



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE – 3600 – TDL / 197

**Previsores sinótico-meteorológicos para a dispersão de poluentes na
região da grande São Paulo.**

Magda Luzimar de Abreu

Dissertação de Mestrado em Meteorologia, orientada por Alberto Waingort Setzer,
aprovada em 14 de dezembro de 1984.

INPE
São José dos Campos
1984

1. Publicação nº <i>INPE-3600-TDL/197</i>	2. Versão	3. Data <i>Julho, 1985</i>	5. Distribuição <input type="checkbox"/> Interna <input checked="" type="checkbox"/> Externa <input type="checkbox"/> Restrita
4. Origem <i>DRH-DME</i>	Programa <i>FRH/MET</i>		
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) <i>POLUIÇÃO DO AR CIRCULAÇÃO ANTICICLÔNICA CORRENTE DE JATO</i> <i>SINÓTICO-METEOROLÓGICO FRENTE EM SUPERFÍCIE</i> <i>GRANDE SÃO PAULO SATÉLITES METEOROLÓGICOS</i>			
7. C.D.U.: <i>551.510.42(816.11)</i>			
8. Título <i>PREVISORES SINÓTICO-METEOROLÓGICOS PARA A DISPERSÃO DE POLUENTES NA REGIÃO DA GRANDE SÃO PAULO</i>		10. Páginas: <i>131</i>	
		11. Última página: <i>B.2</i>	
		12. Revisada por	
9. Autoria <i>Magda Luzimar de Abreu</i>		<i>Alberto W. Setzer</i> Alberto Wainfort Setzer	
		13. Autorizada por <i>Marco Antonio Raupp</i> Marco Antonio Raupp Diretor Geral	
Assinatura responsável <i>Magda Luzimar de Abreu</i>			
14. Resumo/Notas <i>Analizou-se a relação entre sistemas sinótico-meteorológicos e índices extremos de poluição do ar na região da Grande São Paulo no período de 1979 a 1982. Observou-se que casos extremos de baixos índices de poluição estão associados, em superfície, com frente fria sobre ou ao norte de São Paulo e anticiclone frio com centro ao sul da cidade. Acima da superfície observou-se a presença de ventos fortes (> 25m/s) em 250mb, escoamento zonal em 250 e 500mb próximo a região, circulação anticiclônica em 850mb, corrente de jato com centro próximo a São Paulo, escoamento ao sul do continente de sul ou sudoeste. Alguns casos de baixos índices ocorreram associados com ventos fracos e circulação anticiclônica em 250mb e presença de centros de baixa pressão em superfície (situação característica de meses representativos de verão). Nos casos de altos índices, verificou-se a presença de frente fria ao sul de São Paulo e anticiclone subtropical predominando sobre a região, ventos fracos (< 25m/s) em 250mb, circulação anticiclônica em 850mb, corrente de jato localizada no sul do País, escoamento ao sul do continente de NW. Realizou-se um teste com os parâmetros acima descritos, os quais mostraram que esta análise foi apropriada ao diagnóstico e à previsão do potencial de poluição do ar. Verificou-se também a possibilidade de utilização quase que exclusiva de imagens do satélite GOES e cartas de superfície no diagnóstico e previsão de casos extremos de poluição atmosférica.</i>			
15. Observações <i>Dissertação de Mestrado em Meteorologia, aprovado em 14 de dezembro de 1984.</i>			

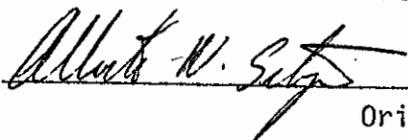
Aprovada pela Banca Examinadora
em cumprimento a requisito exigido
para a obtenção do Título de Mestre
em Meteorologia

Dr. Antonio Divino Moura



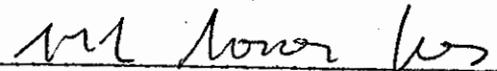
Presidente

Dr. Alberto W. Setzer



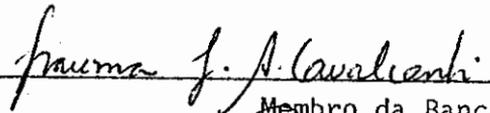
Orientador

Sra. Heloisa Moreira T. Nunes, MSc



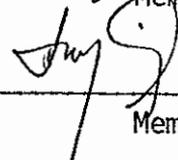
Membro da Banca
-convidada-

Sra. Iracema F. A. Cavalcanti, Mestre



Membro da Banca

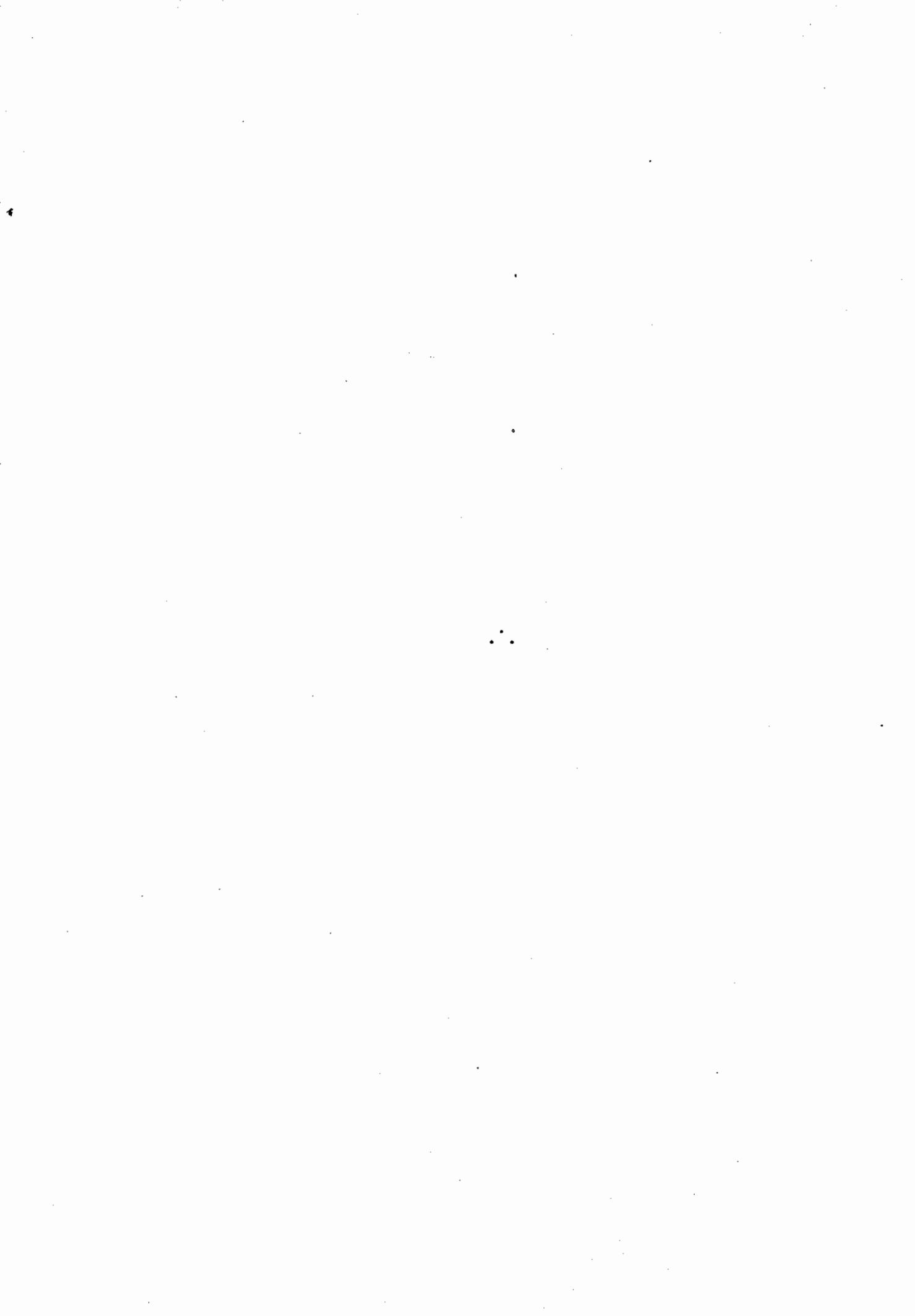
Dr. Luiz Carlos Baldicero Molion



Membro da Banca

Candidata: Magda Luzimar de Abreu

São José dos Campos, 14 de dezembro de 1984



LIBERTAÇÃO

Não permitas que a tristeza domine teu espírito; pois na vida tudo é alegria. A dor é uma alegria em estado latente que se desabrochará num futuro próximo.

Não permitas que o amor te transforme em egoísta; pois amor é renúncia e expansão.

Não permitas que a inércia te atravanque os passos pela vida; pois se não caminhas hoje terás que correr no amanhã.

Não permitas que o turbilhão de cada dia te distraia das coisas do Alto; pois não gostarias se o Alto te perdesse na distração.

Não permitas que tua fé se abale quando a catástrofe aproxima-se do teu cadinho; pois fé é confiança, mas confiança inabalável.

Se trocas o egoísmo do teu amor pela caridade aos que tanto sofrem ao teu lado;

Se trocas a inércia pelo trabalho que eleva e dignifica;

Se trocas a distração pela atenção aos ensinamentos de Cristo;

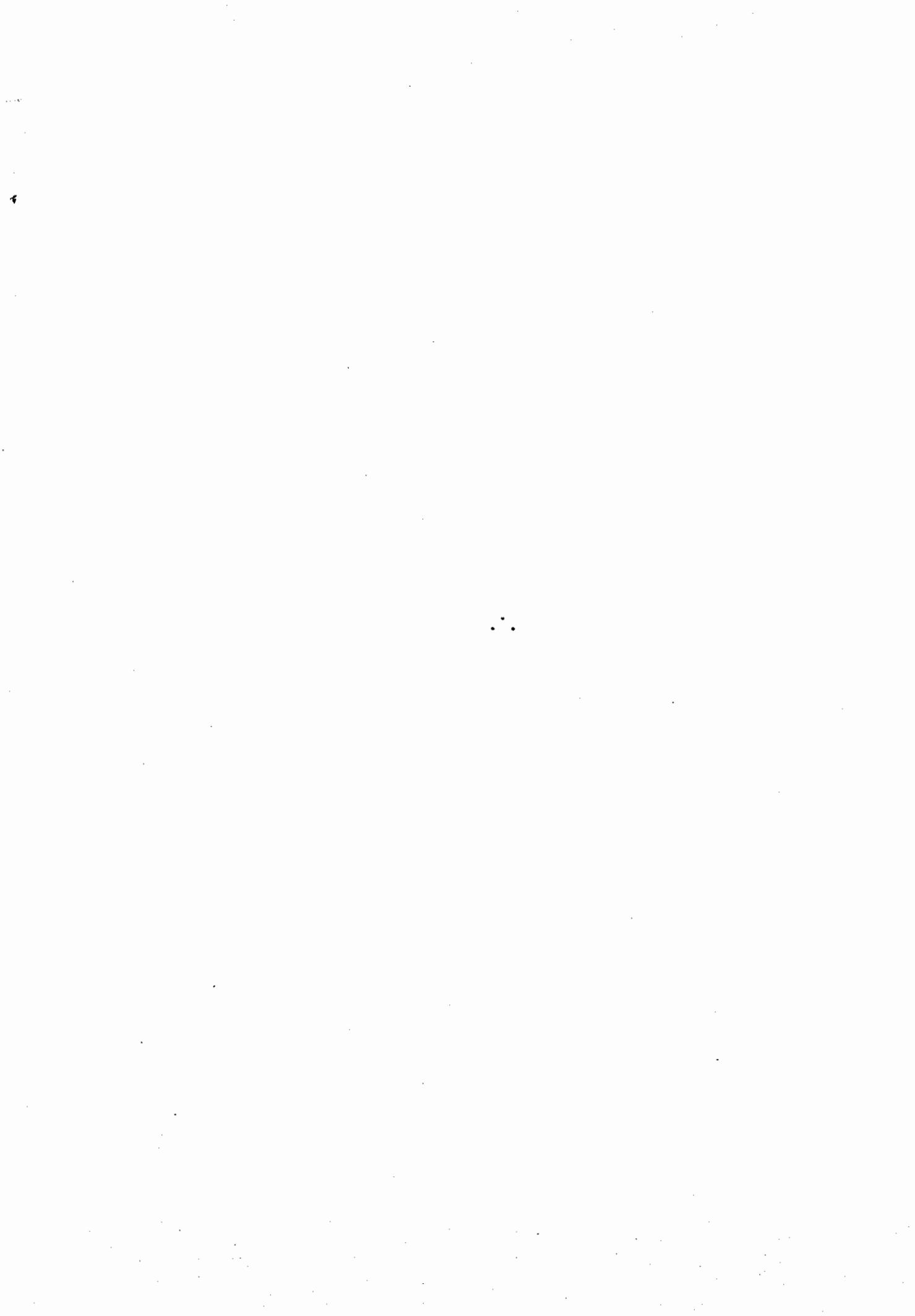
Se trocas a incerteza pela prece que te une ao Pai;

Então, bem perto estarás da libertação deste mundo de provas.

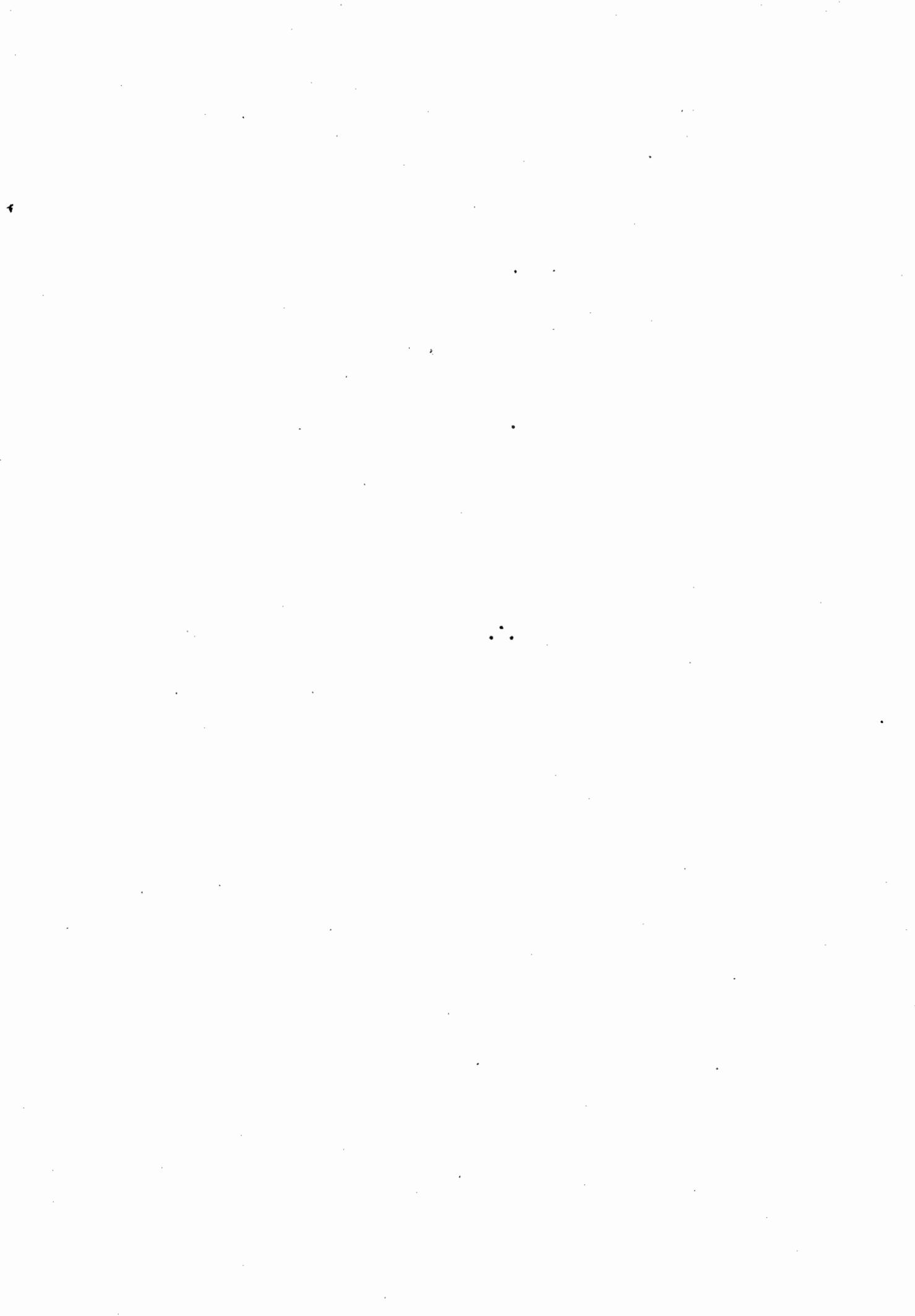
André Luiz

.....

(Mensagem recebida na reunião do "Centro Espírita Jesus Maria e José" em Belo Horizonte em 19/09/60 pelo médium G.L.)



*Aos meus pais,
aos meus irmãos,
ao Farley e à Naiana.*



AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Alberto Waingort Setzer pela dedicação e persis
tência com as quais proporcionou orientação segura e contínua durante
todo o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Dr. Antônio Divino Moura pelo incentivo recebido.

Ao Departamento de Meteorologia, na pessoa de seu chefe
Dr. Fausto Carlos de Almeida, pelos recursos fornecidos durante o pe
ríodo de mestrado.

Ao Manoel Alonso Gan pela colaboração inicial e pelas su
gestões fornecidas durante todo o trabalho.

À Alda Santos de Oliveira e Elizabete Caria Moraes pelo
apoio e incentivo recebidos.

Aos pesquisadores e ao pessoal de apoio do Departamento
de Meteorologia que direta ou indiretamente contribuíram para o desen
volvimento desta dissertação.

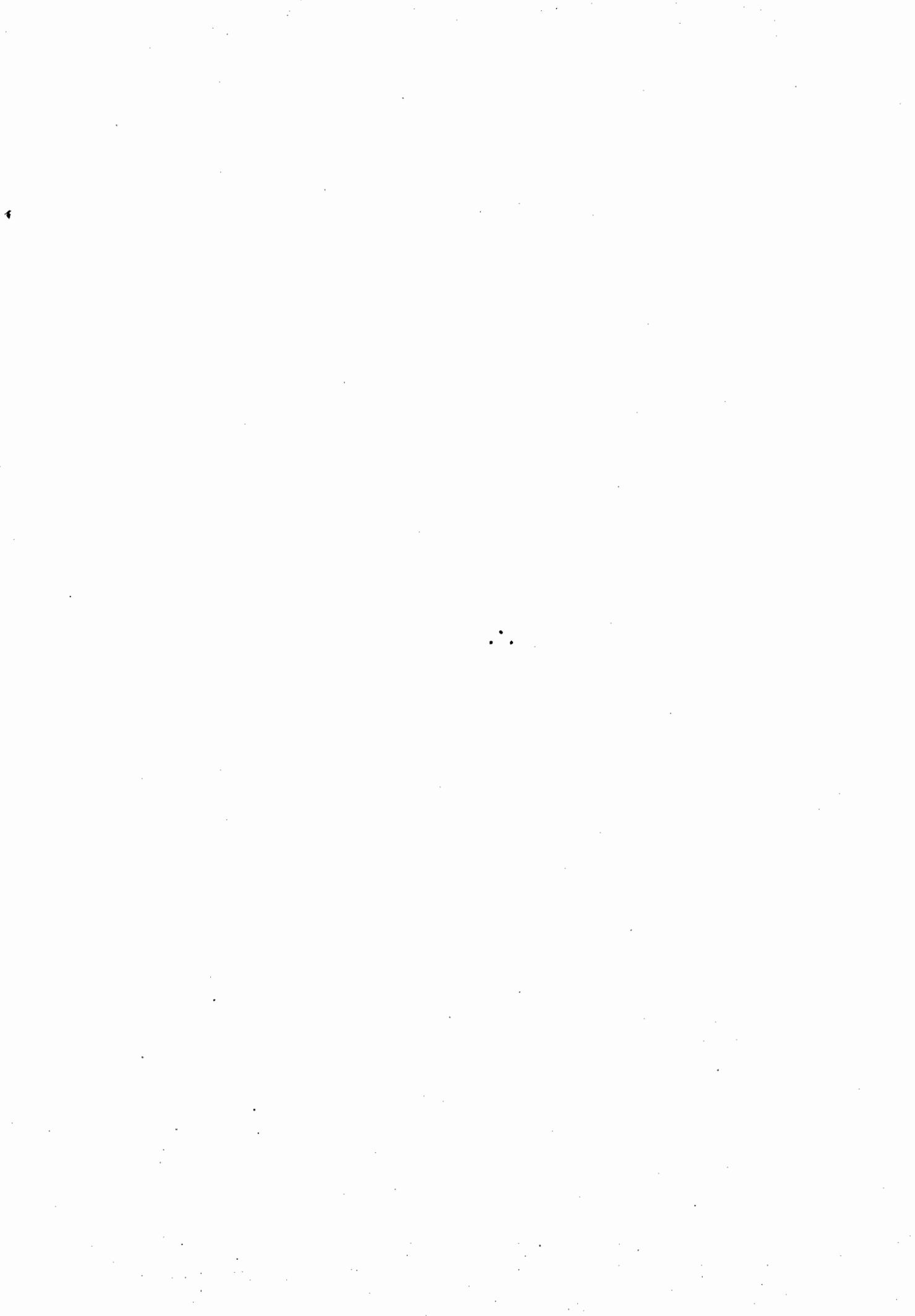
Ao Instituto de Pesquisas Espaciais pelos recursos forne
cidos durante o desenvolvimento deste trabalho.

À Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental (CETESB)
pela iniciativa de tornar disponíveis ao público os dados de concentra
ção de poluentes utilizados neste trabalho.

À banca examinadora pela predisposição em analisar esta
tese e pelas sugestões fornecidas.

À Iracema F.A. Cavalcanti pela revisão técnica deste tra
balho.

Ao CNPq, à CAPES e ao PROANTAR pelas bolsas proporciona
das.



ABSTRACT

Extreme air pollution levels in the "Greater São Paulo" region were related to synoptic scale systems during the 1979-1982 period. Low levels of air pollution are associated, at the surface, with cold fronts over or to the north of São Paulo city, and with cold anticyclones centered to the south. Upper air winds at 250mb were strong ($> 25\text{m/s}$) and in some cases a trough or zonal flow were present at 500mb and 250mb. Circulation was anticyclonic at 850mb. A jet stream was located near the region, and S/SW upper level flow was found to the south of the continent. Reduced pollution levels also occurred associated with weak anticyclonic winds at 250mb and low pressure systems at the surface level (in summer-like situations). High levels of air pollution occurred with cold fronts to the south of São Paulo and prevailing subtropical anticyclones. Weak winds ($< 25\text{m/s}$) at 250mb and anticyclonic circulation at 850mb were also observed. The jet stream was found in the south of the country, and upper winds at the south of the continent were normally from NW. Such patterns were used in a preliminary forecast of potential air pollution, when they proved to be appropriate for this diagnosis and forecast. It was also concluded that GOES satellite imagery and conventional surface charts provide most of the information for analysis and forecast of extreme levels of air pollution.

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS	<i>xiii</i>
LISTA DE TABELAS	<i>xv</i>
<u>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO</u>	1
1.1 - Histórico	1
1.2 - Os poluentes atmosféricos	3
1.3 - Aspectos da poluição atmosférica no Brasil	10
1.4 - A poluição em áreas remotas: Antártica	15
1.5 - Objetivo	17
<u>CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</u>	19
2.1 - Caracterização do problema	19
2.2 - Escala sinótica	20
2.2.1 - Estagnação atmosférica-causas e consequências	20
2.2.2 - Previsão de potencial de poluição atmosférica em latitudes médias	22
2.2.3 - Estudos feitos no Brasil	29
<u>CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA</u>	35
3.1 - Critério de seleção dos índices	35
3.2 - Características meteorológicas consideradas	37
3.2.1 - Posição de frentes e anticiclones	37
3.2.2 - Radiossondagens	39
3.2.3 - Escoamento acima da superfície	39
3.2.4 - Imagens de satélite	40
<u>CAPÍTULO 4 - RESULTADOS</u>	41
4.1 - Dados de superfície	41
4.2 - Escoamento acima da superfície	55
4.2.1 - Linhas de corrente e isotacas	55
4.2.2 - Isotermas	60
4.3 - Casos específicos	61
4.3.1 - Altos índices de poluição: 30/07/79 a 04/08/79	61

	<u>Pág.</u>
4.3.2 - Altos Índices de poluição: 04/07/79 a 06/07/79	68
4.3.3 - Baixos Índices de poluição: 11/08/70 a 15/08/80	74
4.3.4 - Baixos Índices de poluição: 16/03/81 a 18/03/81	80
4.4 - Teste de verificação	85
4.5 - Discussão dos resultados	92
<u>CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES</u>	99
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	105
APÊNDICE A - EXEMPLO DO BOLETIM EMITIDO PELA CETESB À IMPRENSA PAULISTA	
APÊNDICE B - EXEMPLO DA RELAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE SO ₂ E MP AR QUIVADAS EM FITA MAGNÉTICA NO INPE	

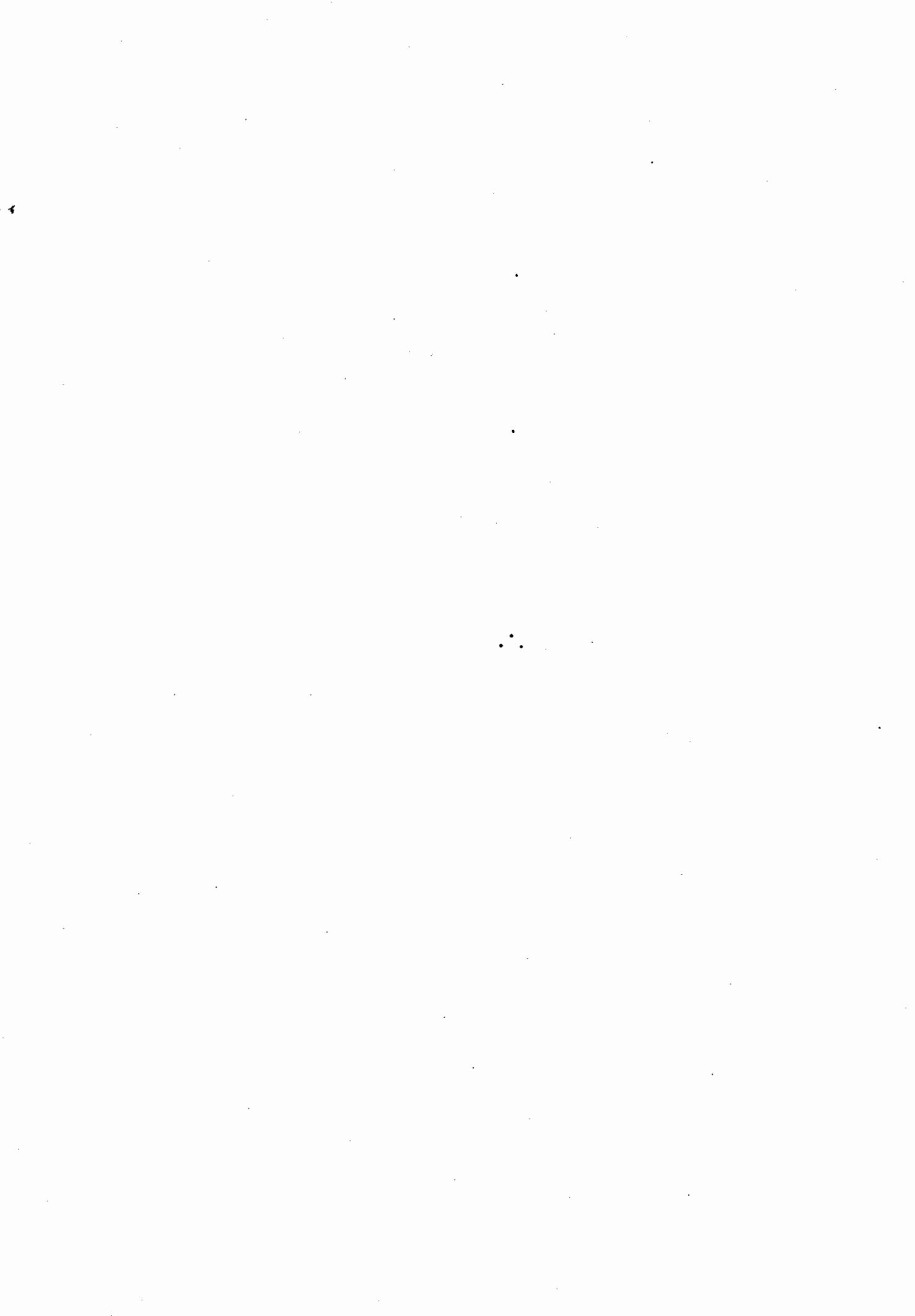
LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
1.1 - Estimativa de emissão de SO ₂ de 1860 a 1970	8
1.2 - Estimativa de emissão global de SO ₂ até o ano 2000, com base nas emissões de 1965	9
2.1 - Frequência de ocorrência de centros de anticiclones no oeste dos Estados Unidos no período de 1949 a 1956	21
2.2 - Cartas médias de geopotencial para o período de 11 a 15 de outubro de 1957 na porção leste dos Estados Unidos ...	23
2.3 - Carta isobárica ao nível do mar (mb), no dia 23 de novembro de 1957, às 2400 TMG	25
2.4 - Carta para o nível de 700mb, às 2400 TMG, no dia 23 de novembro de 1957 na porção oeste dos Estados Unidos	26
2.5 - Área de impacto e região de fontes emissoras no período de 5 a 10 de agosto de 1970	26
2.6 - Análise ao nível do mar no período de 5 a 10 de agosto de 1970	27
2.7 - Posição da "frente de poluição" em intervalos de 24 horas, de 5 de agosto (1800TMG) a 10 de agosto (1800TMG)	28
2.8 - Posição esquemática das frentes frias em São Paulo	31
2.9 - Posição estimada dos centros de anticiclones que predominam sobre São Paulo	32
3.1 - Período de influência de sistemas meteorológicos e período de coleta dos dados de concentração	38
4.1 - Posição esquemática das frentes frias e dos centros dos anticiclones nos dias de baixos e altos índices de poluição em 1979	44
4.2 - Posição esquemática das frentes frias e dos centros dos anticiclones nos dias de baixos e altos índices de poluição em 1980	48
4.3 - Posição esquemática das frentes frias e dos centros dos anticiclones nos dias de baixos e altos índices de poluição em 1981	52
4.4 - Posição esquemática das frentes frias e dos centros dos anticiclones nos dias de altos índices de poluição em 1982	56
4.5 - Configuração sinótica em superfície e nos altos níveis do dia 30/07/79 às 0900hs local	62
4.6 - Imagem no canal infravermelho do satélite GOES no dia 30/07/79 às 15:16h local	65
4.7 - Perfil de temperatura no período de 30/07/79 a 04/08/79 às 0900 h local	66

