALAD, E.; MITISUI, E. Estimativa da evapotranspiração da Bacia Amazônica pelo método de Penman para condições de floresta. *Acta Amazônica-INPA*, 6:215-228, 1974.
- WALKER, G.T. Cear (Brazil) famines and the general air movement. *Beitr. Phys. D. Freien Atmos.*, (14):88-93, 1928.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)