4.8 - Evolução da média das concentrações de SO ₂ e MP e das variáveis meteorológicas para o período de 30/07/79 a 04/08/79	67
4.9 - Configuração sinótica em superfície e nos altos níveis do dia 05/07/79 às 0900h local	69
4.10 - Imagem no canal infravermelho do satélite GOES no dia 05/07/79 às 09:16 h local	71
4.11 - Perfil de temperatura no período de 04/07/79 a 06/07/79 às 0900 h local	72
4.12 - Evolução da média das concentrações de SO ₂ e MP e das variáveis meteorológicas para o período de 04/07/79 a 06/07/79	73
4.13 - Configuração sinótica em superfície e nos altos níveis do dia 12/08/80 às 0900h local	75
4.14 - Imagem no canal infravermelho do satélite GOES no dia 12/08/80 às 10:17 h local	77
4.15 - Perfil de temperatura no período de 11/08/80 a 15/08/80 às 0900h local	78
4.16 - Evolução da média das concentrações de SO ₂ e MP e das variáveis meteorológicas para o período de 11/08/80 a 15/08/80	79
4.17 - Configuração sinótica em superfície e nos altos níveis do dia 18/03/81 às 0900h local	80
4.18 - Imagem no canal infravermelho do satélite GOES no dia 18/03/81 às 12:16h local	83
4.19 - Evolução da média das concentrações de SO ₂ e MP e das variáveis meteorológicas para o período de 16/03/81 a 18/03/81	84
4.20 - Posição esquemática dos sistemas sinóticos em situações características de altos índices de poluição	86
4.21 - Posição esquemática dos sistemas sinóticos em situações características de baixos índices de poluição	88

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
1.1 - Características principais dos poluentes	4
1.2 - Fontes de emissão de CO	6
1.3 - Emissão global de enxofre por hemisfério, 10 ⁶ ton/ano	7
1.4 - Fontes de emissão anual de SO ₂	8
1.5 - Fontes de emissão de poluentes na região da Grande São Paulo (ton/dia)	13
1.6 - Processos de emissão de poluentes na Grande São Paulo (ton/dia).....	14
1.7 - Emissão de poluentes devido a fontes móveis na região da Grande São Paulo (ton/dia)	15
2.1 - Previsão e verificação de situações de estagnação atmosférica durante o período de agosto de 1960 a julho de 1981.	24
2.2 - Parâmetros meteorológicos considerados na análise de condições de dispersão de poluentes	30
3.1 - Relação entre concentrações de poluentes e seus efeitos sobre a saúde humana	36
4.1 - Número de episódios característicos de baixos índices de poluição no período de 1979 a 1982	43
4.2 - Número de episódios característicos de altos índices de poluição no período de 1979 a 1982	43
4.3 - Resultados das análises de casos extremos de poluição na Grande São Paulo para o período de 1979 a 1982	57
4.4 - Resultados do teste de verificação do potencial de poluição do ar para 1983	91



CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Neste trabalho foi analisada a configuração sinótica em episódios extremos de poluição do ar na região da Grande São Paulo no período de 1979 a 1982. O objetivo foi relacionar os parâmetros sinótico-meteorológicos com os índices de poluição para dar subsídios à elaboração de um modelo de previsão de potencial de poluição atmosférica nas regiões industrializadas do País. Neste primeiro capítulo é feita uma introdução resumida do problema da poluição no mundo e no Brasil, destacando alguns dos principais episódios já ocorridos. É feita também uma breve descrição dos principais poluentes, sua origem e efeitos sobre o homem e o meio ambiente.

No Capítulo 2 é feita uma revisão bibliográfica relacionando os principais trabalhos realizados no Brasil e no exterior. O Capítulo 3 descreve a metodologia empregada na elaboração deste trabalho. O Capítulo 4 descreve os resultados obtidos, bem como apresenta uma discussão deles. São mostrados também os resultados de um teste de previsão de potencial de poluição do ar, elaborado com os dados do ano de 1983 para testar critérios definidos nesta dissertação, os quais servem de base inicial para o modelo procurado. Finalmente no Capítulo 5 são relacionadas as conclusões do trabalho e propostas possíveis questões a serem desenvolvidas no futuro.

1.1 - HISTÓRICO

Nos últimos cem anos a expansão da industrialização no mundo provocou mudanças bruscas no meio ambiente. Segundo Bibbero e Young (1974) estas mudanças foram tão rápidas que se torna difícil imaginar que o homem tenha se adaptado completamente a elas em tão pouco tempo. O surgimento de centros com concentração de indústrias provocou a contaminação do meio ambiente devido à grande emissão de substâncias na atmosfera e ao fato delas estarem concentradas em grandes áreas de

espaço urbano num período de tempo relativamente pequeno. Isto levou a comunidade científica, nas últimas décadas, e principalmente no Hemisfério Norte, a se interessar pelo conhecimento da capacidade de dispersão dos poluentes na atmosfera e dos efeitos de altas concentrações destes no homem e no seu ambiente.

O uso do carvão como fonte de energia em indústrias e no aquecimento de casas, e o advento da indústria petroquímica, segundo Chambers (1976), têm sido apontados como as principais fontes antropogênicas emissoras de poluentes.

Vários episódios de poluição ocorreram em países industrializados, tendo como prováveis causas estas fontes de poluição.

Um dos episódios mais conhecidos ocorreu em Londres no inverno de 1952. A cidade foi coberta por uma mistura de forte nevoeiro e fumaça (smog), originada provavelmente de queima de combustíveis fósseis, que provocaram alta concentração de compostos sulfurosos nas baixas camadas da atmosfera. Deste episódio resultaram 4000 mortes em uma semana e outras 8000 durante os três meses seguintes. Dez anos depois, outro episódio (dezembro de 1962) também em Londres, parece ter sido responsável por 750 mortes. Em 1909, em Glasgow, aproximadamente 1000 pessoas morreram em consequência de episódios de poluição e em 1936, no episódio do Vale Meuse na Bélgica, foram registradas 63 mortes. Estes episódios foram acompanhados por condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão de poluentes. Nos Estados Unidos, em 1948, um episódio semelhante ao da Bélgica ocorreu também em Donora, localizada num vale ao longo do rio Monongahela. Este episódio causou 20 mortes e danos à saúde de milhares de pessoas. Lodge (1979) descreve estes episódios e outras particularidades sobre o problema da poluição ambiental, principalmente nos Estados Unidos.

No Brasil, as populações de regiões como Cubatão em São Paulo, Contagem (MG), e outras, têm sofrido efeitos gravíssimos devido à operação inadequada de indústrias, e de condições desfavoráveis à

dispersão de poluentes. Em Cubatão, por exemplo, foi constatado alto índice de ocorrência de anencefalia (crianças sem cérebro). Somente em 1981 ocorreram 10 casos em 2500 nascimentos (Guerrini, 1982) - ver Seção 1.3.

1.2 - OS POLUENTES ATMOSFÉRICOS

É preciso distinguir entre poluentes e contaminantes. Quando uma substância na atmosfera atinge níveis de concentração cujos efeitos podem ser prejudiciais ao homem, às plantas e aos animais, ou causam danos materiais, esta substância é considerada um poluente (Bibbero e Young, 1974). O contaminante por outro lado, é toda substância adicionada ao ar que provoca desvio da sua média global na atmosfera, não causando danos imediatos ao meio ambiente ou ao homem.

Os poluentes podem ser classificados de duas maneiras, segundo sua origem:

- *Poluentes primários* - são originados das próprias fontes emissores.
- *Poluentes secundários* - originados de reações dos poluentes primários na atmosfera.

Os poluentes principais e mais comumente medidos são: dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), dióxido de enxofre (SO_2), material particulado (MP), ozônio (O_3), óxidos de nitrogênio (NO_x). Suas características básicas estão descritas no texto que se segue, assim como na Tabela 1.1. Estudos detalhados destes poluentes e seus efeitos podem ser encontrados na literatura especializada (Urone, 1976; NATO, 1971).

Dióxido de carbono (CO_2) - As principais fontes de CO_2 são a respiração de plantas, decaimento de material orgânico e também a queima de combustíveis fósseis pelo homem. Esta fonte antropogênica parece estar sendo responsável pelo acentuado aumento deste elemento na atmosfera nos últimos quarenta anos (Bibbero e Young, 1974; Urone, 1976).

O CO_2 é considerado um contaminante, pois não é tóxico. Sua produção anual por fontes naturais é estimada em 1.0×10^{12} toneladas e o homem é responsável pela emissão de 1% deste total, como pode ser observado pela Tabela 1.1. Embora esta produção seja pequena, seus efeitos são muito discutidos. O CO_2 é um dos elementos que contribui para o chamado "efeito estufa", no qual a radiação de ondas longas emitida pela superfície da terra é grandemente absorvida pela atmosfera. Isto provoca um aumento na temperatura média da terra, havendo a preocupação de que emissões descontroladas de CO_2 venham a aumentar este efeito trazendo conseqüências desastrosas para o planeta. Não existem ainda conclusões definitivas sobre a extensão destes efeitos. Os recentes trabalhos de Woodwell et alii (1983), Seidel e Keyes (1983) e NRC (1983) abordam este tema com profundidade.

Monóxido de carbono (CO) - Uma das principais fontes de monóxido de carbono é o processo de combustão devido principalmente a automóveis. O CO é um gás incolor e sem cheiro, ligeiramente mais leve que o ar e capaz de provocar asfixia. A Tabela 1.2 compara as fontes de emissão de CO naturais e pelo homem. Observa-se que o homem contribui com 79% das emissões se for considerada a produção normal por sifonóforos, um organismo marinho que vive em colônias. O CO é responsável por altas concentrações de poluentes em centros urbanos devido ao crescente número de automóveis nestas regiões (Nato, 1982; Bibbero e Young, 1974).

TABELA 1.1

CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS DOS POLUENTES

POLUENTE	PRINCIPAL FONTE ANTROPOGÊNICA	FONTE NATURAL	EMIÇÃO GLOBAL TOTAL ton/ano	% CAUSADA PELO HOMEM	CONCENTRAÇÃO DE FUNDO	TEMPO DE RESIDÊNCIA	SUMIDOUROS
SO ₂	Queima de combustíveis fósseis	Vulcões	146x10 ⁶	100	0,2ppb	4 dias	Oxidação para SO ₄ ²⁻ precipitação em chuva
H ₂ S	Indústria Química, tratamento de esgotos	Vulcões, ação biológica em pântanos	103x10 ⁶	3	0,2ppb	2 dias	Oxidação para SO ₂
N ₂ O	Nenhuma	Decaimento biológico	590x10 ⁶	0	0,25ppm	4 anos	Fotodissociação na estratosfera e biológica no solo
NO-NO ₂	Combustão a alta temperatura	Ação bacteriana no solo	1.141x10 ⁶	0,5	NO 0,2-2ppb NO ₂ 0,5-4ppb	5 dias	Oxidação para NO ₃ após contato com aerossóis em presença de luz e hidrocarbonetos (HC)
NH ₄	Tratamento de lixo	Decaimento biológico	1.164x10 ⁶	0,3	6-20ppb	7 dias	Reação com SO ₂ para formar (NH ₄) ₂ SO ₄
CO ₂	Combustão	Respiração, decaimento, liberação do oceano	1.014x10 ¹²	1,4	320ppm	2-4 anos	Fotossíntese, oceanos
CO	Combustão	Incêndios florestais, reações de terpeno, oceanos	349x10 ⁶	79	0,1ppm	< 3 anos	Nenhum comprovado
HC	Combustão, Indústria Química	Processos biológicos	1.916x10 ⁶	7,6	CH ₄ 1,5ppm sem CH ₄ < 1ppb	2,9 anos (CH ₄)	Sem CH ₄ : fotoquímica Com HO-H ₂ O

Adaptada de Bibbero e Young (1974)

TABELA 1.2

FONTES DE EMISSÃO DE CO

ANTROPOGÊNICA		NATURAL		TOTAL
FONTE	EMISSION (TON/ANO)	FONTE	EMISSION (TON/ANO)	
Gasolina	193 x 10 ⁶	Incêndio em Florestas	11 x 10 ⁶	
Carvão	12 x 10 ⁶	Sifonóforos	360 x 10 ⁶ máxima 4 x 10 ⁶ normal	
Combustível não-comercial	44 x 10 ⁶	Reações com terpeno	60 x 10 ⁶	
Incineração	25 x 10 ⁶			
Total	274 x 10 ⁶		75 x 10 ⁶ a 431 x 10 ⁶ b	349 x 10 ⁶ a 705 x 10 ⁶ b
% do total	79 a 39 b		21 a 61 b	

a - Produção normal de CO por sifonóforos

b - Produção máxima de CO por sifonóforos

Adaptada de Bibbero e Young (1974).

Dióxido de enxofre (SO₂) - É considerado um dos mais importantes poluentes por provocar problemas respiratórios e irritabilidade, sendo responsável por vários episódios de poluição de grande repercussão como o de Londres em 1952, citado na Seção 1.1. É um gás incolor de cheiro desagradável e pode ser detectado por algumas pessoas em concentrações de 0,3 a 1,0 ppm. Inúmeros estudos mostram que o SO₂ reage ao oxigênio na atmosfera originando o trióxido de enxofre (SO₃) (NATO, 1971a - por exemplo). O SO₃ na presença de concentração suficiente de vapor de água combina com este para formar névoa de ácido sulfúrico (H₂SO₄). Este, sendo capturado por núcleos higroscópicos, mantém-se em suspensão no ar e contribui para a redução da visibilidade atmosférica.

Outro efeito do ácido sulfúrico na atmosfera é o aumento da acidez da água da chuva. Este efeito conhecido como chuva ácida tem sido observado em todo o mundo nos últimos anos. No Brasil foi constatada a presença de chuva ácida em Cubatão (Guerrini, 1982; Nordemann et alii, 1983). Vários estudos têm sido realizados para verificar os efeitos da chuva ácida no solo, na vegetação e em ecossistemas aquáticos (Johnson et alii, 1982; Glass et alii, 1979). Teme-se que tais efeitos possam prejudicar direta ou indiretamente o homem.

Quase um terço do enxofre emitido na atmosfera origina-se do SO_2 e, pelo menos, 69% deste enxofre era emitido no Hemisfério Norte até 1974, como mostra a Tabela 1.3. O homem contribui com quase 100% da produção de SO_2 (Tabela 1.1). Deste total 20% é devido à indústria petroquímica, como ilustra a Tabela 1.4.

TABELA 1.3

EMIÇÃO GLOBAL DE ENXOFRE POR HEMISFÉRIO, 10^6 ton/ano

FONTE DE ENXOFRE	TOTAL COMO S	HEMISFÉRIO NORTE	HEMISFÉRIO SUL	% PRODUZIDA PELO H.N.
SO_2 PRODUZIDO PELO HOMEM	73	68	5	93
H_2S BIOLÓGICO CONTINENTE	68	49	19	72
MARÍTIMO	30	13	17	43
SPRAY MARINHO	44	19	25	43
TOTAL	215	149	66	69

Adaptada de Bibbero e Young (1974).

Robinson e Robbins (1974) estimaram a produção de SO_2 desde 1860 até o ano 2000. Para o cálculo da produção atual até o ano 2000, eles supuseram que o conteúdo de enxofre será mantido constante nos combustíveis e que a emissão de SO_2 não será controlada. Os resultados são apresentados nas Figuras 1.1 e 1.2. Como mostra a Figura 1.2,

a emissão estimada de SO₂ para o ano 2000 é em torno do dobro do valor para 1965, ano no qual o cálculo foi baseado.

TABELA 1.4

FONTES DE EMISSÃO ANUAL DE SO₂

FONTE DE ENXOFRE	CONSUMO OU PRODUÇÃO/ANO	FATOR DE SO ₂	EMIÇÃO DE SO ₂ , 10 ⁶ ton/ano	SUBTOTAL	% DO TOTAL
Carvão	3074 x 10 ⁶ ton	3,3ton/100ton		102	70
Combustão de petróleo:					
Gasolina	379 x 10 ⁶ ton	9 x 10 ⁻⁴ ton/ton	0,3		
Querosene	100 x 10 ⁶ ton	24 x 10 ⁻⁴ ton/ton	0,2		
Destilado	287 x 10 ⁶ ton	70 x 10 ⁻⁴ ton/ton	2,0		
Residual	507 x 10 ⁶ ton	400 x 10 ⁻⁴ ton/ton	20,3	22,8	15
Refinamento de petróleo	11.317 x 10 ⁶ barris	50ton/10 ⁵ barriil		5,7	4
Fundição					
Cobre	6,45 x 10 ⁶ ton	2,0ton/ton	12,9		
Chumbo	3,0 x 10 ⁶ ton	0,5ton/ton	1,5		
Zinco	4,4 x 10 ⁶ ton	0,3ton/ton	1,3	15,7	11
Total				146,2 x 10 ⁶ ton	

Adaptada de Bibbero e Young (1974).

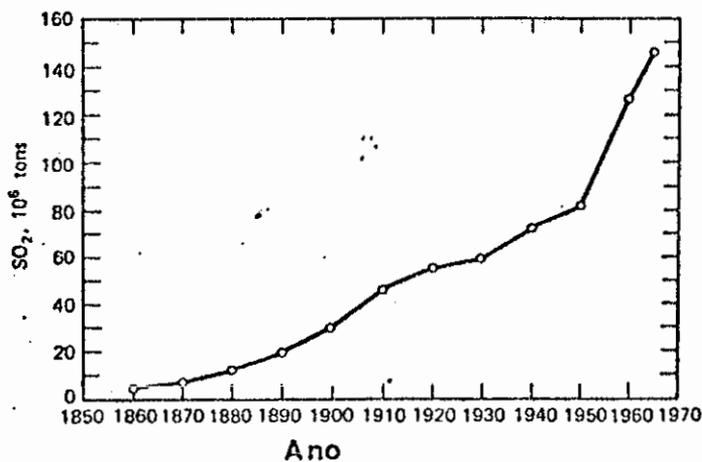


Fig. 1.1 - Estimativa da emissão de SO₂ de 1860 a 1970.

FONTE: Bibbero e Young (1974).

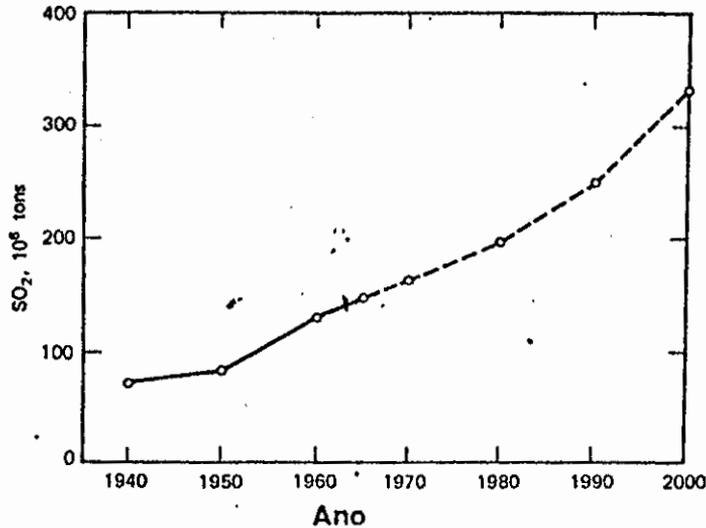


Fig. 1.2 - Estimativa da emissão global de SO₂ até o ano 2000, com base nas emissões de 1965.

FONTE: Bibbero e Young, 1974.

Material particulado (MP) -- ou aerossol são partículas sólidas ou líquidas, cujo diâmetro varia de 0,1 μ m a não mais que 500 μ m. Suas principais fontes naturais são tempestades de areia em áreas de sertas, reações fotoquímicas entre gases como SO₂, H₂S, NH₃ e O₃ ou O e também emissões vulcânicas. As principais fontes antropogênicas são: partículas de fumaça originadas da queima de combustíveis sólidos ou líquidos: sais de chumbo devido à combustão de gasolina que contém chumbo; poeira (partículas com diâmetro de 10 μ m a 100 μ m), originada de indústrias metalúrgicas, de cimento, armazenamento de grãos, etc.; e partículas formadas pela queima de papéis e por resíduos de matéria vegetal e lixo, comum em áreas urbanas (Detwyler, 1971).

Dependendo de suas características, tamanho e concentração, as partículas em suspensão reduzem a radiação solar que alcança a superfície. Tal efeito afeta tanto a vegetação quanto as atividades humanas. A redução de visibilidade que leva às vezes ao fechamento de aeroportos ou a cor avermelhada do pôr do sol são os efeitos mais comumente sentidos pelo homem. Outros efeitos decorrem de sua deposição em superfícies. Por um lado pode existir o desgaste de materiais pela cons

tante remoção destas partículas e, por outro, a corrosão devido à sua capacidade de absorver substâncias corrosivas (Nato, 1971b).

Dióxido de Nitrogênio (NO_2) – É o mais comum dos óxidos de nitrogênio, sendo formado pela oxidação do óxido de nitrogênio (NO) no ar. Sua emissão pelo homem é devida a atividades industriais em áreas urbanas e representa 0,5% de sua produção total. O NO_2 é um gás com odor irritante (Urone, 1976). Ele reage ao absorver luz solar incidente originando oxigênio atômico que, por sua vez, forma ozônio.

Ozônio (O_3) – É um gás azulado produzido naturalmente na estratosfera. Ele absorve fortemente a radiação solar incidente na região de 2000 a 3500 Å, permitindo a vida na superfície do planeta. Em zonas rurais livres de poluição, sua concentração é aproximadamente 0,02ppm (Urone, 1976). Para evitar danos à saúde humana, estabeleceu-se que sua concentração máxima horária não deve passar de 0,08ppm.

Muitos outros poluentes não-citados neste trabalho são também importantes com relação a seus efeitos no meio ambiente; as referências já citadas poderão ser consultadas para informações adicionais. A sua omissão visa apenas reduzir o texto.

1.3 - ASPECTOS DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA NO BRASIL

O aumento nestes últimos 30 anos do complexo industrial brasileiro e o crescimento de centros urbanos levaram o Brasil a se envolver com os problemas causados pela poluição ambiental que já atinge as regiões mais industrializadas do País. Em 1952, na cidade de Bauru, SP, houve o aparecimento de 150 casos de doenças respiratórias agudas provocadas por alergias a pó de mamona usada na fabricação de óleo (CETESB, 1977).

Os principais centros poluidores no Brasil localizam-se nas grandes áreas urbanas e industriais como São Paulo, Rio de Janeiro, Porto Alegre, Belo Horizonte, Salvador e outros. A Grande São Paulo,

SP, em particular, é sem dúvida a maior fonte de poluição do País. O exemplo mais conhecido no presente é Cubatão, talvez a cidade mais poluída do mundo, onde cerca de 75 poluentes emitidos na atmosfera pelas maiores indústrias do País causam sérios danos à saúde da população, como a suposta ocorrência de deformação em crianças (anencefalia). Além disto, Cubatão apresenta o maior índice de mortalidade infantil do Estado de São Paulo, com 72 óbitos para cada 1000 crianças nos primeiros meses de vida (Vale da Morte, 1984, Guerrini, 1982).

Em maio, agosto e setembro de 1984 Cubatão esteve sob "estado de emergência" em função da alta concentração dos poluentes sobre a cidade, agravada pelas condições meteorológicas desfavoráveis à sua dispersão. Episódios como estes têm motivado pesquisadores brasileiros a estudarem causas, características e efeitos da poluição atmosférica.

Orsini et alii (1983) mediram a concentração de particulados em Juréia (SP), Vitória (ES), Porto Alegre (RS) e Salvador (BA). Em Porto Alegre, por exemplo, foram detetadas concentrações de particulados que mostram a influência do homem na emissão de elementos como enxofre, silício e ferro originados provavelmente da queima de óleos combustíveis e de indústrias siderúrgicas.

Na Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), constituída por 14 municípios incluindo Belo Horizonte, observou-se no período de 1978 a 1981 que a concentração média de partículas sedimentáveis (diâmetro superior a $10\mu\text{m}$) foi de $35,4 \text{ g/m}^2/\text{mês}$. Segundo Nunes (1982) este valor está 3,5 vezes acima do valor padrão para áreas industriais, estabelecido pela Comissão de Política Ambiental do Estado de Minas Gerais (COPAM). A origem destas partículas parece decorrer da grande atividade industrial e do intenso tráfego nos principais municípios que constituem a RMBH, como Belo Horizonte, Contagem e Betim.

Trindade et alii (1981) mediram concentrações de partículas em suspensão e de diversos metais como Pb, Cu, K, Na e outros em

dois locais na cidade do Rio de Janeiro, no período de agosto de 1975 a abril de 1978. Eles analisaram as variações sazonais destes elementos levando em conta parâmetros meteorológicos e algumas fontes emissoras importantes, como incineração de lixo e tráfego de automóveis.

Concentrações de cobre e chumbo foram observadas em Recife provenientes, principalmente, da gasolina de automóveis e de lonas de freio de ônibus e caminhões (Costa, 1980). Sabe-se que o cobre e o chumbo em altas concentrações são elementos tóxicos.

Em São Paulo, a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) realizou de 1975 a 1976 uma operação cujo objetivo foi determinar as fontes de poluição do ar na região da Grande São Paulo (Oliveira e Santos, 1977). Foram visitadas 29.694 indústrias na região da Grande São Paulo, das quais 11.282 foram consideradas fontes potencialmente poluidoras. Foram também investigados 2.959 estabelecimentos não-industriais (postos de gasolina, hospitais e padarias) que apresentaram fontes emissoras de poluentes para a atmosfera. Isto totalizou 14.241 fontes poluidoras estacionárias. Foram consideradas ainda as fontes poluidoras móveis a partir de dados do Departamento de Trânsito, e estas totalizaram 1.428.000 veículos (automóveis, veículos comerciais leves, caminhões a gasolina e a diesel e ônibus a diesel). Outras fontes consideradas emissoras de poluentes foram a queima de resíduos sólidos e a poeira fugitiva causada pelo tráfego de automóveis em ruas sem asfalto, áreas de construção civil e obras de pavimentação. Os dados para estas outras fontes foram fornecidos pelas prefeituras dos municípios da Grande São Paulo para o ano de 1976. Os resultados resumidos nas Tabelas 1.5, 1.6 e 1.7 mostram que os principais poluentes emitidos na atmosfera da Grande São Paulo são MP, SO_x, CO, NO_x e hidrocarbonetos (HC). Estes elementos são emitidos na atmosfera numa taxa de aproximadamente 7.000 ton/dia. Deste total aproximadamente 13% são óxidos de enxofre, 7% material particulado e 65% monóxido de carbono. Estes poluentes por sua vez são emitidos principalmente na queima de combustível em fontes estacionárias, processos industriais e veículos a gasolina, respectivamente.

TABELA 1.5

FONTES DE EMISSÃO DE POLUENTES NA REGIÃO
DA GRANDE SÃO PAULO (ton/dia)

POLUENTE / FONTE	MP		SO ₂		CO		NO _x		HC	
	t/dia	% do total	t/dia	% do total	t/dia	% do total	t/dia	% do total	t/dia	% do total
Processos e operações Industriais	319	65	25	3	101	2	DESP (1)	—	132	18
Queima de combustível em fontes estacionárias	57	12	810	88	52	1	85	25	8	1
Veículos diesel	10	2	57	6	163	3	111	32	27	4
Veículos a gasolina	23	5	31	3	4268	91	142	41	504	68
Queima de resíduos sólidos	32	6	1	DESP (1)	120	3	7	2	39	5
Outros (2)	51	10	—	—	—	—	—	—	27	4
TOTAL	493	100	924	100	4704	100	345	100	737	100

(1) Desprezível

(2) Outras fontes incluem: comercialização de material volátil e fontes de poeiras fugitivas (tráfego em ruas sem asfalto, construção civil e obras de pavimentação).

FONTE: Oliveira e Santos (1977).

TABELA 1.6

PROCESSOS DE EMISSÃO DE POLUENTES NA GRANDE SÃO PAULO (ton/dia)

POLUENTES ATIVIDADES	NÚMERO DE ESTABE- LECÍ- MENTOS	MP		SO _x		CO		NO _x		HC	
		ton/dia	% do total	ton/dia	% do total	ton/dia	% do total	ton/dia	% do total	ton/dia	% do total
Metalúrgica	3169	65	17	187	22	116	76	19	23	23	16
Química	494	66	18	159	19	2	1	10	12	21	15
Minerais não metálicos	844	181	48	152	18	2	1	17	20	3	2
Textil	582	5	1	137	17	1	1	12	14	13	9
Produtos alimentícios	2093	18	5	53	6	1	1	7	8	1	1
Material de transporte	415	5	1	46	6	6	4	9	11	13	9
Papel e papelão	145	1	DESP (1)	34	4	DESP (1)	DESP (1)	2	2	1	1
Incineradores municipais	3	12	3	—	—	12	8	—	—	DESP (1)	DESP (1)
Material elétrico e de comunicações	490	2	1	18	2	2	1	2	2	10	7
Comercialização de prod. voláteis	1981	—	—	—	—	—	—	—	—	29	21
Mecânica	844	DESP (1)	DESP (1)	4	1	1	1	DESP (1)	DESP (1)	8	6
Outros	3157	21	6	45	5	10	6	7	8	18	13
TOTAL	14217	376	100	835	100	153	100	85	100	140	100

(1) Desprezível

FONTE: Oliveira e Santos (1977).

TABELA 1.7

EMIÇÃO DE POLUENTES DEVIDO A FONTES MÓVEIS NA
REGIÃO DA GRANDE SÃO PAULO (ton/dia)

TIPO DE VEÍCULO	MP		SO _x		CO		NO _x		HC	
	GSP	MSP	GSP	MSP	GSP	MSP	GSP	MSP	GSP	MSP
Automóveis e comerciais leves	18	15	26	21	3032	2469	126	102	330	270
Caminhões (gasolina)	3	2	5	3	550	338	16	10	109	69
Caminhões (diesel)	6	3	36	22	96	58	70	42	15	9
Ônibus (diesel)	3	2	21	14	40	26	41	27	8	5
Total	30	22	88	60	3718	2891	253	181	462	353

GSP - Grande São Paulo

MSP - Município de São Paulo

FONTE: Oliveira e Santos (1977).

1.4 - A POLUIÇÃO EM ÁREAS REMOTAS: ANTÁRTICA

Outra situação que tem preocupado pesquisadores de todo o mundo é a contaminação de áreas remotas como a Antártica e o Ártico por poluentes emitidos pelo homem. Pesquisadores como Hogan (1975), Hogan e Barnard (1978) e Robinson et alii (1983) mediram concentrações de aerossóis no Continente Antártico. Eles observaram que os principais aerossóis encontrados nesta região provêm de sais minerais, de reações biológicas e de erupções vulcânicas. Os aerossóis na Antártica são tomados como indicadores de concentração de fundo, uma vez que se supõe que eles estejam livres de impurezas provocadas pelo homem (Hogan, 1975). O mesmo deveria ocorrer no Ártico.

No entanto, Heidam (1984) detetou aerossóis no Ártico que provavelmente tenham origem em áreas industriais na Europa e nos Estados Unidos. Isto se deve ao fato dos poluentes emitidos na atmosfera

ra, pelo homem, poderem ser transportados a longas distâncias dependem do escoamento da atmosfera. Por outro lado, Boutron (1982) ao medir traços de metais depositados na neve no Continente Antártico observou que a concentração de Pb apresentou aumento significativo a partir de 1960. Uma das hipóteses para explicar este aumento é que ele tenha se originado da contaminação local através das estações de pesquisa instaladas na Antártica. Boutron propôs também ser possível que tal aumento seja devido ao transporte dos poluentes industriais através de longas distâncias na atmosfera, e que poderiam estar atingindo desta forma a região da Antártica, como já foi sugerido por Murozumi et alii (1969) e Ng e Patterson (1981). Além disto, efeitos como a variação do nível dos oceanos em resposta à diminuição da camada de gelo antártico devido ao aumento de CO₂ na atmosfera têm sido investigados (Oerlemans, 1982).

Weber (1984) coletou amostras de ar durante as expedições brasileiras à Antártica no verão de 1983 e 1984. Tais amostras foram analisadas com respeito ao teor de DDTs e PCBs para avaliar a ocorrência destes compostos na atmosfera de parte dos Oceanos Atlântico Sul e Antártico. Ele constatou que embora tenham sido encontrados níveis extremamente baixos destes elementos, há evidência de que tais compostos, usados em programas de controle sanitário e agrícola no Hemisfério Sul, podem estar sendo introduzidos nos Oceanos Atlântico Sul e Antártico através de sistemas atmosféricos de larga escala.

Portanto, existe a necessidade de pesquisas que avaliem os possíveis efeitos dos poluentes originados da industrialização do Continente Sul-americano nestas regiões remotas do planeta. Também deve ser concentrada a atenção nos efeitos da presença do homem em tais regiões através de estações de pesquisa instaladas no Continente Antártico, para que ele e seus habitantes naturais possam ser preservados.

No início de 1985, como parte da terceira Operação Antártica Brasileira, está prevista a coleta de precipitação e de aerossóis na Ilha Rei George; espera-se também que este estudo incentive um tra

balho que visa o monitoramento de poluentes a longo prazo na Região Antártica (Setzer, 1984).

Os exemplos citados neste capítulo mostram a real necessidade de desenvolver pesquisas sobre as causas e consequências da poluição ambiental. Estas pesquisas não podem prescindir de estudos sobre as situações meteorológicas que contribuem para as condições de dispersão dos poluentes, bem como de modelos adequados para a previsão de tais situações.

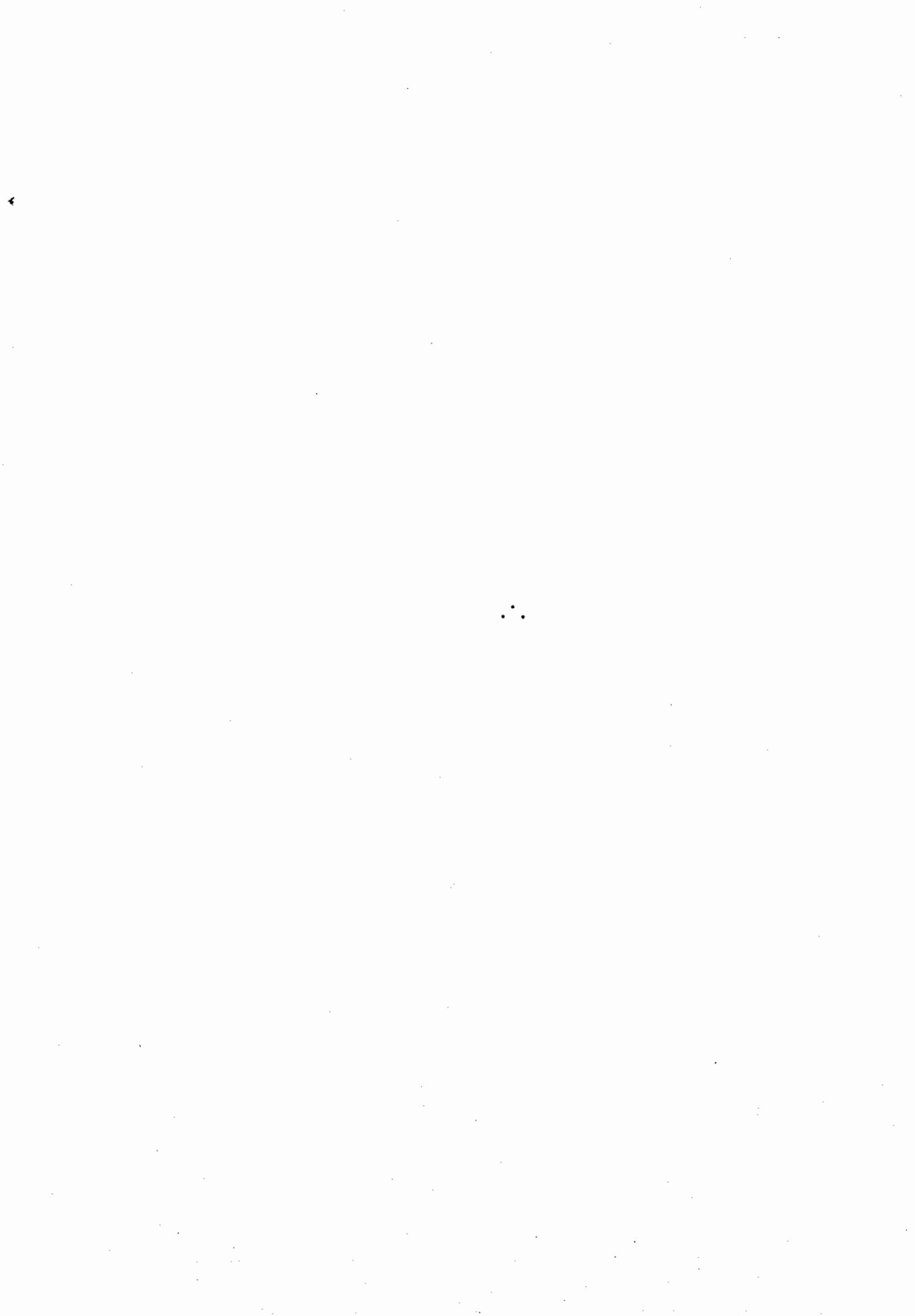
1.5 - OBJETIVO

Este trabalho tem por objetivo caracterizar os fatores sinótico-meteorológicos que influenciam a dispersão dos poluentes atmosféricos, com a finalidade de dar subsídios para a elaboração de um modelo que possa prever o potencial de poluição em áreas urbanas na Região Sul do País.

Para tanto, foram utilizados índices diários de poluição do ar emitidos pela CETESB para a região da Grande São Paulo no período de 1979 a 1982. Estes índices foram relacionados com a presença ou não, no mesmo período, de frentes e anticiclones em superfície e com o escoamento da atmosfera no ar superior. Os índices de 1983 foram usados para testar as conclusões obtidas no período de estudo.

Pretendeu-se deste modo relacionar o aspecto das configurações sinóticas com os níveis de poluição observados na região da Grande São Paulo, enfatizando assim a importância da influência destes parâmetros meteorológicos da escala sinótica na previsão do potencial de poluição do ar.

Cabe ressaltar que as condições de dispersão, do ponto de vista sinótico, refletem a estabilidade da atmosfera. Portanto, as conclusões deste estudo são também de grande importância para inúmeros outros fenômenos relacionados com a estagnação atmosférica.



CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Vários autores têm mostrado que condições meteorológicas influenciam a dispersão de poluentes emitidos na atmosfera. Tais condições são a estabilidade estática da atmosfera, altura de mistura, umidade relativa do ar, inversão térmica, e velocidade e direção do vento. Cada um destes parâmetros tem sido estudado e equações empíricas, em sua maioria, foram propostas relacionando-os com as condições de dispersão (Holzworth, 1974; Munn et alii, 1972).

A altura de mistura, um dos parâmetros mais analisados, indica a espessura da troposfera em que os poluentes ficam confinados. Ela é definida como a altura aproximada que vai do solo até a base da inversão de temperatura. Tal inversão pode ser devida a movimento subsidente do ar acima da superfície, à perda radiativa ou à advecção de ar quente sobre uma camada de ar relativamente mais fria. Tal inversão de temperatura depende da estabilidade estática da atmosfera na camada onde ela é observada. Se a inversão de temperatura é encontrada muito próxima à superfície, a altura de mistura será pequena e os poluentes ficarão confinados a uma região próxima do solo. Esta situação associada a ventos fracos pode causar episódios de altos níveis de poluição. Outra situação que pode provocar alta concentração dos poluentes é a presença de um perfil superadiabático ($> 10^{\circ}\text{C}/\text{km}$) da atmosfera próximo à superfície. Tal perfil caracteriza uma atmosfera altamente estável que inibe a mistura vertical do ar e, conseqüentemente, a dispersão dos poluentes (Hanna et alii, 1982).

Neste trabalho, considerar-se-ão estas duas situações que determinam a altura a partir da superfície, na qual os poluentes são dispersos. A esta camada da atmosfera denominar-se-á camada de instabilidade. Assim, quanto menor esta camada de instabilidade menor a

altura, a partir da superfície, na qual os poluentes poderão ser dispersos.

Estas situações de estabilidade podem ser analisadas considerando fenômenos micrometeorológicos (escala local) ou sistemas de larga escala (sinóticos) que originam situações de estagnação atmosférica.

2.2 - ESCALA SINÓTICA

Do ponto de vista da escala sinótica, que é o objetivo de análise deste trabalho, a poluição atmosférica é analisada considerando os sistemas capazes de provocarem situações de estagnação atmosférica que, por sua vez, propiciam o acúmulo dos poluentes nos baixos níveis da atmosfera.

2.2.1 - A ESTAGNAÇÃO ATMOSFÉRICA - CAUSAS E CONSEQÜÊNCIAS

Estagnação atmosférica é uma expressão usada para indicar as condições meteorológicas que favorecem a alta concentração de poluentes próximo à superfície. Vários estudos que analisam episódios de poluição, principalmente nos Estados Unidos, têm mostrado que estas condições resultam de ventos relativamente fracos em superfície e em 500mb associados com subsidência. Estas condições estão geralmente relacionadas com anticiclones frios estacionários em superfície, associados a cristas quentes nos altos níveis. Alguns autores (ver Seção 2.2.2) têm mostrado que, principalmente no inverno, esta situação de estagnação ocorre após a passagem de uma frente fria, seguida de um anticiclone frio. Este sistema caracterizado por subsidência origina céu claro, livre de nuvens. Esta situação, acrescida de ventos fracos e do resfriamento da superfície pela perda radiativa à noite, provoca inversões térmicas, quando se forma uma camada de ar frio próxima à superfície com ar relativamente quente acima desta, devido à subsidência. Esta situação inibe a mistura vertical do ar originando uma atmosfera altamente estável e com umidade relativa baixa. Estes sistemas movem-se

lentamente e, associados a uma crista quente em altos níveis, podem permanecer estacionários por alguns dias sobre uma certa região (Petterssen, 1940; Haurwitz, 1941; Palmén e Newton, 1969).

Holzworth (1962) estudou a ocorrência destes anticiclones estacionários em superfície associados a cristas quentes em altos níveis no oeste dos Estados Unidos, durante um período de 8 anos (1949-1956). Ele utilizou cartas sinóticas diárias e considerou apenas os episódios que duraram no mínimo 2 dias, cuja alta em superfície não se deslocou mais do que 5° de latitude por dia, além de apresentar várias isóbaras fechadas. O resultado é mostrado na Figura 2.1, onde se observa que a maior parte dos centros dos anticiclones encontra-se sobre a área continental. Também verificou-se que o maior número de anticiclones estacionários ocorreu no período de inverno.

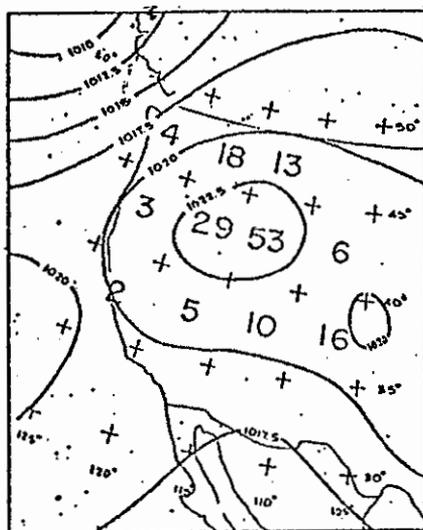


Fig. 2.1 - Frequência de ocorrência de centros de anticiclones no oeste dos Estados Unidos, no período de 1949 a 1956.

FONTE: Holzworth (1962).

Se a região afetada pelo anticiclone estacionário contém fontes que emitem poluentes continuamente, estes permanecerão confinados dentro de uma altura de mistura baixa devido à forte subsidência. Os ventos fracos inibem sua dispersão e a estacionaridade do anticiclone permite o acúmulo dos poluentes na região. Esta situação foi observada nos estudos de episódios de poluição, que estão citados na Seção 2.2.2.

Além do exposto acima, segundo Holzworth (1974), é preciso considerar que as condições de estagnação atmosférica estão também relacionadas com os efeitos de escala local como, por exemplo, a interação entre as fontes emissoras e o microclima da região.

2.2.2 - PREVISÃO DE POTENCIAL DE POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA EM LATITUDES MÉDIAS

Na década de 60 alguns trabalhos foram desenvolvidos com o propósito de determinar as condições meteorológicas relacionadas com episódios de potencial de poluição. Niemeyer (1960) estabeleceu que os parâmetros meteorológicos a serem observados para caracterizar as condições de estabilidade associadas a episódios severos de poluição são: ventos em superfície menores que 4m/s; ventos menores que 13m/s em qualquer nível abaixo de 500mb; presença de subsidência abaixo de 600mb; e persistência destas condições por 36 horas ou mais.

Estas condições são observadas quando ocorre a presença de um anticiclone frio na região analisada, associado a uma crista quente em altos níveis.

Niemeyer analisou 6 episódios de alta concentração de poluentes na parte leste dos Estados Unidos, no período do outono de 1957 e 1958. Ele usou em suas análises cartas de superfície de 850mb, 700mb e 500mb, além de radiossondagens. As medidas de qualidade do ar foram feitas quando os critérios acima citados eram evidentes. Foi constatado na maioria dos casos a presença de inversões noturnas e subsidência, crista no ar superior associada com a alta em superfície, além

de ventos calmos. A Figura 2.2 mostra o resultado de um dos casos analisados por Niemeyer. Durante este período, a região analisada esteve sobre a influência de um anticiclone polar que se moveu lentamente. Associado a ele foi observada uma crista bem definida em altos níveis como pode ser visto na Figura 2.2. Estes sistemas foram acompanhados por ventos fracos, céu claro e inversões bem desenvolvidas com base na superfície. Resultados semelhantes foram encontrados por Holzworth (1962), Miller e Niemeyer (1963) e Miller (1964).

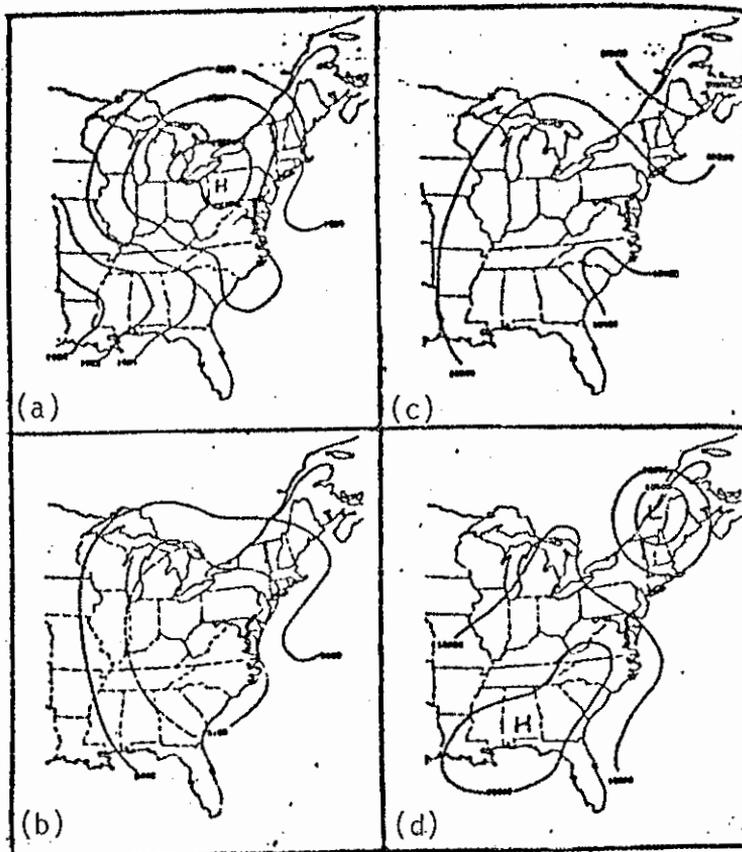


Fig. 2.2 - Cartas médias de geopotencial para o período de 11 a 15 de outubro de 1957 na porção leste dos Estados Unidos.

- a) ao nível do mar (mb), 0600TMG.
- b) geopotencial 850mb (pēs), 2400TMG.
- c) geopotencial 700mb (pēs), 2400TMG.
- d) geopotencial 500mb (pēs), 2400TMG.

FONTE: Niemeyer (1960).

Miller e Niemeyer (1963) desenvolveram um programa de previsão de situações de potencial de poluição atmosférica testado na parte leste dos Estados Unidos, entre agosto de 1960 e julho de 1961. Os alertas de previsão de poluição foram dados quando eram previstas condições de estagnação atmosférica, ou seja, anticiclone frio estacionário sobre a região associado a uma crista quente nos altos níveis, o que provoca, por sua vez, ventos calmos em superfície, ventos fracos em 500mb, céu claro, subsidência, e inversões térmicas, todas permanecendo pelo menos 36 horas. A Tabela 2.1 mostra o número de situações de estagnação observadas e a quantidade de alertas emitidos e verificados.

TABELA 2.1

PREVISÃO E VERIFICAÇÃO DE SITUAÇÕES DE ESTAGNAÇÃO ATMOSFÉRICA
DURANTE O PERÍODO DE AGOSTO DE 1960 A JULHO DE 1961

MÊS	A	B	C	D	E
Ago. 60	5	2	2	0	2
Set. 60	5	2	2	1	3
Out. 60	6	2	2	0	2
Nov. 60	6	2	2	2	4
Dez. 60	4	2	1	0	1
Jan. 61	6	2	1	2	3
Fev. 61	5	0	0	0	0
Mar. 61	5	0	0	1	1
Abr. 61	6	0	0	1	1
Mai. 61	5	0	0	0	0
Jun. 61	5	0	0	0	0
Jul. 61	4	0	0	1	1
TOTAL	62	12	10	8	18

A - Número total de anticiclones estudados

B - Número de casos de estagnação

C - Número de alertas de estagnação emitidos e verificados

D - Número de alertas de estagnação emitidos, mas não-verificados

E - Número total de alertas de estagnação emitidos.

Adaptada de Miller e Niemeyer (1963).

Estes estudos mostraram que a característica principal dos episódios de poluição analisados nos Estados Unidos é a presença de um anticiclone frio em superfície sobre a região afetada, associado a uma crista quente em altos níveis. Os episódios terminaram, geralmente, após a passagem de uma frente fria ativa seguida de um novo anticiclone frio, cuja massa polar a ele associado substituiu a massa de ar poluída. As Figuras 2.3 e 2.4 ilustram uma configuração típica para altas concentrações de poluentes observada por Holzworth (1962) sobre o Continente Americano.

Autores como Hall et alii (1973), Nudelman e Frizzola (1974), Vukovich (1979), Sheih et alii (1983) e outros têm analisado as condições atmosféricas necessárias ao transporte de grandes massas de poluentes a longas distâncias, e a influência de sistemas frontais em episódios de poluição.

Hall et alii (1973) analisaram um caso de transporte de poluentes atmosféricos em agosto de 1970. A Figura 2.5 mostra a área das fontes emissoras e a área de impacto, ou seja, a região afetada pelos poluentes transportados.

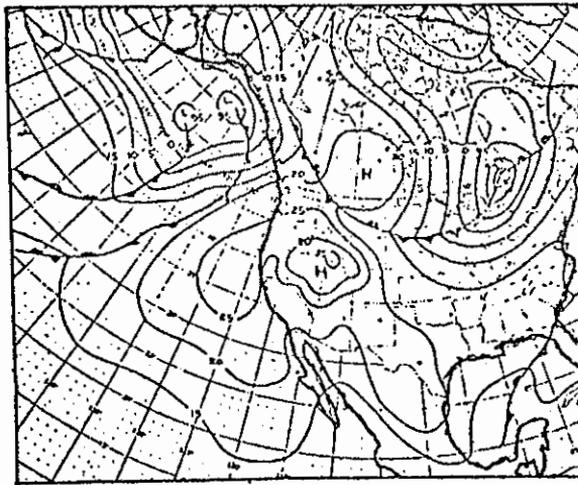
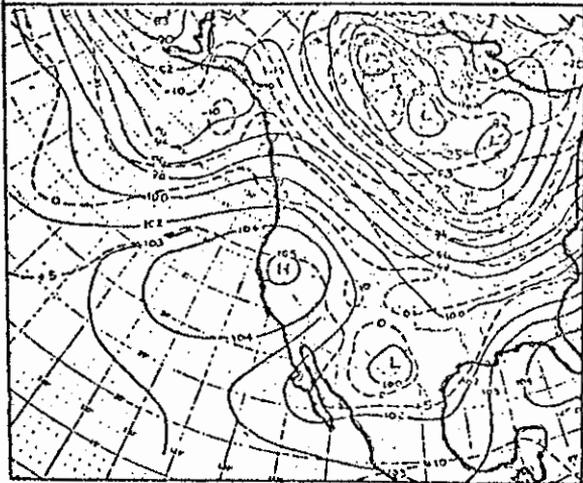


Fig. 2.3 - Carta isobárica ao nível do mar (mb), no dia 23 de novembro de 1957, às 2400TMG.

FONTE: Holzworth (1962).



— = geopotencial em centenas de p̄s.
- - - = isothermas em °C.

Fig. 2.4 - Carta para o n̄vel de 700mb, às 2400TMG, no dia 23 de novembro de 1957 na porção oeste dos Estados Unidos.

fonte. Holzworth (1962).

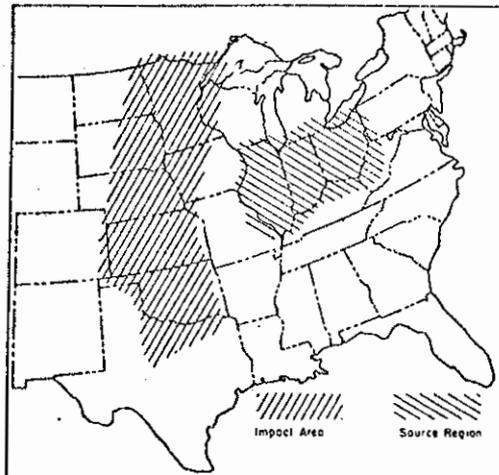


Fig. 2.5 - Área de impacto (////) e região das fontes emissoras (\\\\).

FONTE: Hall et alii (1973).

Os autores acima utilizaram cartas de 850mb e o método de visibilidade reduzida para determinar a área das fontes emissoras e a de impacto. Foi observado que, tanto na região de emissão quanto na área afetada, predominou durante todo o episódio um anticiclone em superfície, estacionário, que provocou alta estabilidade na atmosfera e redução da visibilidade. O episódio teve início no dia 5 de agosto,

quando o anticiclone associado à passagem de uma frente fria nos dias anteriores estacionou sobre a região das fontes emissoras, impedindo assim a maior dispersão dos poluentes. Ao se estender pelo interior do continente, o anticiclone propiciou o aumento da concentração dos poluentes de baixos níveis, os quais foram transportados até o oeste do estado do Texas. As Figuras 2.6 e 2.7 mostram, respectivamente, a configuração sinótica e o deslocamento da massa poluída de ar durante o episódio.

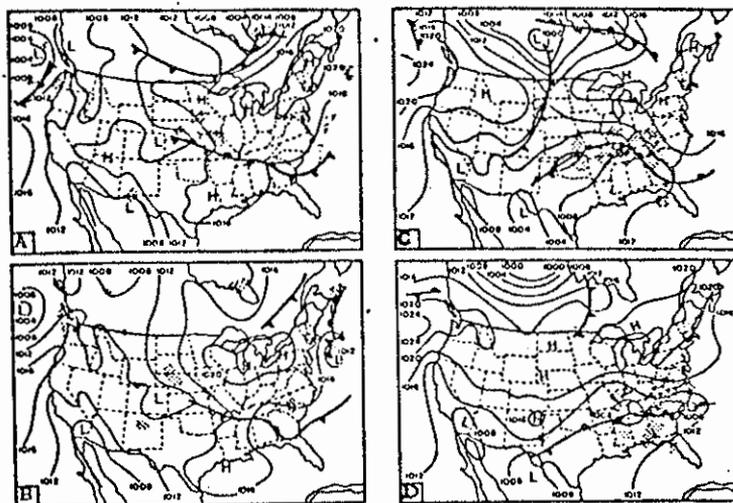


Fig. 2.6 - Análise ao nível do mar no período de 5 a 10 de agosto de 1970.

- a) 5 de agosto.
- b) 6 de agosto.
- c) 9 de agosto.
- d) 10 de agosto.

FONTE: Hall et alii (1973).

O episódio terminou com a passagem de uma nova frente fria entre 14 e 17 de agosto trazendo atrás de si um novo anticiclone frio que substituiu a massa de ar poluída por nova massa polar.

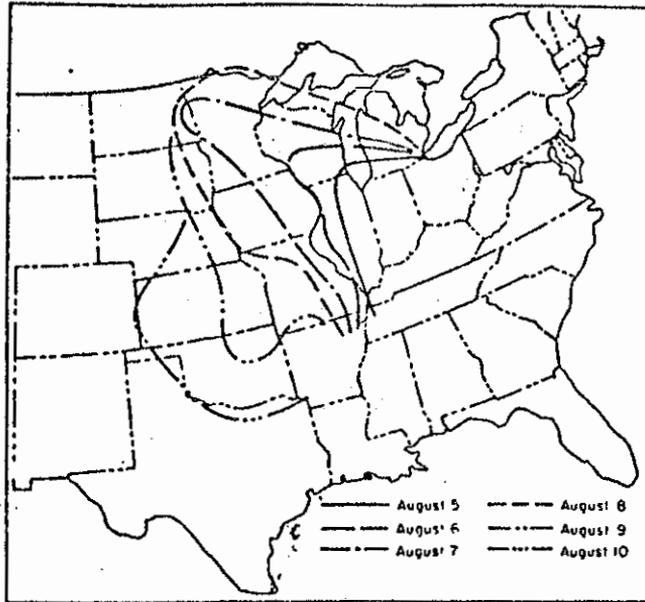


Fig. 2.7 - Posição da "frente de poluição" em intervalos de 24 horas, de 5 de agosto (1800TMG) a 10 de agosto (1800TMG).

FONTE: Hall et alii (1973).

Em janeiro de 1971 houve um episódio de alta concentração de poluentes na cidade de Nova York. Nudelman e Frizzola (1974) analisaram este episódio e verificaram que as condições meteorológicas relacionadas com ele não coincidiam com as descritas anteriormente. Neste episódio, as concentrações aumentaram associadas à oscilação de uma frente inativa, primeiramente como quente e depois como frente fria, sobre a região. A inatividade da frente quente ao se deslocar para o norte no dia 10 permitiu o aumento das concentrações devido à inversão térmica em baixos níveis associada com o fluxo causado pelo sistema frontal, e à estabilidade nos altos níveis em função de uma crista fraca. No dia 11 a frente passou novamente como fria por volta das 06 horas e a inversão térmica provocada pelo sistema frontal continuou permitindo o acúmulo dos poluentes. As concentrações diminuíram após a passagem de uma nova frente fria, desta vez ativa, que provocou a mistura do ar e conseqüente dispersão dos poluentes.

Este episódio levou esses autores a sugerirem que se considere também a atividade do sistema frontal sobre uma certa região onde há fontes emissoras, e sua interação com os ventos locais devido principalmente ao relevo da área.

2.2.3 - ESTUDOS FEITOS NO BRASIL

Pesquisadores brasileiros também têm analisado as condições meteorológicas relacionadas com a poluição atmosférica. Estes trabalhos são discutidos nesta seção.

Zanati et alii (1979) propuseram um sistema de previsão meteorológica aplicada à poluição do ar para a região da Grande São Paulo. Este sistema está baseado no sistema de previsão de poluição do ar desenvolvido pela Environmental Protection Agency (EPA), EUA. Tal sistema foi desenvolvido de acordo com as condições meteorológicas e as fontes de poluição do ar nos Estados Unidos. Zanatti e seus colaboradores atribuíram pesos (6 categorias entre "favorável e desfavorável") aos parâmetros locais e aos sistemas meteorológicos que influenciam a dispersão dos poluentes na região analisada. Estes parâmetros estão relacionados na Tabela 2.2.

Este sistema tem sido adotado na previsão de condições de dispersão de poluentes, publicada rotineiramente na imprensa paulista a partir dos boletins emitidos pela CETESB.

Setzer et alii (1980) desenvolveram um trabalho no qual foi verificada a influência das condições atmosféricas nos índices de poluição da Grande São Paulo. As condições meteorológicas consideradas foram a localização de frentes e anticiclones em relação a região analisada; pressão, umidade relativa, temperatura, precipitação, ventos e altura de mistura. Foram analisados os dados do ano de 1978, dando ênfase a um período de inverno e a um de verão. O critério de seleção dos níveis de poluição levava em conta os índices e sua percentagem de ocorrência na rede de amostragem. O Capítulo 3 deste trabalho explora também esta metodologia, tornando-a mais abrangente em função do

estudo de outros níveis da troposfera, e de um período de tempo mais longo. Os resultados obtidos no trabalho acima citado estão resumidos nas Figuras 2.8 e 2.9.

TABELA 2.2

PARÂMETROS METEOROLÓGICOS CONSIDERADOS NA ANÁLISE DE CONDIÇÕES
DE DISPERSÃO DE POLUENTES

Perfil de Pressão de Superfície	Foto do Satélite Mapas 700mb	Índice Showalter	Foto do Satélite Mapas 500mb	Foto do Satélite Análise de Superfície	Mapas 500mb 300mb 250mb	Análise de Superfície	Radio-sonda
Brisa Marítima	Vento	Estabilidade ou Instabilidade	Frentes	Nuvens Tipo e Quantidade	Tendência de Pressão	Vento	Inversão Altura e Espessura

Resumo:

LEGENDA

- | | |
|---------------------------|------------------------|
| a) altamente desfavorável | d) levemente favorável |
| b) desfavorável | e) favorável |
| c) levemente desfavorável | f) altamente favorável |

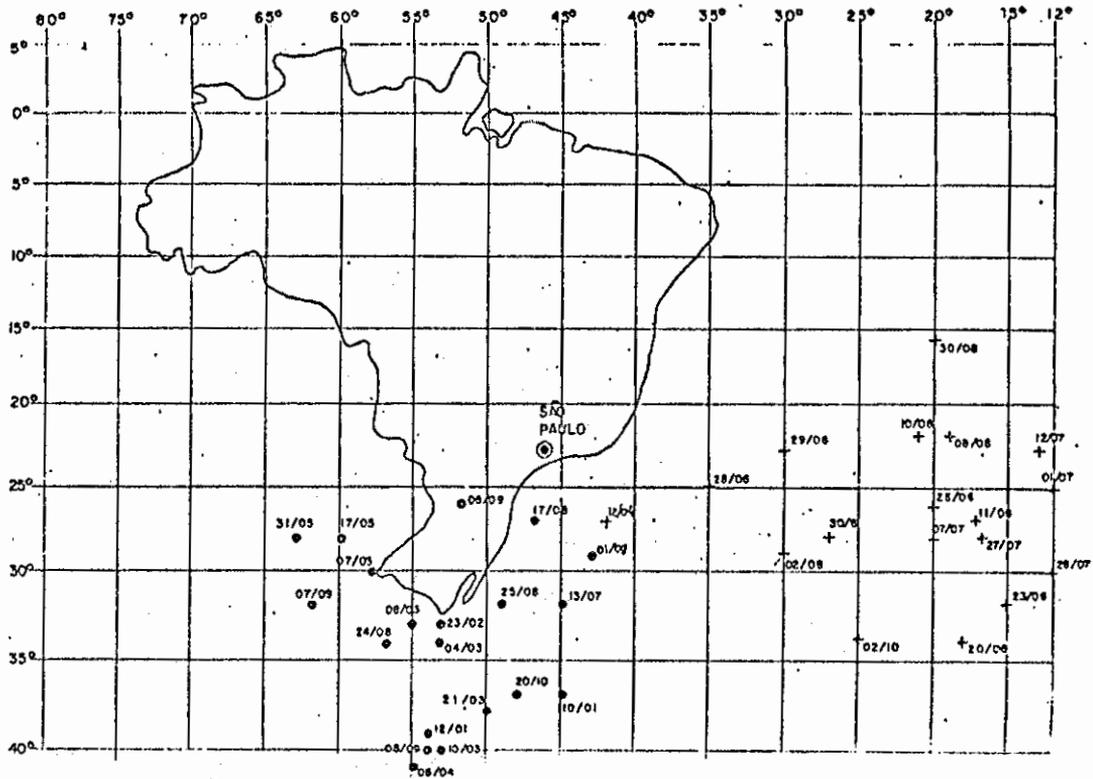


Fig. 2.9 - Posição estimada dos centros de anticiclones que predominam sobre São Paulo.

o corresponde a dias de baixos índices de poluição atmosférica,

+ a dias de altos índices.

FONTE: Setzer et alii (1980).

Foi observado que em todos os dias de altos índices de poluição analisados havia uma frente fria ao sul do País, e o anticiclone subtropical posicionava-se a leste de São Paulo, sobre o oceano Atlântico (Figuras 2.8b e 2.9). Em consequência desta situação meteorológica foram observados ventos calmos, baixa umidade relativa, ausência de precipitação e altura de mistura inferior a 300m. Nos dias de baixos índices, as frentes localizavam-se ao norte de São Paulo e o anticiclone ao sul (Figuras 2.8a e 2.9). Os ventos eram mais intensos, a umidade relativa, a precipitação e a base das inversões eram altas.

Setzer et alii (1980) concluíram que: 1) apenas as variações locais dos parâmetros meteorológicos não são suficientes para as análises de episódios de poluição na Grande São Paulo; 2) a situação sinótica associada a estas variações é de grande importância na compreensão dos fenômenos envolvidos.

De modo geral foram observados os seguintes padrões:

- No inverno (número maior de episódios de alta concentração de poluentes), a presença de frente fria ao sul e anticiclone subtropical predominando sobre a cidade com centro à leste desta e criando condições de estagnação atmosférica.
- No verão (número maior de dias com baixos índices) a presença de frente ao norte de São Paulo e anticiclone ao sul, o que favorece a instabilidade local.

Outro trabalho relacionado com as condições de estagnação da atmosfera foi desenvolvido por Lima (1983). O objetivo deste trabalho foi caracterizar as condições meteorológicas necessárias à ocorrência de nevoeiro de radiação na região de Porto Alegre, RS. Tal fenômeno ocorre devido a condições de estagnação atmosférica semelhantes às que ocorrem nos episódios de altas concentrações de poluentes. Estes nevoeiros são frequentes no inverno quando há maior ocorrência de inversão de temperatura por perda radiativa à noite, além de céu claro, ventos calmos próximo à superfície, e umidade relativa suficiente para permitir condensação. Lima considerou a visibilidade inferior a 1000m como indicação da hora inicial da formação do nevoeiro, e quando superior a 1000m como indicação da hora de dissipação. O período de análise foi 1966 a 1975. As condições meteorológicas que mostraram favorecer a formação de nevoeiros foram: pressão máxima reduzida ao nível do mar, superior a 1013mb; umidade relativa elevada na camada abaixo de 750mb e ar seco acima; cobertura de nuvens durante o dia, e céu claro e ventos fracos à noite; ausência de frentes na região de Porto Alegre; e vento em 500mb diferente de noroeste, com velocidade menor que 50 nós.

Foram encontrados ainda outros estudos que relacionam poluição atmosférica em centros urbanos e Meteorologia, mas não sob o ponto de vista sinótico. Por esta razão não estão incluídos no texto acima. Dentre eles pode-se citar Oliveira et alii (1983), Oliveira e Oliveira (1984), Oliveira (1984), Tavares et alii (1984), Almeida (1984), Ferrari e Oliveira (1984) e Ferrari e Dias (1984).

CAPÍTULO 3

METODOLOGIA

Neste capítulo descreve-se a metodologia empregada no trabalho. Inicialmente mostra-se o critério adotado para a seleção dos dias característicos de baixos e altos índices de poluição. Apresenta-se também uma tabela na qual se relacionam as concentrações dos poluentes com os níveis de qualidade do ar e os efeitos destas concentrações sobre o homem (Tabela 3.1). Estes níveis de qualidade do ar são usadas pela CETESB na região da Grande São Paulo. Na Seção 3.2 são descritos os parâmetros meteorológicos analisados, que são: posição das frentes e dos anticiclones em superfície; perfis verticais de temperatura da atmosfera; escoamento da atmosfera acima da superfície; e imagens de satélite.

3.1 - CRITÉRIO DE SELEÇÃO DOS ÍNDICES

Os índices de poluição foram obtidos através de boletins diários emitidos pela CETESB à imprensa paulista, relativos a 33 estações manuais e automáticas da rede de amostragem. Estes índices são calculados de acordo com o modelo adotado pela Environmental Protection Agency, EPA (CETESB, 1983). A Tabela 3.1 relaciona os níveis elaborados pela EPA (primeira e segunda colunas) e os índices divulgados pela CETESB, com as médias de concentrações dos poluentes e de seus efeitos sobre a saúde humana (demais colunas). Um exemplo dos boletins emitidos pela CETESB pode ser encontrado no Apêndice A.

O critério de seleção dos dias de baixos e altos índices de poluição foi o mesmo adotado por Setzer et alii (1980) ou seja:

- dias com baixos índices de poluição: quando no mínimo 50% das estações registram qualidade de ar "BOA" ou "ÓTIMA", e destas deve haver no mínimo 25% "ÓTIMA";
- dias com altos índices de poluição: quando no mínimo 25% das estações registram qualidade do ar "MÁ" e/ou "INADEQUADA".

TABELA 3.1

RELAÇÃO ENTRE CONCENTRAÇÕES DE POLUENTES E SEUS EFEITOS SOBRE A SAÚDE HUMANA

Índice	Nível de Qualidade do Ar	Qualificação	SO ₂ Média 24 hr µg/m ³	MP Média 24 hr µg/m ³	Produto Média 24 hr (µg/m ³) ²	CO Média 8 hr ppm	O ₃ Média 1 hr µg/m ³	Descrição dos Efeitos Sobre a Saúde	Precauções
0									
50	50% PQAR	BOA	80(a)	80(a)		4,5	80		
100	PQAR	ACEITÁVEL	365	240		9,0	160		
200	ATENÇÃO	INADEQUADA	800	375	65000	15,0	200	Leve agravamento de sintomas em pessoas suscetíveis, com sintomas de irritação na população sã.	Pessoas com doenças cardíacas ou respiratórias devem reduzir as atividades físicas em casa.
300	ALERTA	MÁ	1600	625	261000	30,0	800	Decréscimo da resistência física, e significativo agravamento dos sintomas em pessoas com enfermidades cardio-respiratórias. Sintomas gerais na população sã.	Pessoas idosas ou com doenças cardio-respiratórias devem reduzir as atividades físicas e permanecer em casa.
400	EMERGÊNCIA	PESSIMA	2100	875	393000	40,0	1200	Aparecimento prematuro de certas doenças, além de significativo agravamento de sintomas. Decréscimo da resistência física em pessoas saudáveis.	Pessoas idosas e pessoas com enfermidades devem permanecer em casa e evitar esforço físico. A população em geral deve evitar atividades exteriores.
500	CRÍTICO	CRÍTICA	2620	1000	490000	50,0	1500	Morte prematura de pessoas doentes e pessoas idosas. Pessoas saudáveis podem acusar sintomas adversos que afetam sua atividade normal.	Todas as pessoas devem permanecer em casa, mantendo as portas e janelas fechadas. Todas as pessoas devem minimizar as atividades físicas e evitar o tráfego.

SO₂: - Dióxido de Enxofre
MP - Poeira em Suspensão

CO - Monóxido de Carbono
O₃ - Ozônio

PQAR - Padrão de Qualidade do Ar

Embora estas percentagens tenham sido escolhidas de modo arbitrário, elas certamente caracterizam níveis extremos de poluição.

Nos casos específicos que serão apresentados no Capítulo 4, foram utilizadas as próprias concentrações dos poluentes coletados pela CETESB (1983) no cálculo da evolução das médias das concentrações. Embora os Índices de qualidade do ar elaborados pela CETESB considerem também CO e O₃ como indica a Tabela 3.1, foram consideradas apenas as médias de SO₂ e MP em suspensão. Isto se deve ao fato de o SO₂ e MP serem os poluentes que mais atingem o homem e o meio ambiente. Conforme visto na Seção 1.2, o SO₂ tem sido associado a mortes e danos materiais em vários episódios de poluição devido à sua atuação no aparelho respiratório e ao fato dele produzir, através de reações químicas, outros poluentes. O material particulado (Seção 1.2), por sua vez, também pode causar danos à saúde humana, além de provocar baixa visibilidade e danos materiais.

3.2 - CARACTERÍSTICAS METEOROLÓGICAS CONSIDERADAS

O período de análise foi de março de 1979 a dezembro de 1982. Sábados, domingos e feriados não foram considerados, uma vez que é esperada a redução das concentrações dos poluentes nestes dias, pois a grande parte das fontes emissoras estão inativas.

3.2.1 - POSIÇÃO DE FRENTES E ANTICICLONES

Foram determinadas as posições das frentes e dos anticiclones para os dias caracterizados como de baixos e de altos índices de poluição.

Os dados foram obtidos das cartas de pressão à superfície, às 1200TMG, elaboradas pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN, 1982) do Ministério da Marinha. Foram selecionadas as frentes e os anticiclones do dia de interesse (alto ou baixo índice de poluição) e do dia anterior. A razão disto é que as médias de concentração diária divulgadas pela CETESB são calculadas para o período que começa às

1100 h local de um dia e termina às 1100 h local do dia seguinte, para as estações manuais. Uma vez que a carta de superfície é elaborada às 0900 h local, a posição da frente e do anticiclone neste horário não corresponde a todo o período de observação das concentrações. No caso das estações automáticas (em operação desde 1981), as médias são obtidas no período de 0100 às 2400 h local do dia em que ela é calculada. Neste caso, a frente e o anticiclone analisados às 0900 h local de um determinado dia influenciam quase todo o período de coletas daquele mesmo dia.

A Figura 3.1 ilustra a situação relativa à influência de sistemas meteorológicos para as estações manuais (3.1a) e automáticas (3.1b).

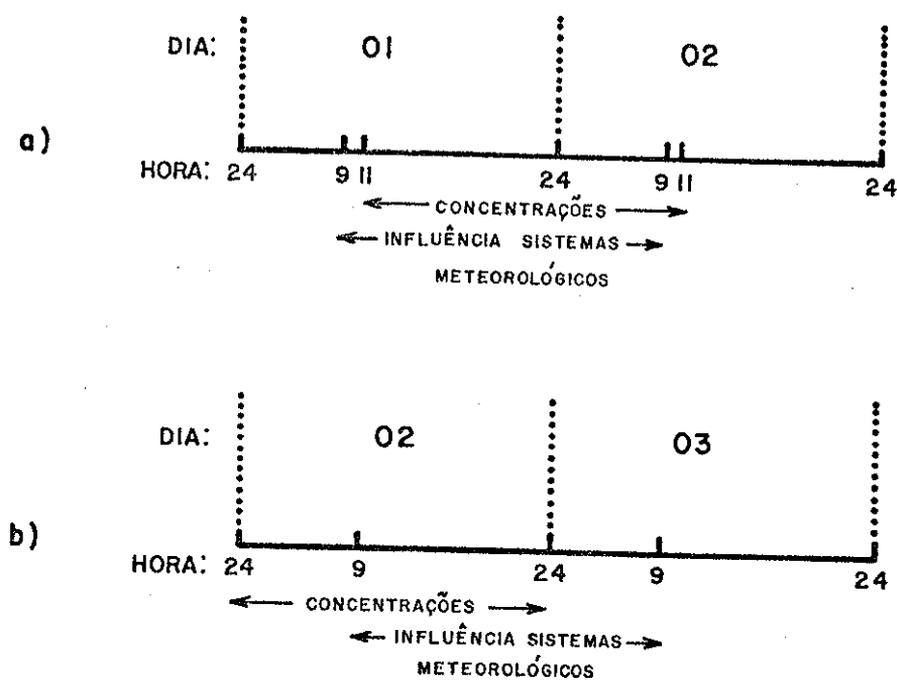


Fig. 3.1 - Período de influência de sistemas meteorológicos e período de coleta dos dados de concentração.

- a) para as estações manuais.
- b) para as estações automáticas.

Suponha-se que se está considerando o índice de concentração do dia 2 para as estações manuais. Este índice representa as concentrações registradas entre o período de 1100 h local do dia 1 e 1100h do dia 2. Logo, deve-se considerar o deslocamento dos sistemas em superfície entre o dia 1 e o dia 2, pois tal comportamento influenciará as concentrações na maior parte deste período de observações (1100 h do dia 1 até 0900 h do dia 2). No caso das estações automáticas, supondo novamente que se está analisando as concentrações do dia 2, a posição, por exemplo, da frente neste mesmo dia às 0900 h deverá ser responsável pelo índice de poluição deste período, visto que seu comportamento no decorrer deste dia até às 0900 h do dia seguinte (dia 3) é que influenciará a maior parte deste índice.

3.2.2 - RADIOSSONDAGENS

Utilizaram-se radiossondagens do Aeroporto de Congonhas em São Paulo, obtidas da FAB (1983) na Divisão de Ciências Atmosféricas do Instituto de Atividades Espaciais, SP, para a análise de casos específicos, alguns dos quais são apresentados neste trabalho. Estas radiossondagens determinaram a estrutura vertical da atmosfera nestes casos para que se pudesse verificar o tipo de estabilidade presente nos baixos níveis da região estudada. Desta forma, pretendeu-se verificar as condições para a dispersão dos poluentes emitidos pelas fontes na região. Além disto, os registros foram utilizados para obter dados de superfície relacionados com frentes, quando havia dúvidas destas terem passado ou não por São Paulo.

3.2.3 - ESCOAMENTO ACIMA DA SUPERFÍCIE

O escoamento acima da superfície foi analisado utilizando cartas dos níveis 850mb, 500mb e 250mb. Estas cartas foram plotadas com dados do National Meteorological Center (NMC), EUA, os quais cobrem todo o globo com intervalo de 5° de longitude entre as latitudes $48.1^{\circ}N$ a $48.1^{\circ}S$, e com intervalo igualmente espaçado, segundo a projeção MERCATOR (espaços divididos em 23 pontos de latitude e 73 de longitude). Estes dados estão disponíveis em fita, no INPE, referentes ape

nas até dezembro de 1981 para o período analisado. Foram plotadas, a partir das componentes u e v do vento, linhas de corrente para a análise da configuração do escoamento e isotacas para a verificação da intensidade dos ventos na região desejada. Foram plotadas também isotermas a partir dos dados de temperatura. Estas plotagens foram feitas com as sub-rotinas do National Center for Atmospheric Research (NCAR). Para que pudesse haver consistência com o período de medida das concentrações, como exposto na Seção 3.3.1, o período de análise dos dados de altos níveis variou entre o dia anterior ao episódio de poluição analisado e o dia posterior. Os horários disponíveis foram 0000TMG e 1200TMG.

3.2.4 - IMAGENS DE SATÉLITE

As imagens de satélite produzidas pelo INPE foram utilizadas para a análise do escoamento do ar superior e para a comparação com as linhas de corrente na região da América do Sul. Através delas foi obtida também a confirmação da presença dos sistemas frontais na região de São Paulo. Além disto, foi possível observar a área de atuação dos anticiclones estudados e, conseqüentemente, o tipo de circulação que predominava na região (circulação marítima ou continental).

CAPÍTULO 4

RESULTADOS

Este capítulo descreve os resultados gerais obtidos, os quais estão resumidos nas Figuras 4.1 a 4.4, e na Tabela 4.3. As análises dos índices de poluição e das respectivas condições sinóticas foram feitas para o período de março de 1979 a dezembro de 1982. Os dados analisados estão descritos no capítulo anterior. Na Seção 4.1 são descritos os resultados das análises dos sistemas em superfície e na Seção 4.2, os do escoamento acima da superfície. Em seguida são mostrados quatro casos que ilustram as situações encontradas. Na Seção 4.3.2 é descrito um caso com particularidades específicas. A Seção 4.5 apresenta uma discussão sobre os resultados obtidos.

4.1 - DADOS DE SUPERFÍCIE

Nas análises das cartas de superfície observou-se, de modo geral, que as frentes foram encontradas sobre ou ao norte de São Paulo nos dias caracterizados por baixos índices de poluição. Além disso, nesta mesma situação, verificou-se o predomínio sobre a cidade de um anticiclone frio com centro ao sul de São Paulo, sobre o Atlântico. Nos dias de altos índices, as frentes foram encontradas ao sul de São Paulo e havia sobre a região o predomínio do anticiclone subtropical com centro a leste da cidade, sobre o Atlântico. As Figuras 4.1 a 4.4 mostram os resultados encontrados para todo o período. Nelas foram registradas a posição dos sistemas meteorológicos nos dias em que os índices foram considerados e também nos dias anteriores, conforme citado na Seção 3.3.1. Para a maior parte do período analisado, a posição das frentes para os dias de baixos e altos índices de poluição foram agrupadas por períodos de alguns meses em função do grande número de casos registrados.

Na Figura 4.1 podem ser observadas as posições das frentes e dos anticiclones para os casos de baixos e altos índices de polui

ção em 1979. Verificou-se que os casos característicos de baixos Índices ocorreram em sua maioria nos meses representativos do outono e da primavera (abril-maio e setembro-novembro), conforme pode ser visto nas Figuras 4.1a e 4.1c e na Tabela 4.1. Nestes casos, quando foram encontradas frentes ao sul de São Paulo, observou-se também outra frente ao norte da cidade. Nesta situação os Índices foram bem baixos (mais de 6 estações com qualidade do ar "ÓTIMA") no dia em que a primeira frente passou por São Paulo. Com a presença de outra frente ao sul, os Índices aumentaram, mas ainda permaneceram dentro do critério para baixos Índices. Observou-se também que nestes casos a cidade ainda estava sobre o predomínio do anticiclone frio com centro ao sul da região.

Os casos característicos de altos Índices de poluição ocorreram entre abril e setembro, destes, 70% deles foram encontrados entre junho e agosto. Nestes casos, quando foi observada a presença de uma frente ao norte de São Paulo, já havia outra frente ao sul, exceto em dois episódios. Em um deles, no dia 12 de abril, verificou-se que a frente passou à leste de São Paulo entre o dia 11 e o dia 12, sem afetar a cidade. A análise do escoamento acima da superfície mostrou, no entanto, que este caso se enquadra nas situações que serão descritas na Seção 4.2. Outro caso, semelhante ao anterior e ocorrido em 05 de julho, por outro lado, será descrito na Seção 4.3. Verificou-se também que em 1979 ocorreram mais casos de altos Índices do que de baixos Índices, como pode ser visto nas Tabelas 4.1 e 4.2.

A Figura 4.2 ilustra os casos de baixos e altos Índices de poluição em 1980. Neste ano o número de dias com baixos Índices excedeu o de altos Índices (ver Tabelas 4.1 e 4.2). Os episódios característicos de baixos Índices ocorreram entre agosto e dezembro, enquanto os de altos Índices ocorreram nos meses característicos de outono e inverno (maio a agosto). Na Figura 4.2a, para baixos Índices, observa-se que no dia 13 de agosto havia uma frente ao sul de São Paulo e um anticiclone à leste da cidade, sobre o Atlântico, predominando sobre a região - ou seja, uma situação típica de altos Índices. A análise deste caso, entretanto, mostrou que não se tratava de uma exceção. Os Índi

ces, que no dia anterior estavam bem baixos (7 estações registrando "ÓTIMA"), com a presença da frente ao sul no dia 13 pioraram, mas ainda permaneceram dentro dos critérios deste trabalho. Além disto, a análise do ar superior mostrou que este caso se enquadra dentro das situações descritas na Seção 4.2.

TABELA 4.1

NÚMERO DE EPISÓDIOS CARACTERÍSTICOS DE BAIXOS ÍNDICES
DE POLUIÇÃO NO PERÍODO DE 1979 A 1982

ANO MÊS	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
1979	*	*	0	2	1	1	2	1	5	1	2	0	15
1980	0	0	0	0	0	1	0	5	3	1	1	2	13
1981	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
1982	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	0	0	3	2	1	2	2	6	8	2	3	2	31

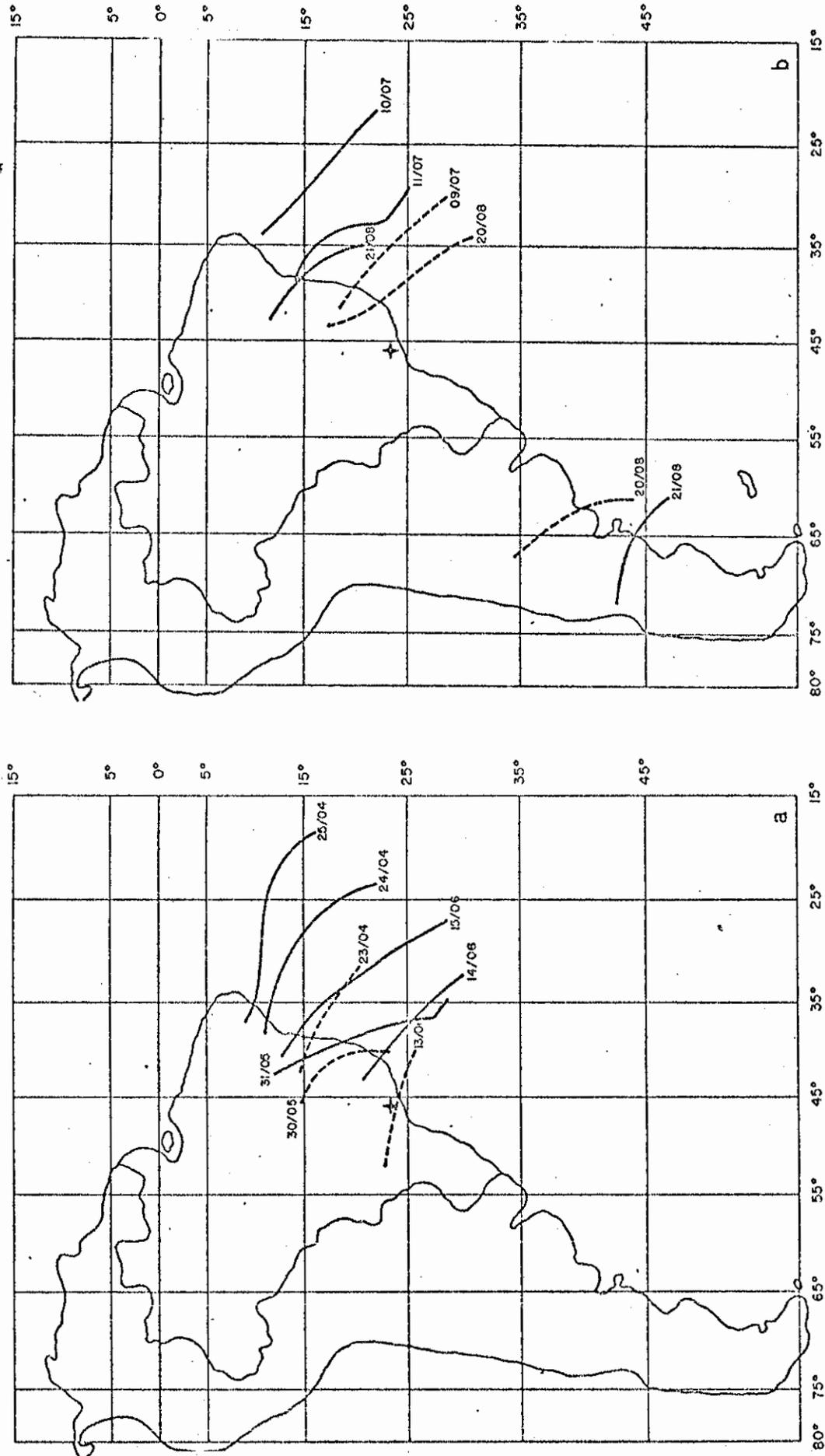
* Período não-analisado

TABELA 4.2

NÚMERO DE EPISÓDIOS CARACTERÍSTICOS DE ALTOS ÍNDICES
DE POLUIÇÃO NO PERÍODO DE 1979 A 1982

ANO MÊS	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
1979	*	*	0	3	3	8	7	6	2	0	0	0	29
1980	0	0	0	0	3	4	1	1	0	0	0	0	9
1981	0	0	0	0	2	4	11	8	6	0	0	0	31
1982	0	0	0	0	2	1	1	0	1	0	0	0	5
TOTAL	0	0	0	3	10	17	20	15	9	0	0	0	74

* Período não-analisado

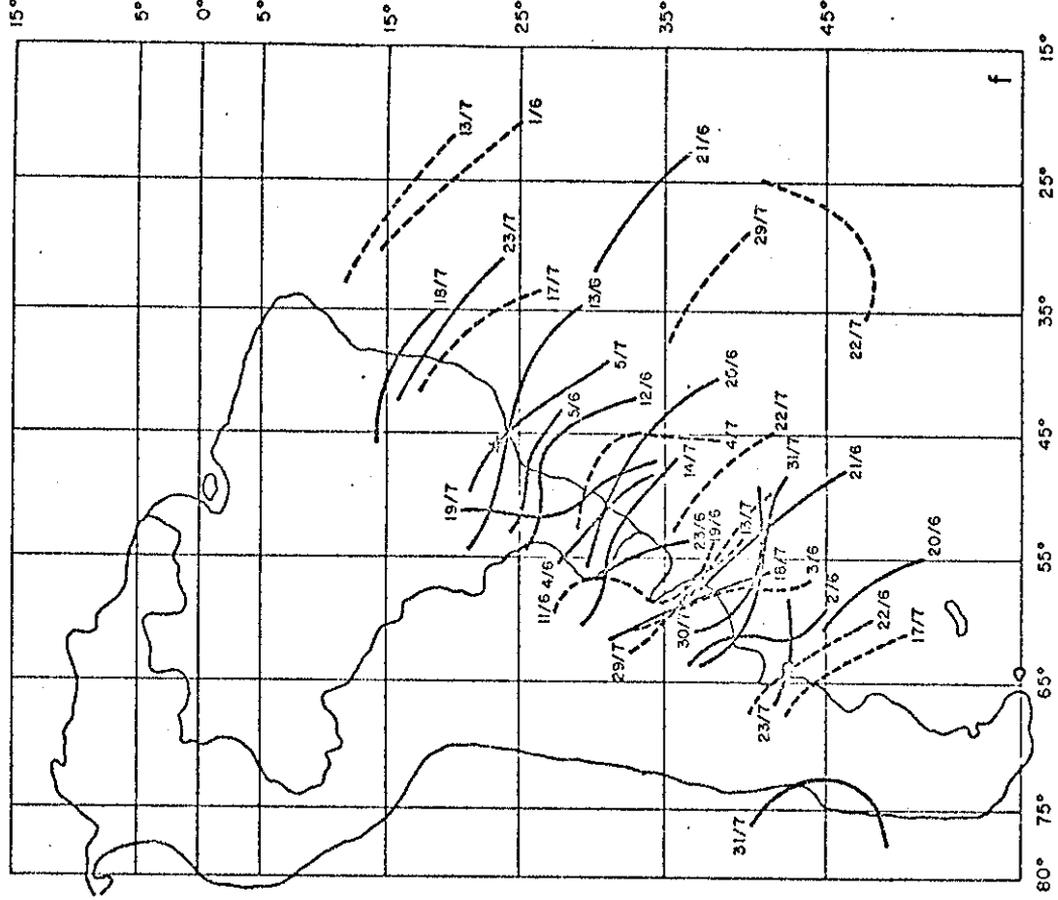


a) frentes frias nos dias de baixos índices de poluição nos meses de abril a junho

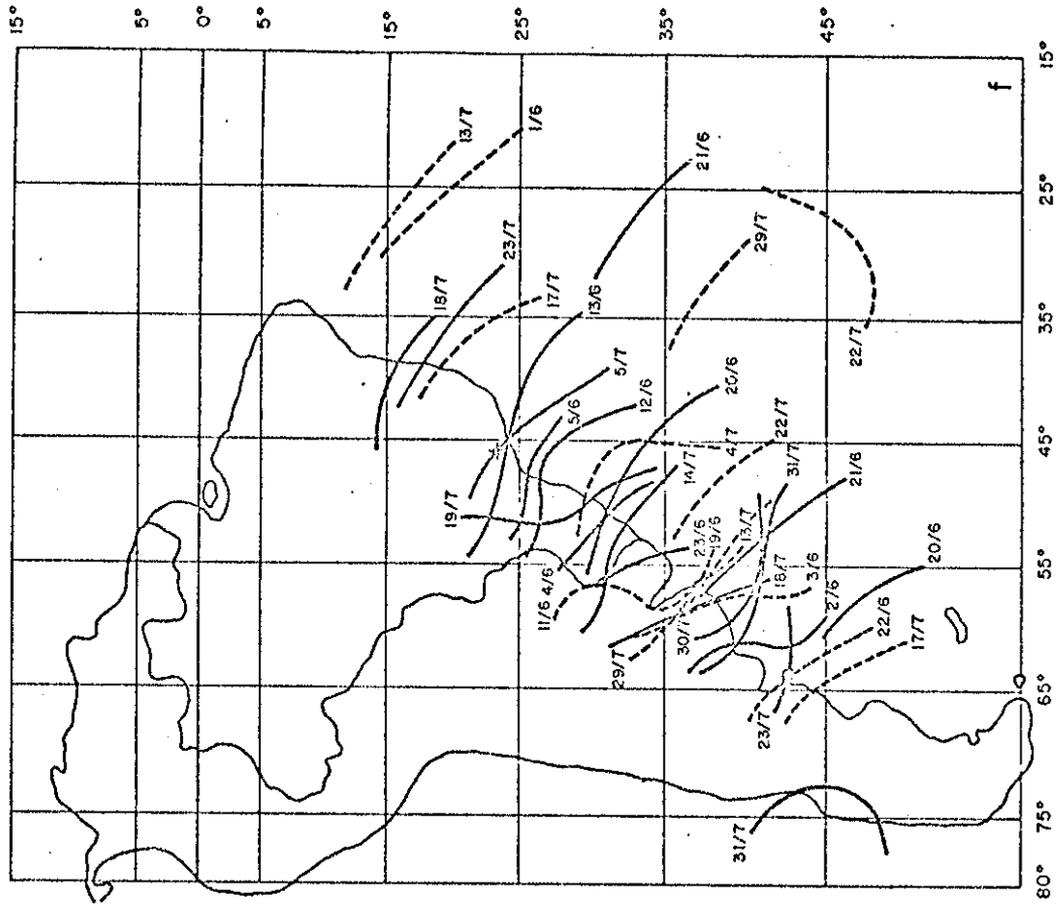
b) frentes frias nos dias de baixos índices de poluição nos meses de julho a agosto

Fig. 4.1 - Posição esquemática das frentes frias e dos centros dos anticiclones nos dias de baixos e altos índices de poluição em 1979.

(continua)



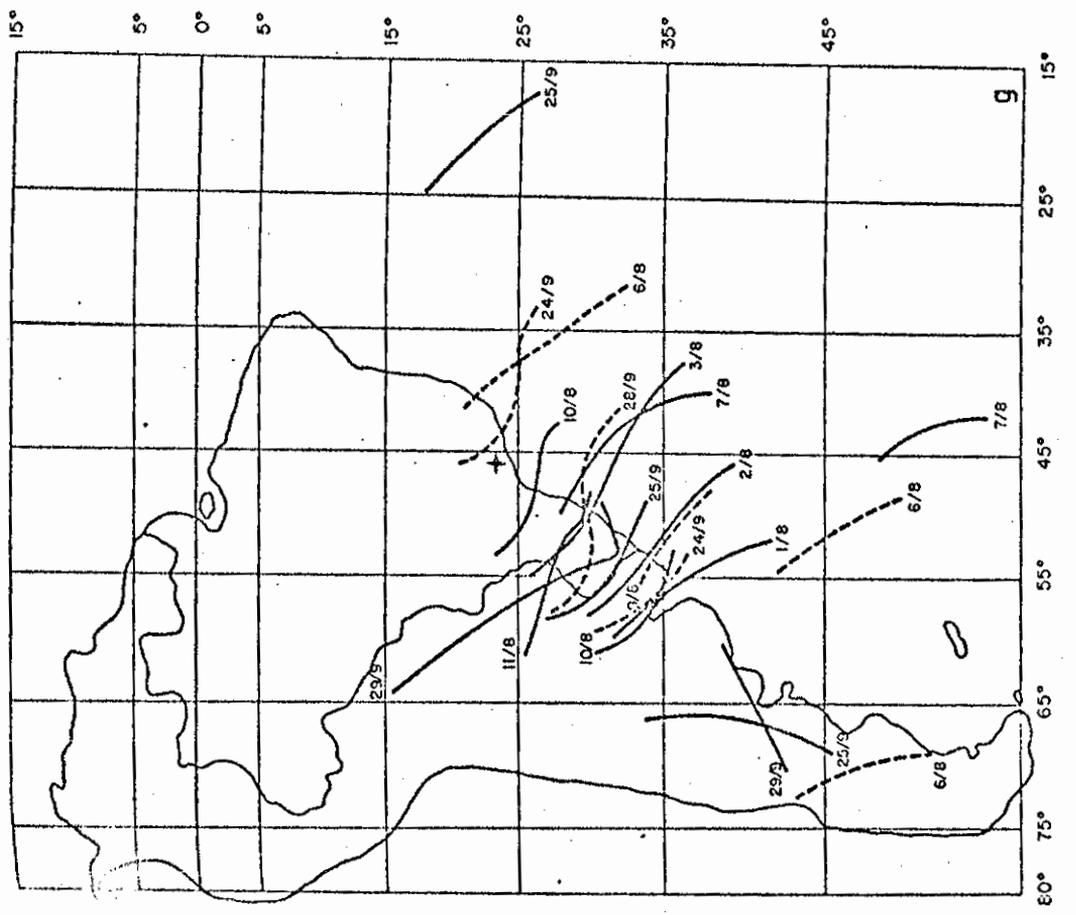
e) frentes frias nos dias de altos índices de poluição nos meses de abril a maio



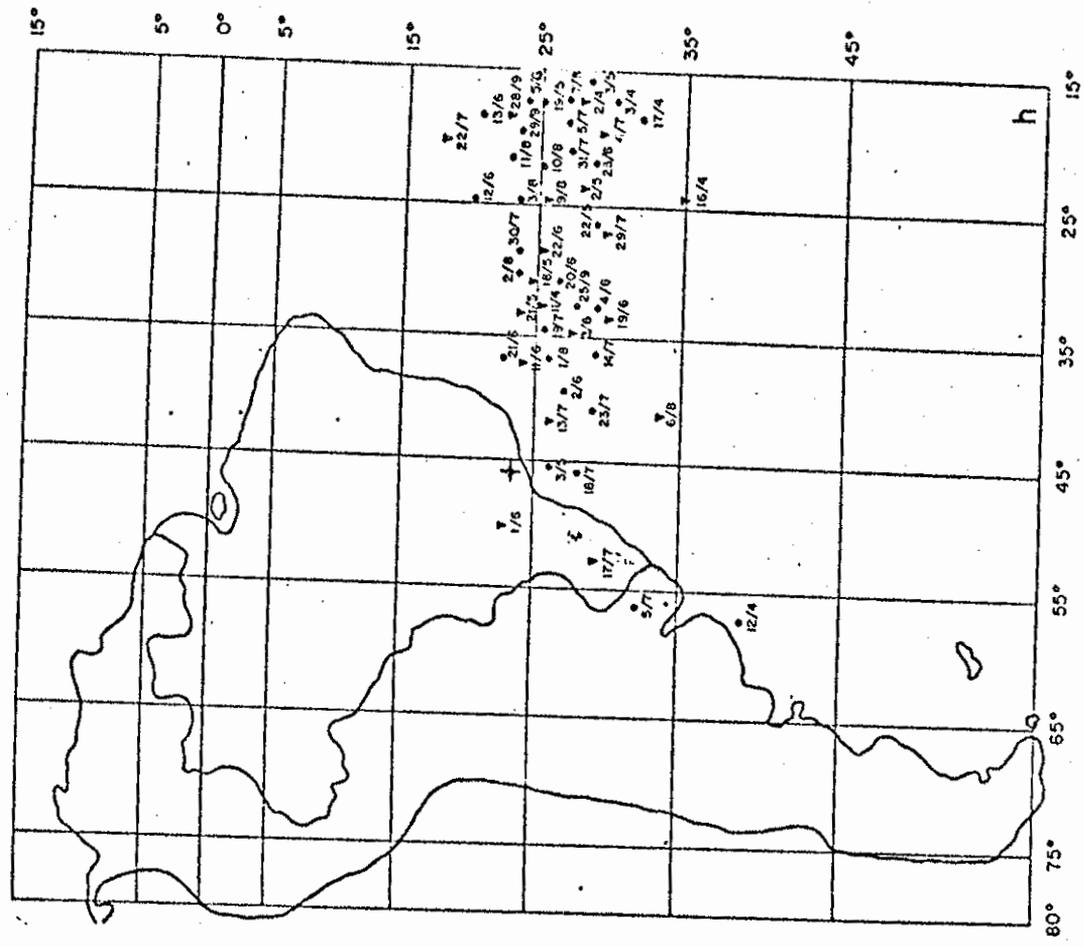
f) frentes frias nos dias de altos índices de poluição nos meses de junho a julho

Fig. 4.1 - Continuação

(continua)

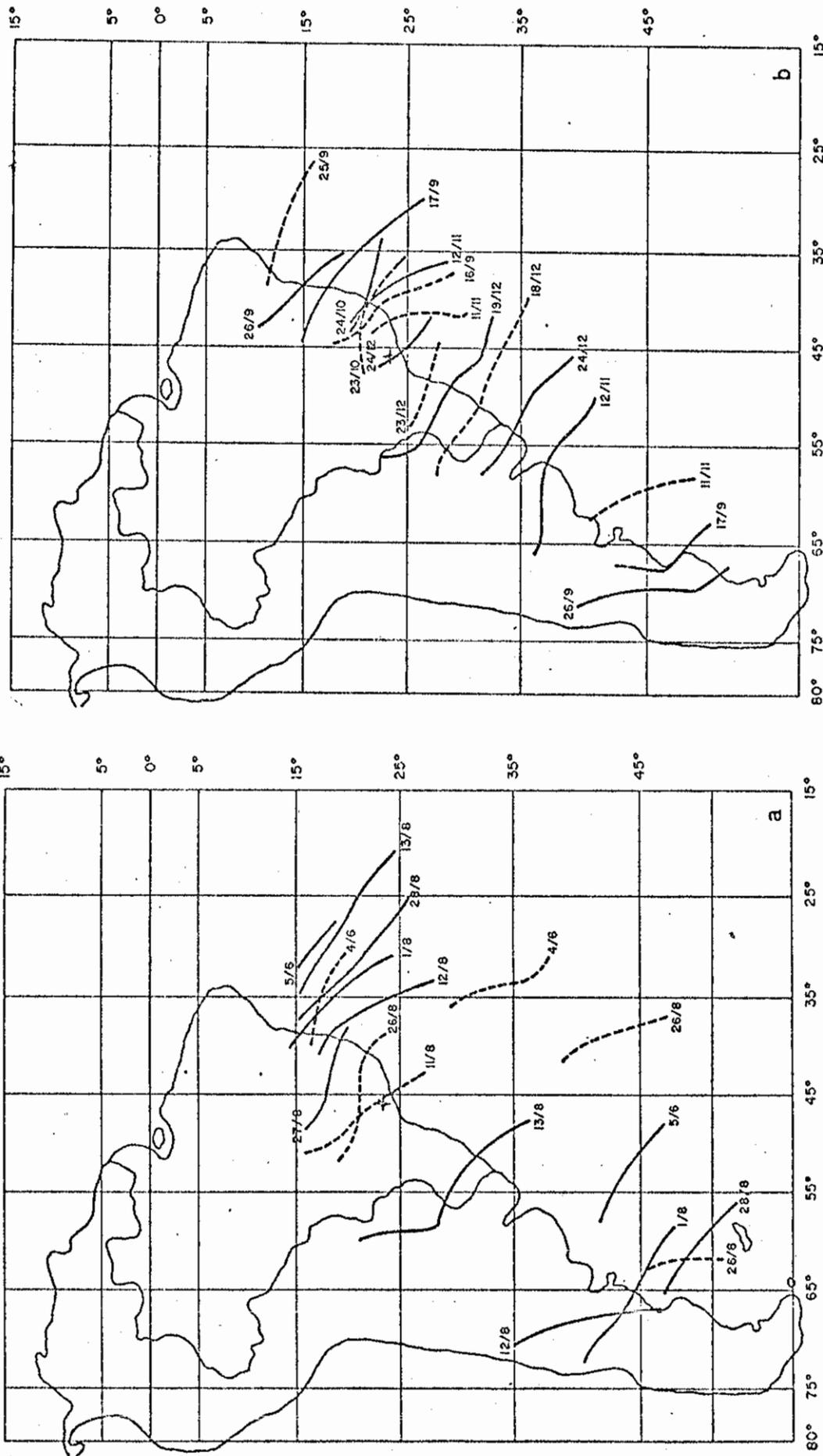


g) frentes frias nos dias de altos índices de poluição nos meses de agosto a setembro



h) centros dos anticiclones nos dias de altos índices de poluição em 1979

Fig. 4.1 - Conclusão.

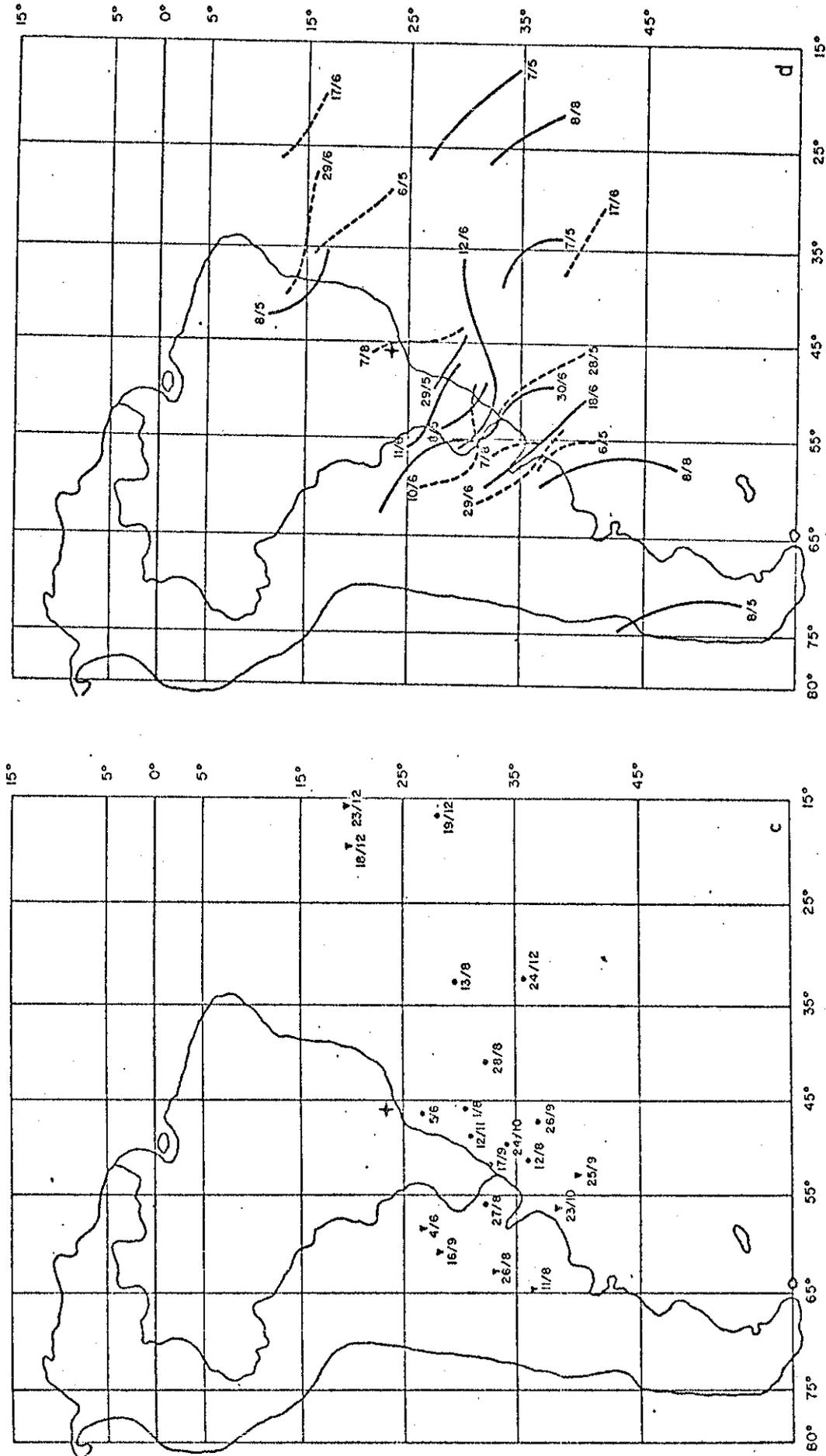


a) frentes frias nos dias de baixos índices de poluição nos meses de junho a agosto

b) frentes frias nos dias de baixos índices de poluição nos meses de setembro a dezembro

Fig. 4.2 - Posição esquemática das frentes frias e dos centros dos anticiclones nos dias de baixos e altos índices de poluição em 1980.

(continua)

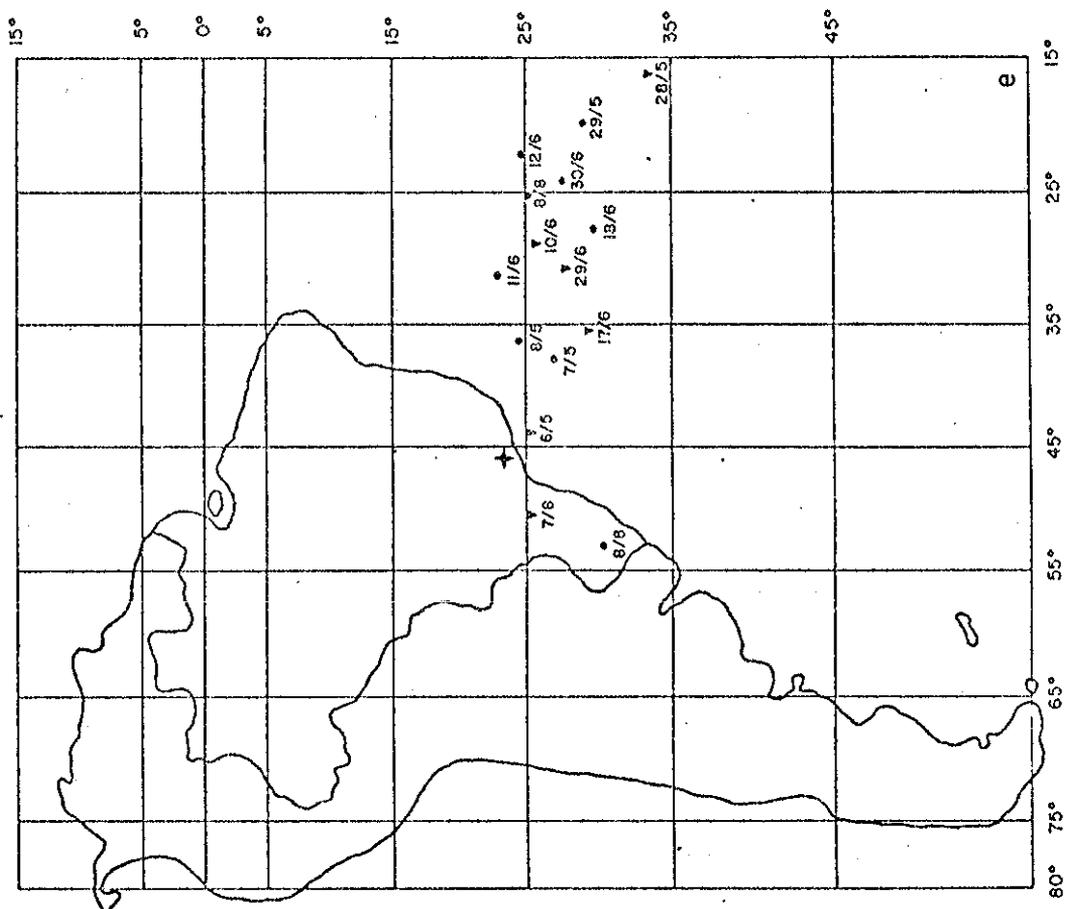


c) centros dos anticiclones nos dias de baixos índices de poluição em 1980

d) frentes frias nos dias de altos índices de poluição em 1980.

Fig. 4.2 - Continuação

(continua)



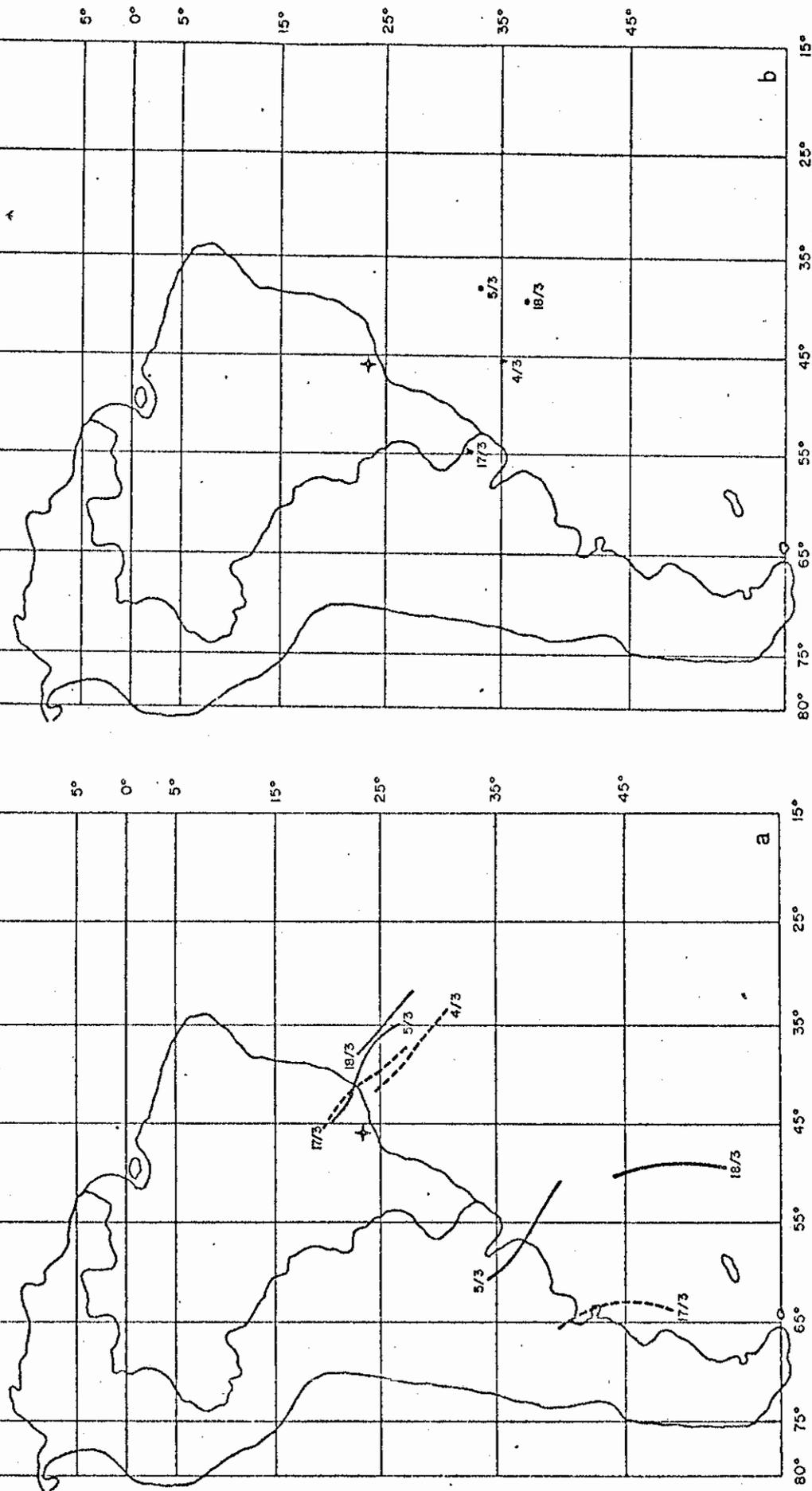
e) centros dos anticiclones nos dias de altos Índices de poluição em 1980.

Fig. 4.2 - Conclusão.

Para o ano de 1981 (Figura 4.3), no entanto, verificou-se que pelos critérios deste trabalho ocorreram apenas três episódios de baixos Índices de poluição, todos em março. A análise dos boletins da CETESB mostrou que outros episódios característicos de baixos Índices foram observados durante este ano. No entanto, estes episódios ocorreram nos sábados, feriados e segundas-feiras. Como foi mencionado na Seção 3.2, estes dias não foram considerados na seleção dos casos de baixos Índices. Nos dias úteis, de maneira geral, os Índices de qualidade do ar, quando não indicaram condições "INADEQUADA" ou "MÁ", mantiveram-se, em sua maioria, como "ACEITÁVEIS".

Os episódios de altos Índices neste ano excederam em número o de baixos Índices (Tabelas 4.1 e 4.2) e ocorreram entre os meses de maio a setembro, destes, a maior parte dos casos foram registrados em julho e agosto. Observa-se nas Figuras 4.3c, 4.3d e 4.3e que em todos os casos as frentes estão ao sul de São Paulo e o anticiclone predomina sobre a região, exceto em um episódio. Este caso (2 de julho), que apenas aparentemente é uma exceção, é semelhante ao do dia 05 de julho de 1979, discutido na Seção 4.3.

Em 1982 não foram registrados casos de baixos Índices, e apenas 5 casos de altos Índices foram observados (Tabela 4.2 e Figura 4.4). Estes casos novamente ocorreram entre maio e setembro. Observa-se que no dia 14 de setembro, quando os Índices estavam altos e havia uma frente ao norte de São Paulo, existia também outra frente ao sul já influenciando sinoticamente a cidade. Verificou-se que durante todo este ano os níveis de poluição foram classificados como "ACEITÁVEIS".

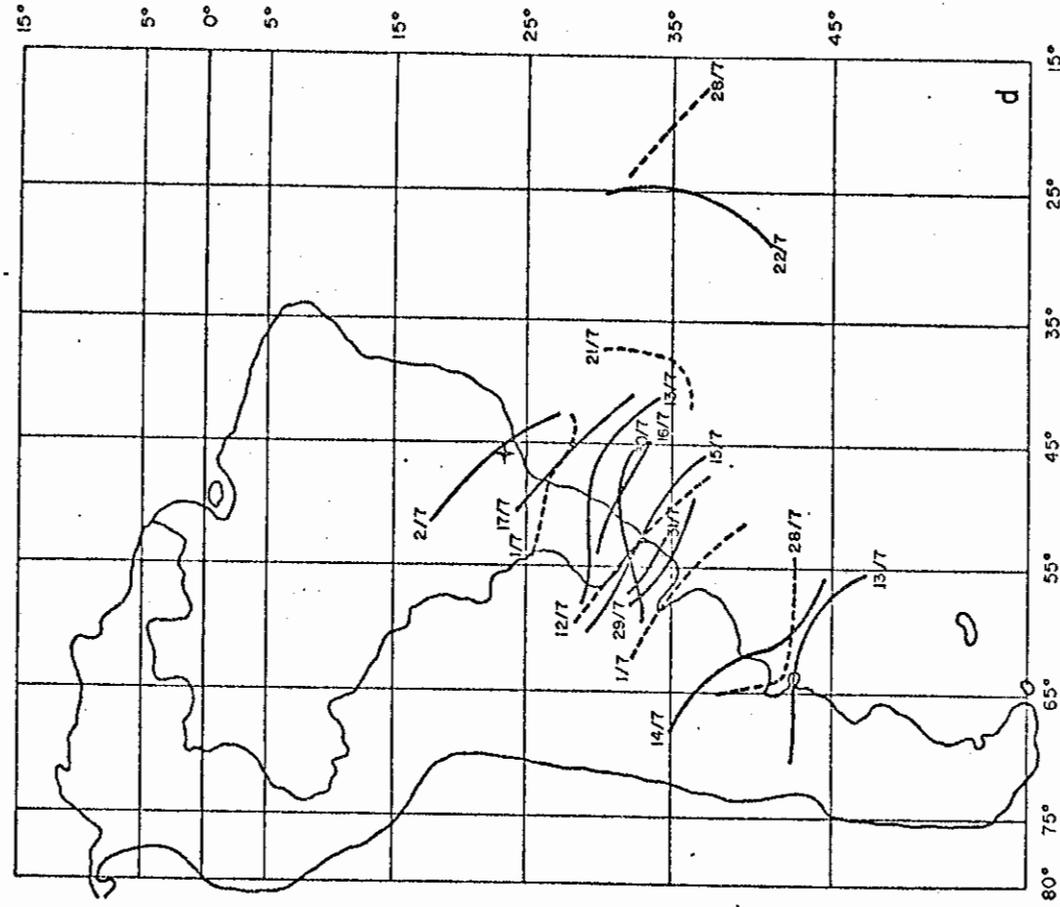


a) frentes frias nos dias de baixos índices de poluição em 1981

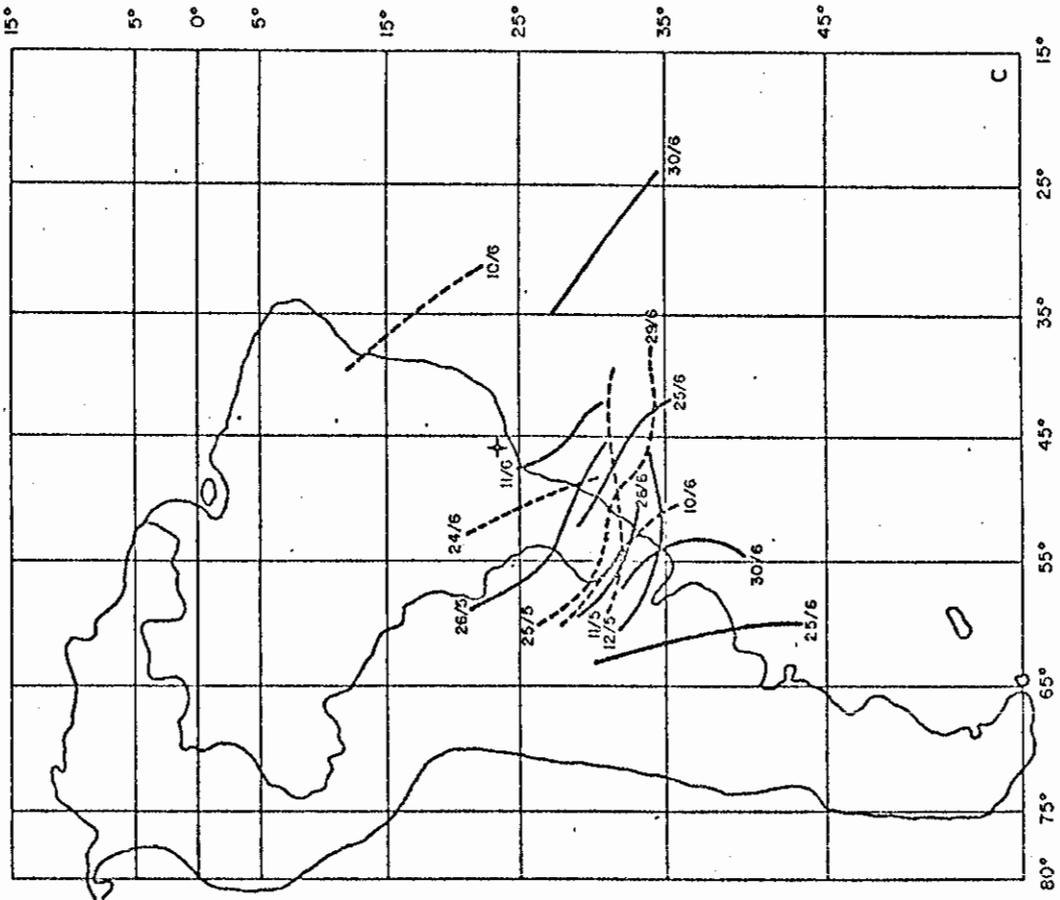
b) centros dos anticiclones nos dias de baixos índices de poluição em 1981

Fig. 4.3 - Posição esquemática das frentes frias e dos centros dos anticiclones nos dias de baixos e altos índices de poluição em 1981.

(continua)



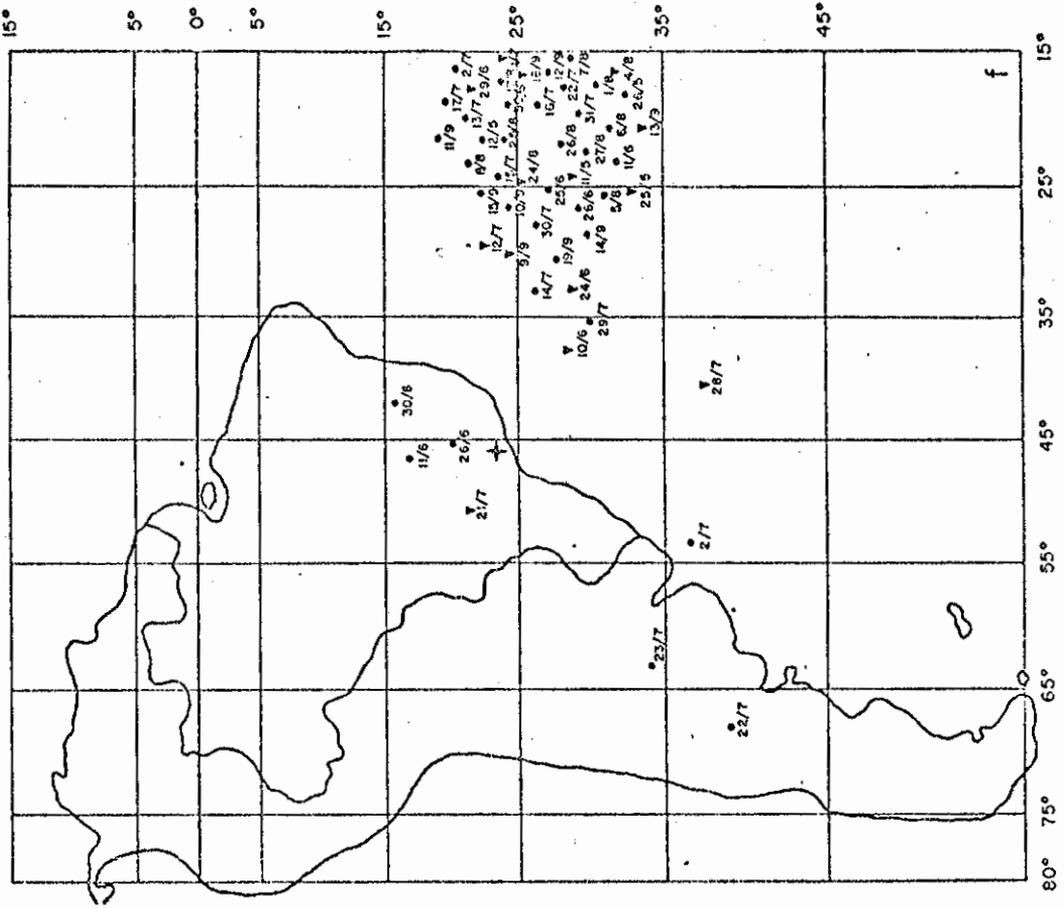
d) frentes frias nos dias de altos Índices de poluição no mês de julho



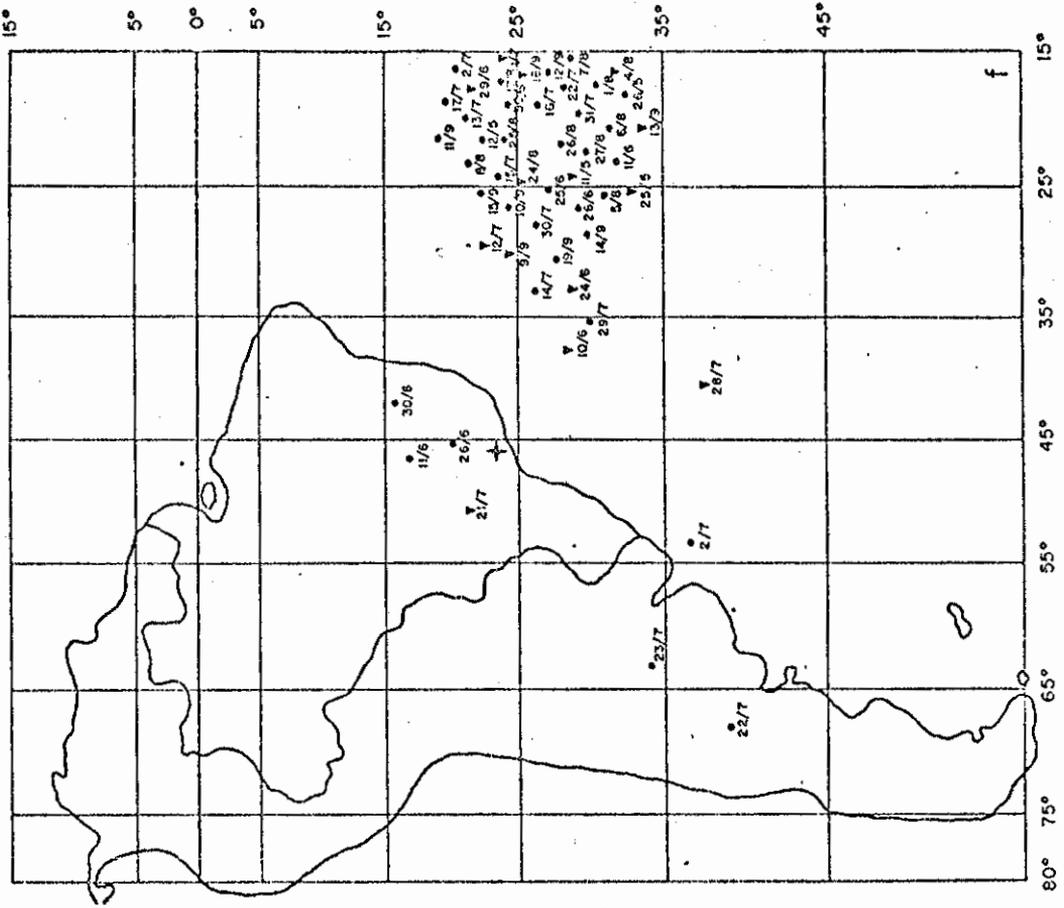
c) frentes frias nos dias de altos Índices de poluição nos meses de maio a junho

Fig. 4.3 - Continuação

(continua)



e) frentes frias nos dias de altos Índices de poluição nos meses de agosto a setembro



f) centros dos anticiclones nos dias de altos Índices de poluição em 1981

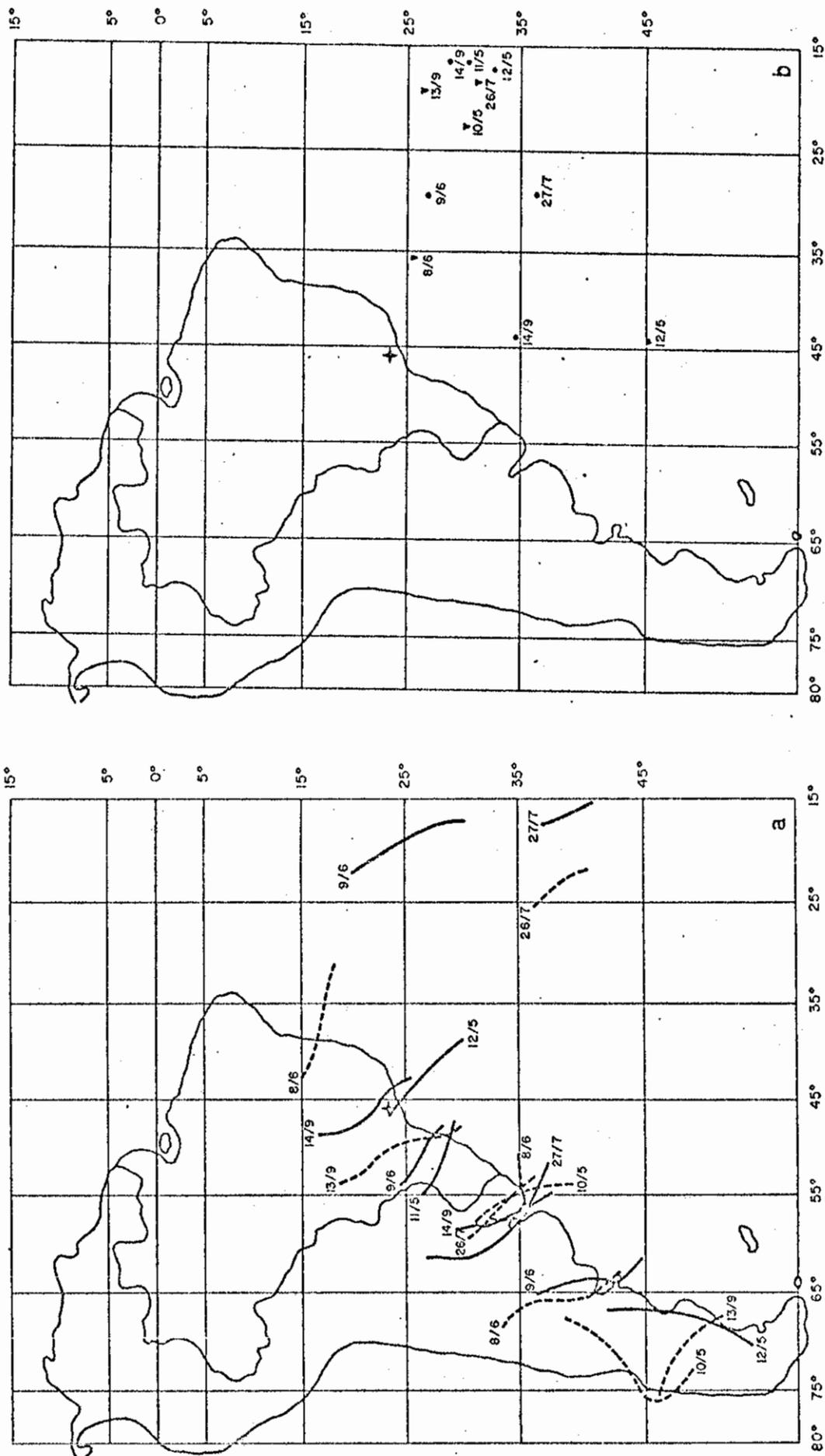
Fig. 4.3 - Conclusão.

4.2 - ESCOAMENTO ACIMA DA SUPERFÍCIE

4.2.1 - LINHAS DE CORRENTE E ISOTACAS

Foram analisados alguns dos casos mostrados nas Figuras 4.1 a 4.4. Estudaram-se os casos que aparentemente se apresentavam como excessões e os episódios que caracterizavam situações de verão e inverno em cada ano durante o período analisado. De modo geral foram observadas três situações distintas, uma para o caso de altos índices e duas para os casos de baixos índices.

- Nos dias característicos de altos índices de poluição, verificou-se que no nível de 250mb os ventos eram fracos, menores que 25m/s (Tabela 4.3), e predominava o escoamento zonal ou a presença de uma crista sobre a região de São Paulo. Observou-se também a presença da corrente de jato ao sul do País. Nos meses representativos de inverno o centro deste jato apresentou ventos máximos com velocidade superior a 45m/s. Em 500mb o escoamento observado também foi zonal, ou com a presença de uma crista sobre a região. Em 850mb foi observada a circulação anticiclônica com ventos que predominavam de norte, noroeste e nordeste. Dos casos analisados, três apresentaram uma bifurcação sobre o Pacífico, próxima à costa oeste da América do Sul, o que poderia indicar a existência de bloqueios. Verificou-se também que, durante todo o período em que os índices estiveram altos, o escoamento nos altos níveis no sul do País era zonal ou de noroeste. Dois episódios não apresentaram ventos fracos em 250mb. Um deles (30/06/81 a 02/07/81) apresentou circulação anticiclônica em todos os níveis analisados durante os dias nos quais os índices permaneceram altos. O outro episódio (04/07/79 a 06/07/79) mostrou a presença de uma frente inativa sobre a região de São Paulo. Este caso será descrito com detalhes na Seção 4.3.2.



a) frentes frias nos dias de altos índices de poluição em 1982.
b) centros dos anticiclones nos dias de altos índices de poluição em 1982.

Fig. 4.4 - Posição esquemática das frentes frias e dos centros dos anticiclones nos dias de altos índices de poluição em 1982.

TABELA 4.3

RESULTADOS DAS ANÁLISES DE CASOS EXTREMOS DE POLUIÇÃO NA GRANDE SÃO PAULO PARA O PERÍODO 1979 A 1982

DIA	Qualidade do ar por estações			Pressão à Superfície (MB)	Vento (Graus/m/s)						Temperatura (°C)			Camada de instabilidade (m)	UR Sup(%)	Centro do Jato				
	O	B	A		superfície		850 MB		500 MB		250 MB		850 NB			500 NB	250 NB	Posição (Lat/Long)	Vel. (m/s)	
					Dir	Vel	Dir	Vel	Dir	Vel	Dir	Vel								
10/4/79	0	0	11	1	0	030	2	015	5	295	12	280	32	16,0	-8,0	-44,0	448	81	37S/65W	48
11/4/79	0	0	8	0	1	030	2	065	4	195	5	145	9	19,0	-5,0	-42,0	278	75	33S/55W	55
12/4/79	0	0	8	3	1	110	2	070	5	205	6	230	27	17,6	-9,0	-49,0	468	86	33S/40W	48
16/4/79	0	2	10	0	0	070	1	080	4	310	12	320	14	18,4	-6,9	-45,5	198	78	45S/75W	50
17/4/79	0	0	6	1	5	360	2	309	1	210	5	260	17	21,0	-8,7	-45,1	198	75	48S/55W	46
18/4/79	0	0	10	0	2	070	1	010	7	240	26	270	12	19,8	-7,7	-44,1	378	73	33S/75W	46
19/4/79	1	2	7	2	0	180	3	200	4	220	17	230	21	19,2	-7,5	-46,0	348	80	28S/60W	34
04/7/79	0	0	1	11	0	330	1	335	11	285	22	260	44	18,8	-8,0	-49,0	588	70	33S/60W	51
05/7/79	0	0	6	0	6	150	1	280	7	275	16	265	25	18,4	-10,0	-47,0	0	76	30S/50W	62
06/7/79	1	2	9	0	0	130	4	125	5	-	9*	-	22*	15,0	-9,0	-46,0	468	88	40S/50W	55
30/7/79	0	0	8	0	4	030	1	080	4	090	13	125	13	17,0	-8,0	-47,0*	108	67	41S/65W	65
31/7/79	0	0	4	2	6	030	1	040	5	050	20	240	8	17,8	-7,5	-44,0*	138	61	48S/50W	74
01/8/79	0	0	8	0	4	030	1	010	3	020	9	300	3	17,4	-8,0	-44,0*	218	72	33S/65W	53
02/8/79	0	0	5	1	6	030	0	345	9	025	7	265	3	18,4	-7,5	-45,0*	98	65	45S/50W	80
03/8/79	0	0	6	0	5	030	1	350	6	015	5	240	17	19,0	-10,5	-45,0*	298	61	45S/20W	73
04/8/79	0	0	9	2	0	330	1	330	15	340	11	305	35	18,6	-10,0	-43,0*	0	50	37S/35W	61
10/6/80	0	0	11	1	0	030	2	360	3	140	2	230	10	20,0	-6,7	-47,5	198	75	33S/65W	57
11/6/80	0	0	6	4	2	030	4	330	8	300	6	220	13	19,4	-6,9	-45,5	198	70	24S/85W	70
12/6/80	0	0	9	1	2	030	2	320	4	300	12	250	44	19,6	-8,1	-42,1	0	65	24S/70W	81
13/6/80	0	0	11	0	1	330	6	330	16	280	17	-	45*	19,2	-10,7	-43,9	0	52	24S/60W	66
30/6/81	0	0	19	8	4	030	0	340	15	295	19	-	60*	19,0	-10,0	-43,0	0	60	34S/50W	83
01/7/81	0	3	23	2	1	330	2	310	12	300	28	-	50*	19,2	-11,5	-47,5	0	70	29S/35W	62
02/7/81	0	0	20	8	2	330	2	305	12	300	25	-	30*	18,0	-12,1	-49,0	158	70	24S/70W	43
03/7/81	0	0	26	4	0	180	4	173	11	235	22	260	28	12,0	-8,5	-46,5	2468	94	20S/35W	46

(continua)

Tabela 4.3 - Continuação

DIA	Qualidade do ar por estações						Pressão à Superfície (MB)	Vento (Graus/m/s)						Temperatura (OC)			UR Sup(%)	Camada de ins. estabilidade(m)	Centro do Jato										
	0		1		M			superfície		850 MB		500 MB		250 MB		Dir			Vel	Dir	Vel	Dir	Vel	Sup	850 MB	500 MB	250 MB	Posição (Lat/Long)	Vel. (m/s)
	B	A	B	A	B	A		Dir	Vel	Dir	Vel	Dir	Vel	Dir	Vel														
14/7/81	0	0	22	5	4		090	3	355	10	320	6	290	24	15,0	15,5	-8,5	60	198	29S/80W	63								
15/7/81	0	0	21	9	1		090	4	340	8	305	8	205	23	17,0	15,8	-7,8	62	188	33S/65W	66								
16/7/81	0	0	26	5	0		030	4	320	9	290	10	295	14	18,8	16,0	-8,0	55	188	41S/35W	76								
17/7/81	0	2	22	8	0		340	4	310	11	325	14	330	35	19,0	16,5	-8,0	50	178	41S/25W	82								
18/7/81	0	12	11	0	0		150	3	120	6	305	31	-	40*	11,2	9,0	-8,0	80	468	37S/10W	92								
11/9/81	0	0	10	14	6		180	2	025	1	200	2	045	2	15,2	20,0	-6,5	80	300	37S/50W	80								
12/9/81	0	0	9	14	5		030	3	350	12	010	16	350	22	22,0	19,0	-5,0	40	268	41S/25W	91								
13/9/81	-	-	-	-	-		090	2	330	8	330	9	305	10	22,0	22,0	-6,5	30	0	37S/15W	95								
14/9/81	0	0	22	4	5		0	0	005	8	005	16	305	9	15,8	21,2	-6,0	80	0	37S/25W	76								
15/9/81	0	0	3	18	7		330	3	300	8	330	23	-	25*	19,2	16,5	-5,5	75	0	37S/10W	89								
11/5/82	0	0	16	8	6		030	3	005	2	275	10	240	18	18,0	17,0	-6,0	70	168	-	-								
12/5/82	0	0	13	8	8		090	2	100	3	210	11	255	16	20,6	15,0	-3,0	65	278	-	-								
13/5/82	0	0	25	4	0		030	2	360	8	050	4	225	11	17,4	16,0	-9,0	85	288	-	-								
12/6/79	0	0	6	1	5		310	2	300	12	290	19	-	35*	19,0	16,0	-7,0	60	218	33S/60W	55								
13/6/79	0	0	2	2	7		330	1	285	13	285	27	-	30*	19,4	11,0	-8,5	55	188	33S/40W	65								
14/6/79	4	3	5	0	0		120	3	165	10	275	25	-	40*	11,4	7,0	-9,0	85	988	29S/45W	61								
15/6/79	8	2	2	0	0		120	5	175	3	245	18	-	42*	10,8	7,0	-5,0	91	1418	29S/35W	65								
16/6/79	0	1	11	0	0		030	4	330	7	270	15	275	34	13,0	13,5	-8,0	88	248	33S/50W	53								
7/11/79	0	0	12	0	0		010	1	330	10	215	2	265	17	25,0	18,0	-10,0	62	717	45S/55W	51								
8/11/79	0	3	9	0	0		300	7	330	12	310	8	240	14	25,4	19,0	-4,5	61	800	33S/65W	57								
9/11/79	4	4	4	0	0		120	5	185	11	320	11	275	12	17,7	14,5	-5,5	90	-	37S/40W	56								

(continua)

Tabela 4.3 - Conclusão

DIA	Qualidade do ar por estações			Pressão à Superfície (MB)	Vento (Graus/m/s)						Temperatura (°C)			UR Sup(Z)	Centro do Jato					
	O	B	A		superfície		850 MB		500 MB		250 MB		Camada de instabilidade(m)		Posição (Lat/Long)	Vel. (m/s)				
					Dir	Vel	Dir	Vel	Dir	Vel	Dir	Vel					Sup	500 MB	250 MB	
22/1/80	0	0	12	0	0	270	1	320	7	300	12	310	23	23,0	18,0	-10,3	-46,1	65	48S/80W	59
23/1/80	2	1	9	0	0	330	6	320	15	310	8	290	15	25,0	21,0	-9,3	-41,9	65	45S/75W	66
24/1/80	2	2	8	0	0	330	3	310	18	320	12	260	11	23,0	18,5	-6,0	-40,0	70	37S/50W	56
11/8/80	0	0	11	0	0	210	2	215	3	230	5	290	46	17,0	12,0	-11,0	-45,0	80	-	-
12/8/80	7	1	4	0	0	933,6	9	140	8	265	7	295	21	15,0	10,0	-12,3	-46,5	84	20S/55W	48
13/8/80	3	4	5	0	0	932,6	2	055	9	290	3	255	41	15,2	12,0	-12,5	-46,0	80	29S/25W	55
14/8/80	0	1	10	0	0	932,3	090	360	1	250	14	285	40	14,8	14,5	-10,0	-42,0	92	24S/35W	45
15/8/80	1	1	10	0	0	931,3	2	315	7	315	12	290	50	16,0	10,8	-12,5	-46,0	88	20S/25W	48
16/3/81	2	5	5	0	0	926,0	2	330	13	320	15	290	17,0	15,0	13,0	-13,9	-51,1	87	33S/55W	53
17/3/81	0	0	12	0	0	926,0	6	310	18	285	21	-	20*	14,0	9,0	-16,9	-50,3	86	37S/55W	54
18/3/81	5	1	5	0	0	927,0	2	-	2*	-	3*	-	18*	10,8	19,0*	-5,0*	-41,0*	86	37S/55W	46

OBSERVAÇÕES: O - ÓTIMA

B - BOA

A - ACEITÁVEL

I - INADEQUADA

M - MÁ

* Dados extrapolados de pontos de grade a partir das plotagens do NMC

- Centro do jato extrapolado de pontos de grade a partir das plotagens do NMC

- Nos dias característicos de baixos índices de poluição foram observadas as seguintes situações:

1) Ventos fortes em 250mb, superiores a 25m/s (Tabela 4.3), e corrente de jato com centro próximo a São Paulo. Nesta situação observou-se que São Paulo estava sob o eixo de uma crista ou que havia um cavado a oeste, próximo da região nos níveis de 250 a 500mb. Verificou-se também a presença de circulação anticiclônica, com entrada de ar marítimo, no nível de 850mb e com ventos que predominavam do quadrante leste-sul. Esta situação pôde ser identificada nas imagens de satélite, quando foi notada a presença de nebulosidade baixa desde o litoral até a região de São Paulo, após a passagem de uma frente fria. Observou-se também que o escoamento em altos níveis no sul do País era de SW. Estes episódios foram observados principalmente em meses representativos de inverno, como ilustrado na Seção 4.3.3.

2) Ventos fracos em 250mb, inferiores a 25m/s (Tabela 4.3), e jato ao sul do País com velocidades máximas de até 70m/s. Observou-se a circulação ciclônica ou zonal em 500mb, e em 250mb verificou-se a circulação anticiclônica sobre ou ao norte de São Paulo. Nas imagens de satélite constatou-se intensa nebulosidade sobre o continente. Observou-se também a presença de centros de baixa pressão em superfície. Sobre a região observou-se a atividade convectiva também relacionada com a passagem das frentes, com maior atividade sobre a cidade. Em geral, observou-se esta situação nos meses representativos de verão, e na Seção 4.3.4 apresenta-se um episódio ilustrativo de março de 1981.

4.2.2 - ISOTERMAS

A análise das isotermas obtidas com os dados do NMC para níveis acima da superfície não mostrou qualquer configuração aparente que pudesse caracterizar situações de altos e baixos índices de poluição. As isotermas apresentaram-se com variação espacial uniforme em todo o período estudado. Para a análise dos perfis de temperatura utilizaram-se apenas radiossondagens.

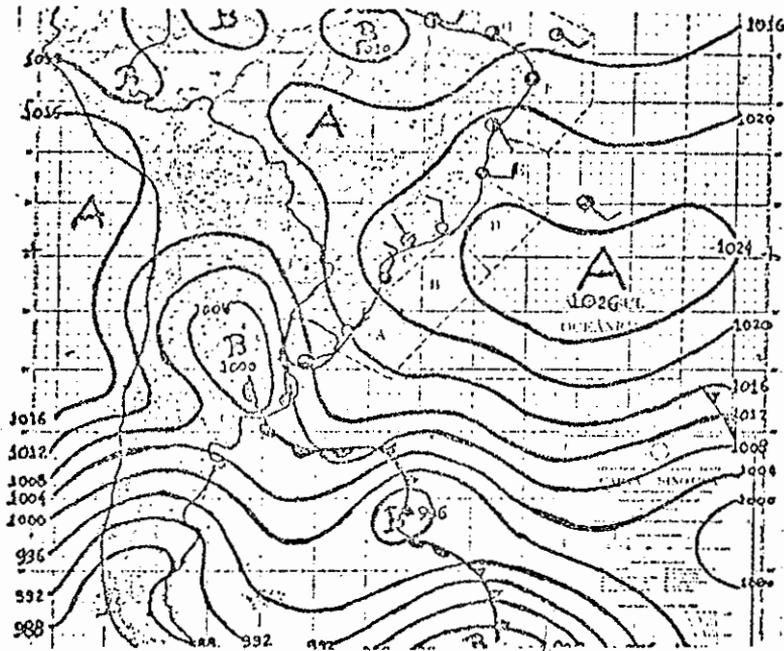
4.3 - CASOS ESPECÍFICOS

Nas seções seguintes descrevem-se alguns casos específicos que ilustram as situações observadas nas Seções 4.1 e 4.2.

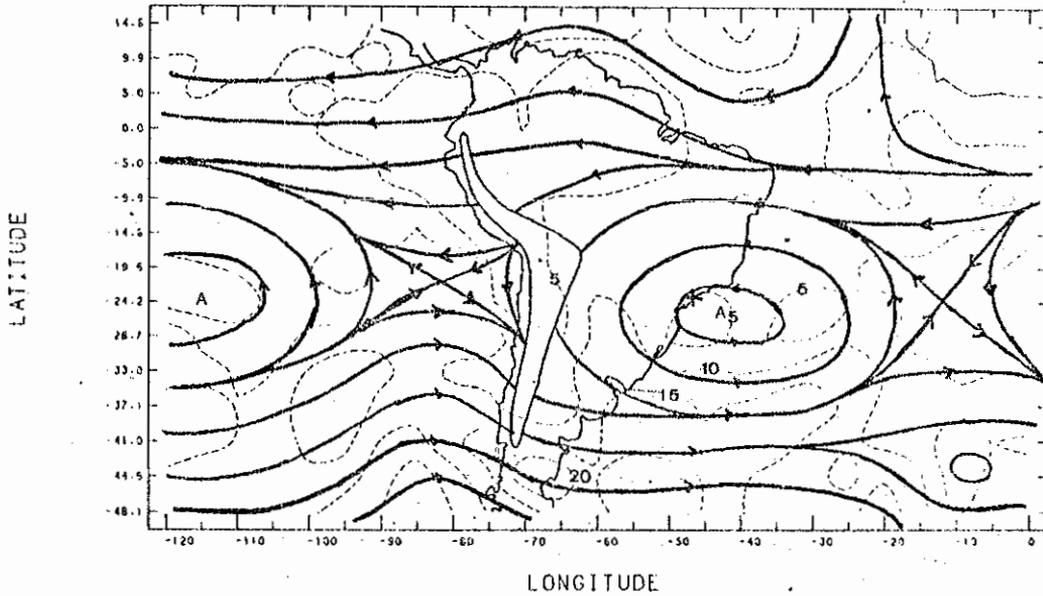
4.3.1 - ALTOS ÍNDICES DE POLUIÇÃO: 30/07/79 A 04/08/79

Durante este período os índices permaneceram altos, com até 6 estações indicando qualidade do ar "MA". De acordo com a Tabela 4.3 as velocidades dos ventos em 250mb eram menores que 25m/s durante todo o episódio em que os índices estiveram altos, tendo sido registrado até 3m/s. Observou-se a circulação anticiclônica fechada em todos os níveis estudados nos dias 30 e 31 de julho. De 01 a 03 de agosto havia uma crista em 250mb e no dia 04 o escoamento apresentou um cavado com eixo a oeste de São Paulo, o que coincidiu com a melhoria dos índices. Neste dia também observou-se que os ventos neste nível aumentaram a intensidade. Nos níveis de 850 a 500mb o escoamento apresentou circulação anticiclônica fechada até o dia 03. No dia 04 ainda havia circulação anticiclônica em 850mb, mas foi observada a presença de um cavado com eixo a oeste de São Paulo em 500mb. Observou-se também o predomínio do anticiclone subtropical durante o período de altos índices e a presença de um sistema frontal ao sul do Uruguai. Durante todo o período de altos índices o escoamento ao sul do continente, em 250mb, permaneceu de noroeste. A Figura 4.5 mostra a carta de superfície e a configuração do escoamento acima da superfície no dia 30 de julho, ilustrando o que foi exposto acima. Este dia caracterizou bem uma situação de altos índices de poluição.

Este episódio, na realidade, estendeu-se pela primeira quinzena de agosto, tendo sido observado que durante todo este período os ventos em 250mb permaneceram fracos, e a configuração do escoamento foi semelhante à descrita acima. Houve dias nos quais os índices melhoraram, embora tal melhora não tenha sido significativa e tenha durado pouco tempo (1 dia). Estas variações coincidiram com o aumento dos ventos em 250mb, configuração zonal ou ciclônica em 250 e 500mb, e passagem de uma frente fria por São Paulo.



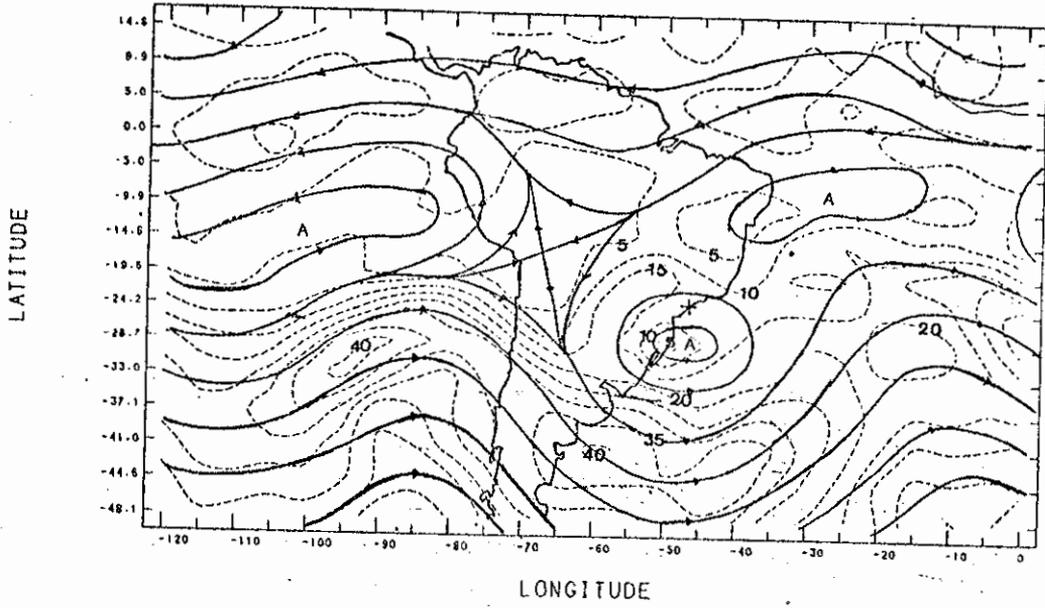
a) Carta de superfície.



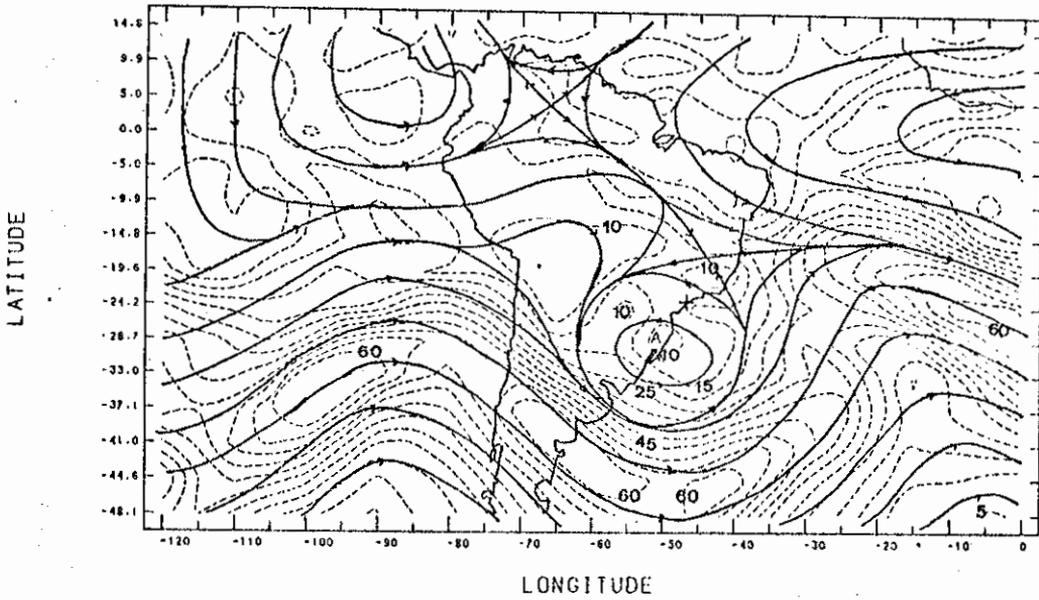
b) Linhas de corrente (—) e isotacas em m/s (---) para o nível de 850mb.

Fig. 4.5 - Configuração sinótica em superfície e nos altos níveis do dia 30/07/79 às 09:00h local.

(continua)



c) Linhas de corrente (—) e isotacas em m/s (---) para o nível de 500mb.



d) Linhas de corrente (—) e isotacas em m/s (---) para o nível de 250mb.

Fig. 4.5 - Conclusão.

A Figura 4.6 mostra a imagem no canal infravermelho do satélite GOES no dia 30 de julho de 1979 às 15:16h local. Esta imagem caracteriza bem a configuração do escoamento nos episódios de altos índices, como este que está sendo descrito. Observa-se que o território brasileiro e grande parte da América do Sul estão praticamente sem nebulosidade, o que mostra a atuação da alta subtropical sobre a região, indicando que deve haver forte subsidência em toda a área. Observa-se também o jato intenso ao sul do Uruguai. Neste dia, o centro do jato apresentou velocidades superiores a 60m/s (observado nas plotagens das isotacas). Verifica-se também que a massa de ar que atravessa os Andes, na costa do Chile, está se dirigindo para sudeste, sem condições de permitir alterações na configuração do escoamento sobre a região de São Paulo. Pela imagem, nota-se no Pacífico um vórtice ciclônico desprendido que favorece uma bifurcação do escoamento, originando uma situação estacionária dos sistemas. Além disto nota-se que o escoamento em 250mb (Figura 4.5d), sobre o continente, também apresenta uma bifurcação. Ambas as configurações sugerem uma situação de bloqueio. Tal situação parece ter permanecido até o dia 03 de agosto, dificultando assim a penetração dos sistemas frontais no Brasil.

A análise das radiossondas durante este período mostrou a presença de inversões térmicas próximas à superfície, conforme se vê na Figura 4.7. Verifica-se que nos dias em que os índices estiveram mais altos (30/07 a 03/08) houve a presença de inversões térmicas com base entre 100 e 300m de altura. Esta situação parece ocorrer em função do movimento subsidente ocasionado pela presença de circulação anticyclônica observada em todos os níveis da atmosfera durante este período.

A Figura 4.8 mostra a evolução da média das concentrações de SO₂ e MP e a evolução das variáveis meteorológicas para este episódio. Conforme explicado no texto, nota-se o aumento das concentrações acompanhado da redução dos ventos em 250mb e em superfície, e da camada de instabilidade. Com relação à camada de instabilidade nula no dia 4, cabe observar que se tratou de sábado, o que por si só explica a redução nas concentrações. Quanto ao aumento da velocidade dos ven

tos em 250mb neste mesmo dia, este se deu devido à aproximação da cor
rente de jato da região de São Paulo que, por sua vez, estava associa
do à uma frente que passou pela cidade entre os dias 5 e 6.

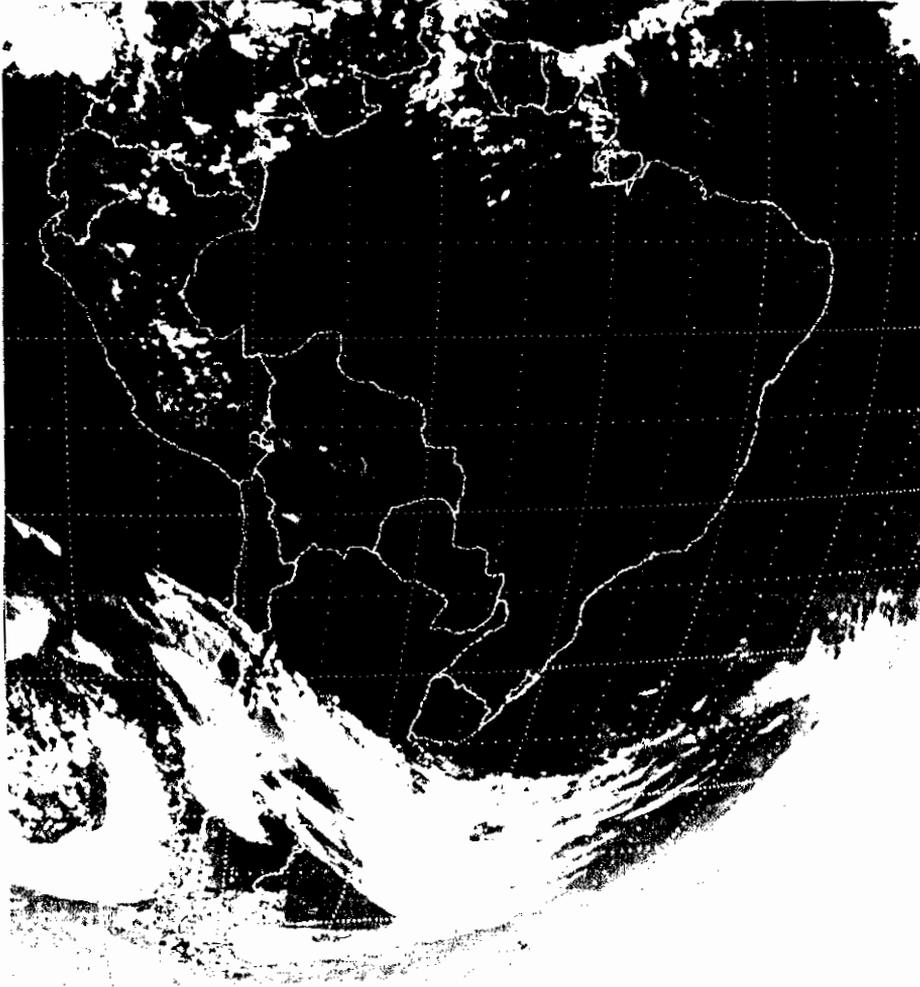


Fig. 4.6 - Imagem do canal infravermelho do satélite GOES
no dia 30/07/79 às 15:16 h local.

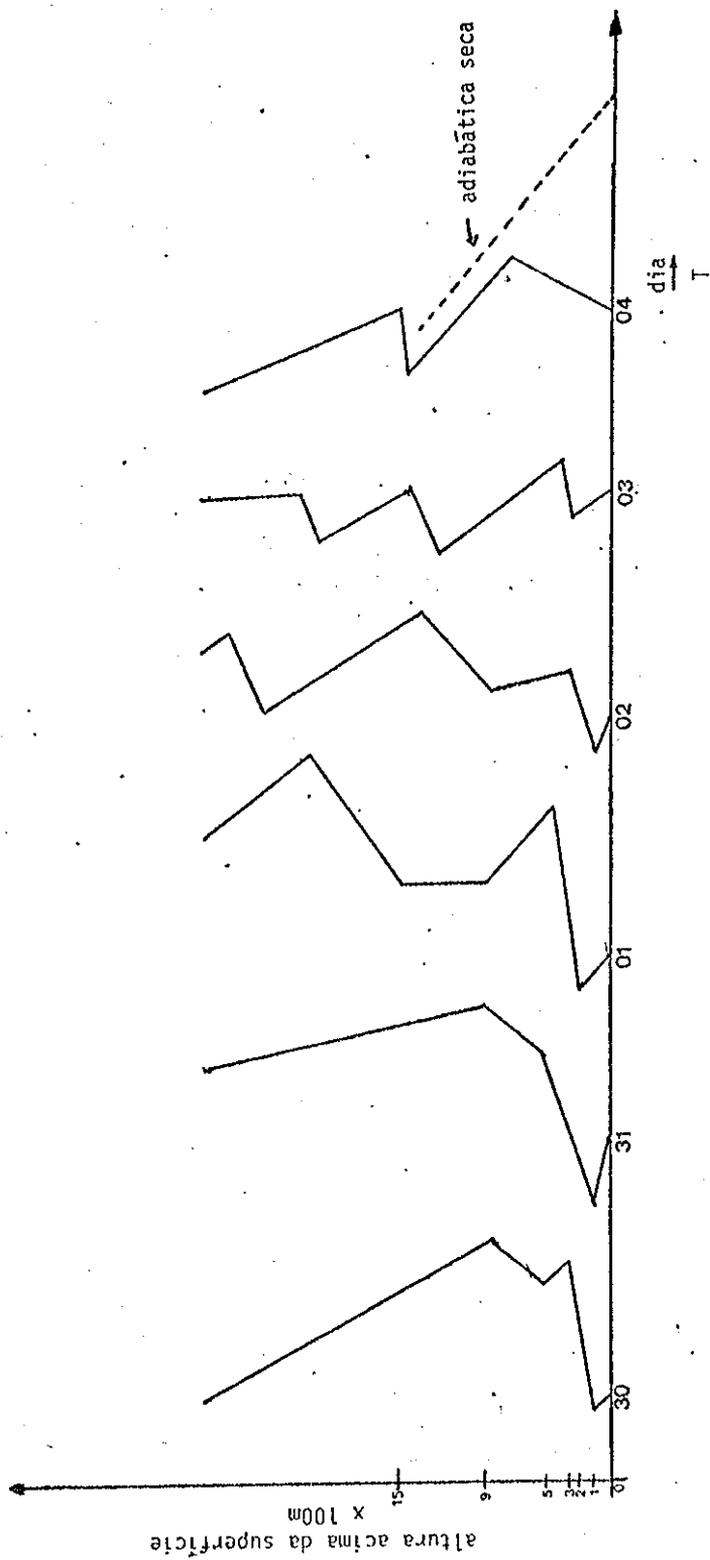


Fig. 4.7 - Perfil de temperatura no período de 30/07/79 a 04/08/79 às 0900h local.

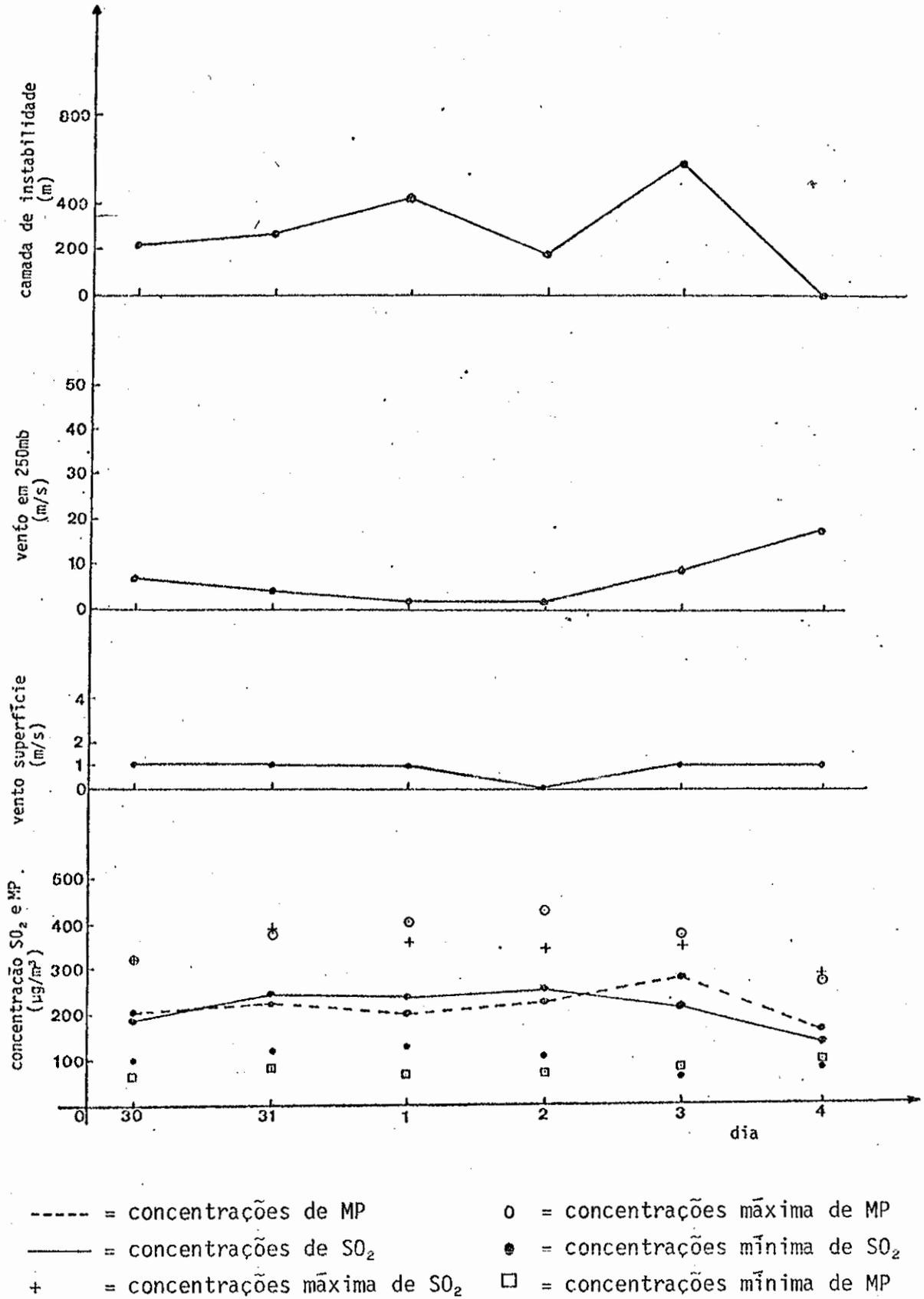


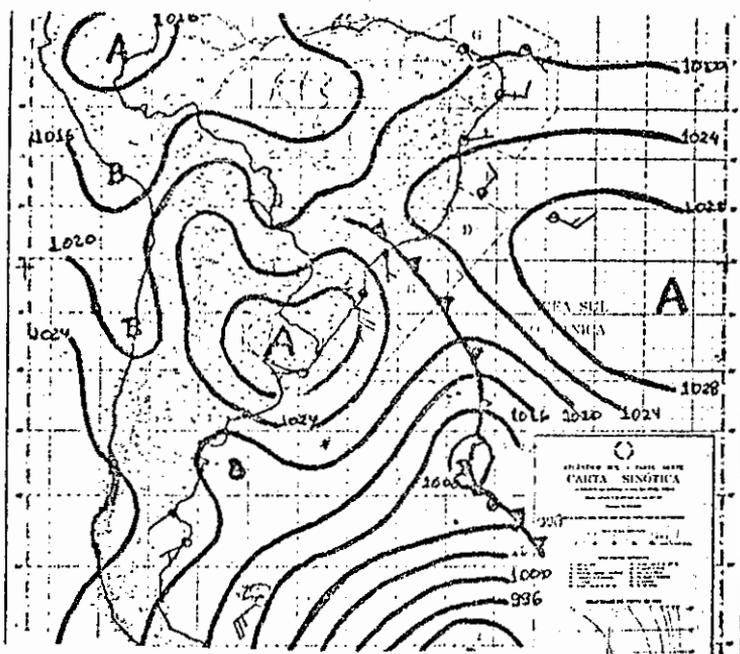
Fig. 4.8 - Evolução da média das concentrações de SO₂ e MP e das variáveis meteorológicas para o período de 30/07/79 a 04/08/79.

4.3.2 - ALTOS ÍNDICES DE POLUIÇÃO: 04/07/79 A 06/07/79

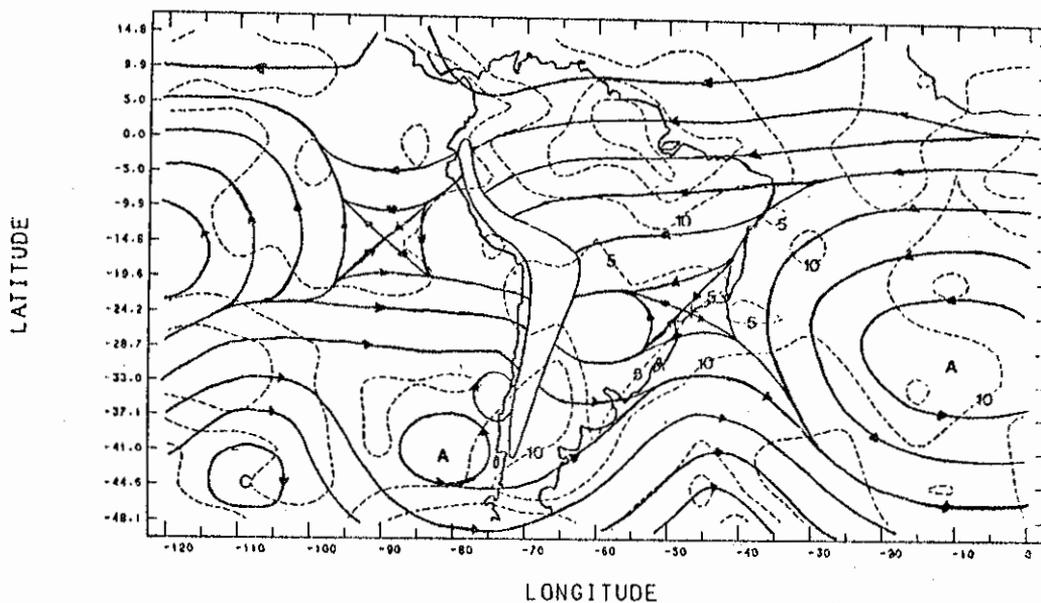
Este caso ilustra uma situação na qual os índices de poluição estiveram altos e os ventos no ar superior fortes, como pode ser visto na Tabela 4.3. Além disto houve uma frente sobre São Paulo no dia 05 de julho.

O escoamento em 850mb mostrou circulação anticiclônica com ventos de norte e noroeste durante todo o período em que os índices estiveram altos. Em 500mb observou-se um cavado que se deslocou passando por São Paulo no dia 05, coincidindo com a passagem da frente. Encontrou-se também circulação anticiclônica fechada com centro ao norte do continente, durante todo o período em que os índices permaneceram altos, juntamente com a presença de um jato com centro em torno de $30^{\circ}\text{S}/50^{\circ}\text{W}$. A Figura 4.9 mostra a configuração do escoamento no dia 05, onde se pode observar a presença da frente em superfície, na região de São Paulo. No nível de 250mb, verifica-se que a cidade está sob uma crista e o jato está próximo da região.

A imagem de satélite do dia 05 (Figura 4.10) mostra a frente sobre São Paulo, sem atividade convectiva, e o jato ao norte da Argentina, sul do Paraguai e norte do Paraná. Observa-se também que o continente brasileiro está praticamente sem nebulosidade ao norte do Estado de São Paulo.



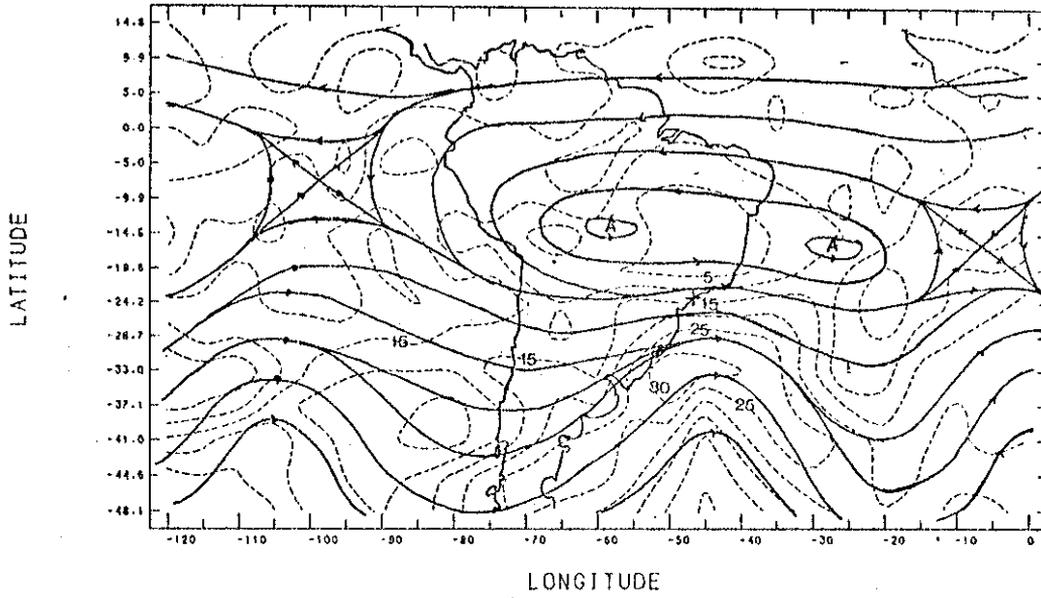
a) Carta de superfície.



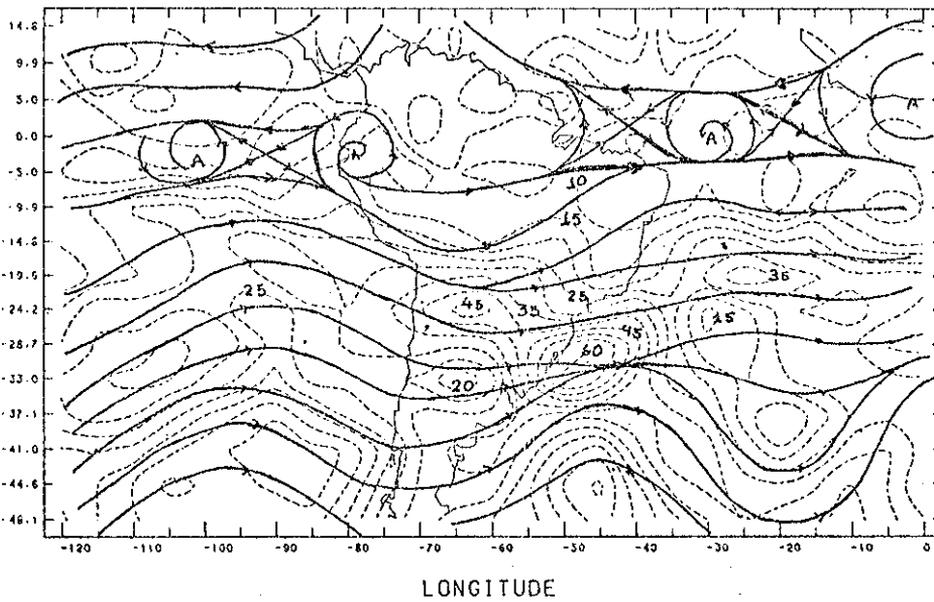
b) Linhas de corrente (—) e isotacas em m/s (---) para o nível de 850mb.

Fig. 4.9 - Configuração sinótica em superfície e nos altos níveis do dia 05/07/79 às 09:00h local.

(continua)



c) Linhas de corrente (—) e isotacas em m/s (...) para o nível de 500mb.



d) Linhas de corrente (—) e isotacas em m/s (...) para o nível de 250mb.

Fig. 4.9 - Conclusão.

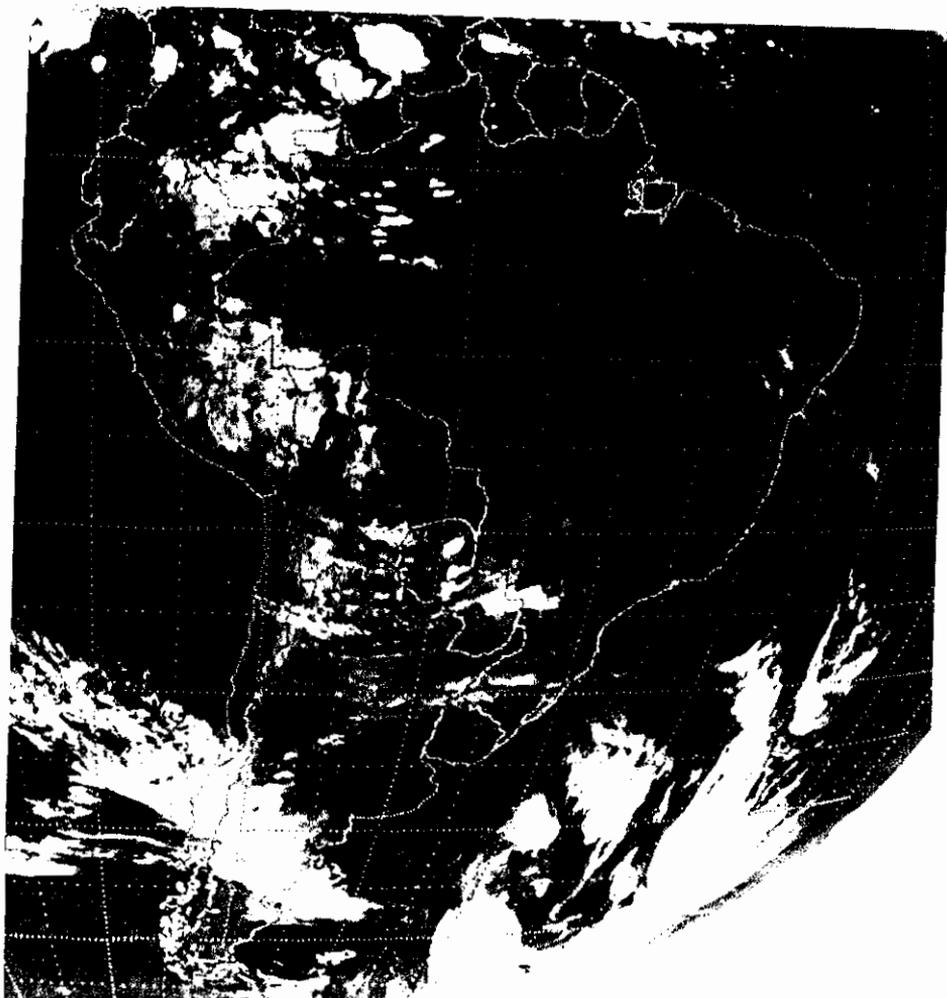


Fig. 4.10 - Imagem no canal infravermelho do satélite GOES no dia 05/07/79 às 9:16 h local.

Em superfície havia a presença da frente sobre a região de São Paulo (Figura 4.9), mas, no entanto, os índices sõ caíram no dia 06. Isto ocorreu por que devido ao período de coleta das estações da CETESB (Seção 3.1), a situação atmosférica apenas influenciou os índices do dia seguinte. Observou-se que no dia 05 a atmosfera estava estável até 700m de altura. Além disto, neste dia, os ventos estavam muito fracos em superfície (1m/s) como pode ser visto na Tabela 4.3. No dia 06 porem, uma inversão de temperatura com base em torno de 450m, definindo uma altura de mistura mais elevada, foi observada. Neste dia os ventos em superfície eram de 4m/s (Tabela 4.3). Esta situação favoreceu a dispersão dos poluentes, e no dia 06 uma estação indicava a qualidade do ar "ÓTIMA", enquanto outras duas indicavam a qualidade do ar "BOA" e as demais, "ACEITÁVEL" (ver Tabela 4.3). A inatividade da

frente não permitiu a dispersão dos poluentes entre o dia 04 e 05, pois criou uma situação de estabilidade estática próxima à superfície. Além disto os ventos estavam muito fracos. Com a circulação marítima no dia 06 provocando ventos fortes e maior instabilidade, os poluentes foram dispersos com maior facilidade. A Figura 4.11 mostra a evolução dos perfis de temperatura para este episódio.

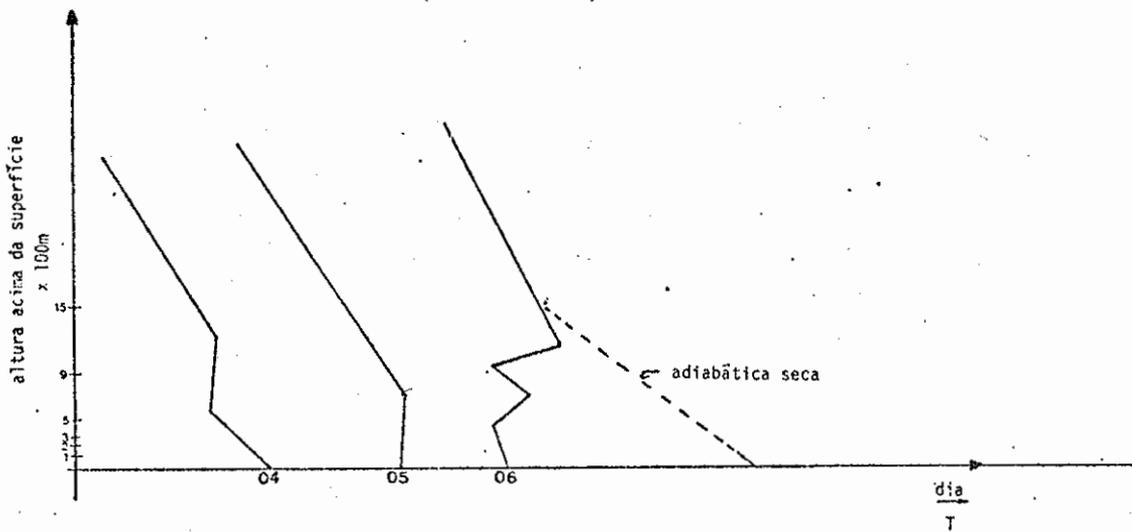


Fig. 4.11 - Perfil de temperatura no período de 04/07/79 a 06/07/79 às 0900 h local.

A Figura 4.12 ilustra a evolução das médias das concentrações de SO_2 e MP e a evolução de variáveis meteorológicas para este episódio. Sua legenda é a mesma da Figura 4.8. Verifica-se que a queda das concentrações (6/7) foi acompanhada pelo aumento dos ventos em superfície e da camada de instabilidade. A queda na velocidade dos ventos em 250mb deu-se devido ao fato de a frente ter sido bastante inativa, o que influenciou por pouco tempo a região que voltou a sentir a influência do anticiclone subtropical.

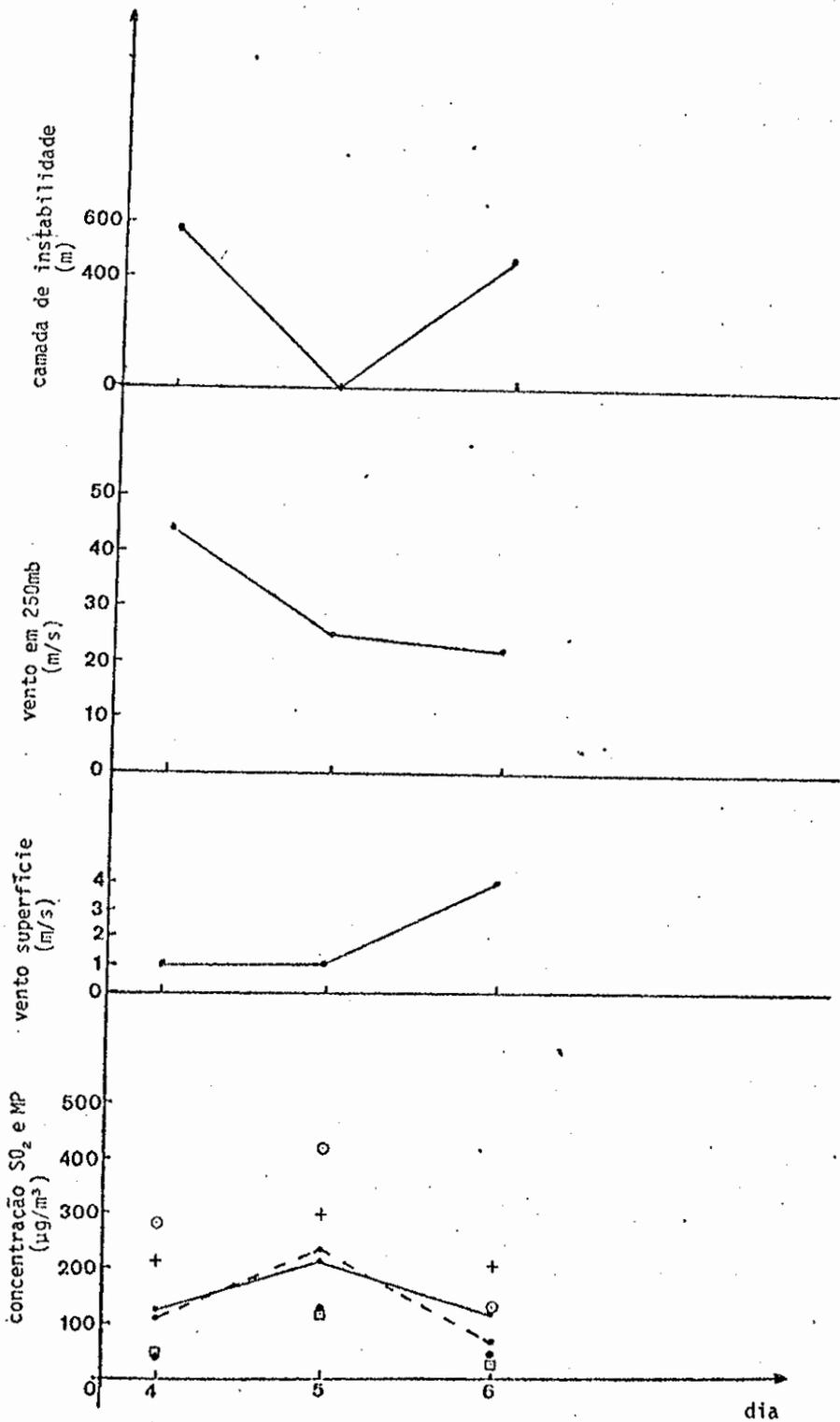
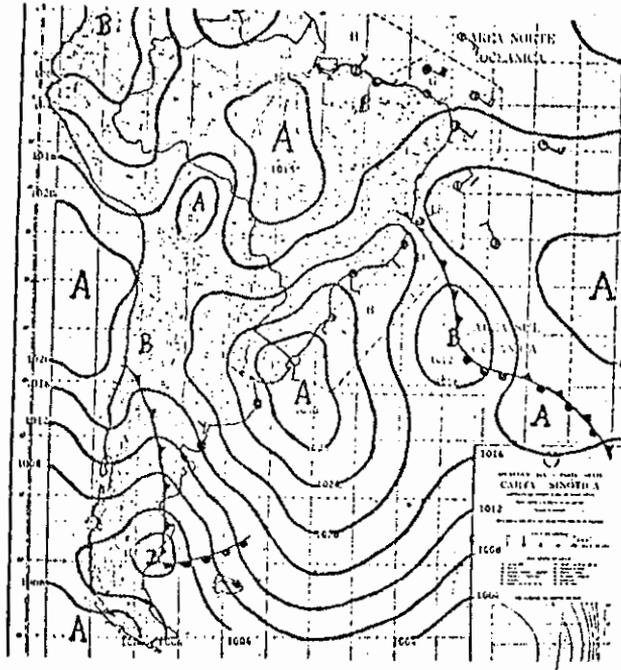


Fig. 4.12 - Evolução da média das concentrações de SO₂ e MP e das variáveis meteorológicas para o período de 04/07/79 a 06/07/79.

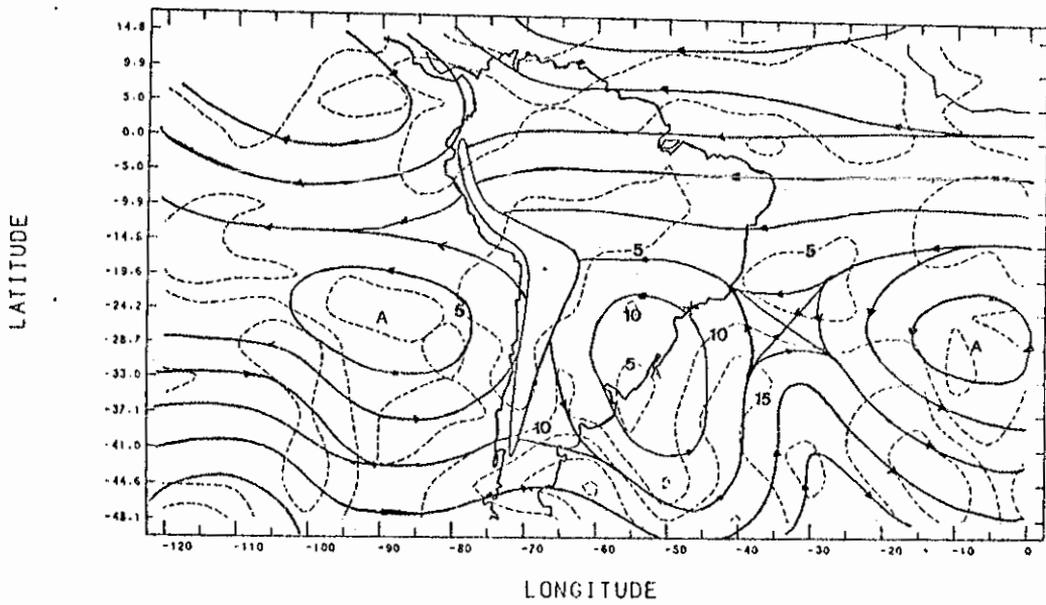
4.3.3 - BAIXOS ÍNDICES DE POLUIÇÃO: 11/08/80 A 15/08/80

Durante este período os índices de poluição estiveram baixos, tendo sido encontradas até 07 estações que indicavam condição "ÓTIMA" e as demais "BOA" e "ACEITÁVEL". Nestes dias o jato em 250mb foi localizado próximo à região de São Paulo, e os ventos sobre a cidade atingiram valores superiores a 40m/s, como mostra a Tabela 4.3. Observou-se a presença de um cavado em 250mb próximo a São Paulo nos dias 11 e 12, o qual passou pela região no dia 13. Em 500mb verificou-se um cavado associado a uma frente que passou pela cidade no dia 11. A partir do dia 13 o escoamento foi mais zonal neste nível. Em 850mb observou-se circulação anticiclônica, com ventos que predominavam de sudeste nos dias 12 e 13. Observou-se também que o escoamento no sul do País foi de sul. A Figura 4.13, que mostra as cartas de superfície e dos níveis acima da superfície, ilustra a configuração sinótica no dia 12 de agosto. Neste dia foi registrado o índice mais baixo deste período. Observa-se na Figura 4.13 a frente fria posicionada ao norte de São Paulo e a atuação do anticiclone frio. Nota-se também em 850mb a circulação com ventos predominantes de sul (Figura 4.13b) e em 250mb, a presença do cavado a oeste da cidade e os centros do jato sobre a região (Figura 4.13d).

A imagem transmitida pelo satélite no dia 12 (Figura 4.14) caracteriza este episódio. Observa-se uma frente sobre São Paulo com maior atividade sobre o oceano. O jato, embora não bem definido nesta imagem posiciona-se com seu centro ao norte de São Paulo (Figura 4.13), próximo à região. Ao longo da costa e estendendo-se um pouco para o interior do continente, observou-se nebulosidade baixa, o que caracteriza a entrada de ar marítimo em baixos níveis, devido à circulação anticiclônica. O escoamento ao sul do continente apresentou uma componente para nordeste, como mostra a direção do escoamento dos cirrus, o que indicava haver condições propícias para o deslocamento dos sistemas.



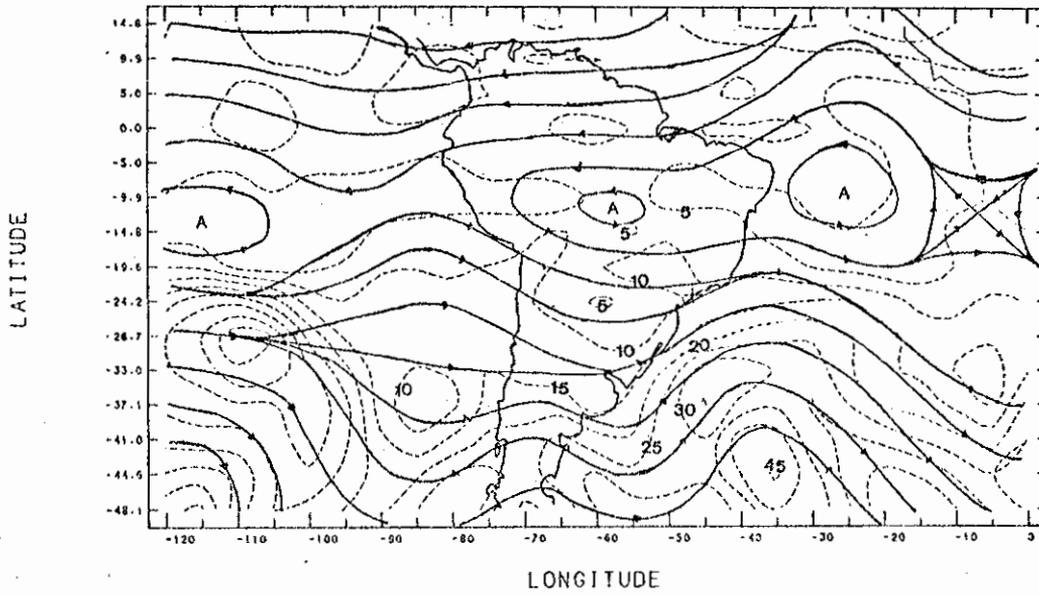
a) Carta de superfície.



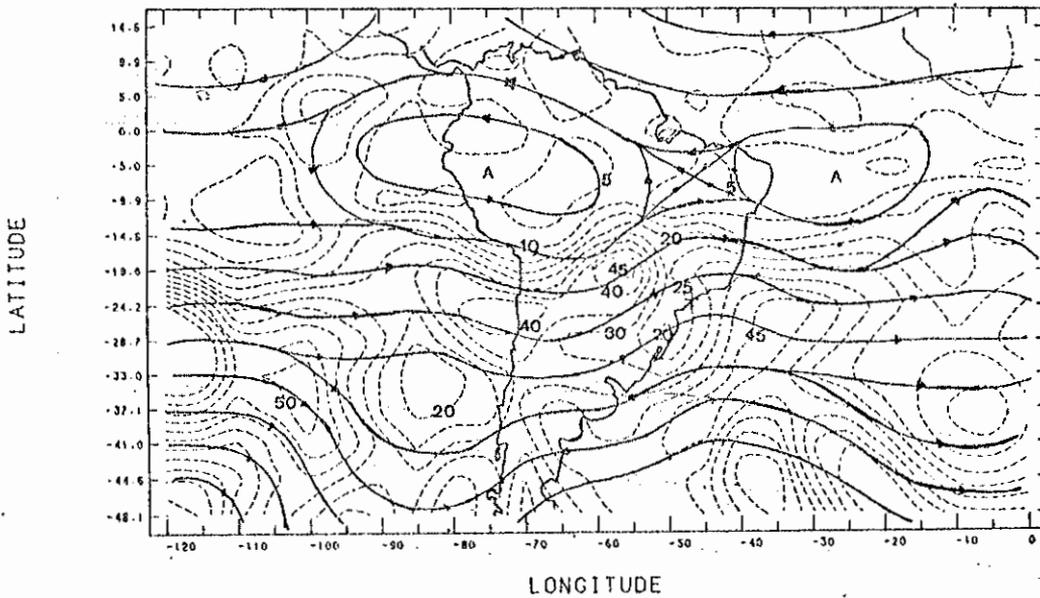
b) Linhas de corrente (—) e isotacas em m/s (---) para o nível de 850mb.

Fig. 4.13 - Configuração sinótica em superfície e nos altos níveis do dia 12/08/80 às 09:00 h local.

(continua)



c) Linhas de corrente (—) e isotacas em m/s (···) para o nível de 500mb.



d) Linhas de corrente (—) e isotacas em m/s (···) para o nível de 250mb.

Fig. 4.13 - Conclusão.

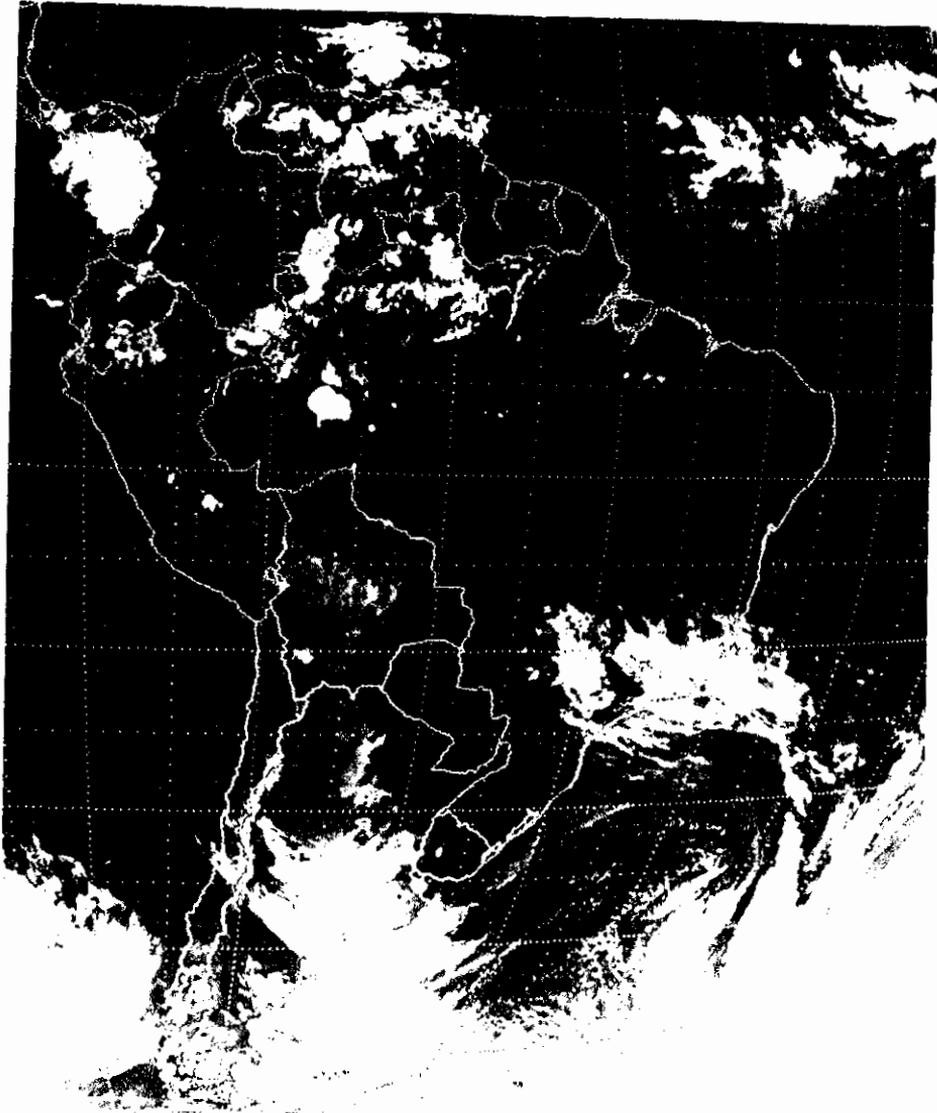


Fig. 4.14 - Imagem no canal infravermelho do satélite GOES no dia 12/08/80 às 10:17h local.

Os perfis de temperatura obtidos das radiossondas mostram a presença de inversões térmicas próximas à superfície, o que define a baixa altura de mistura (200m), apenas nos dias 11 e 14. Nestes dias foram registrados os níveis mais altos de poluição para o período. A Figura 4.15 ilustra estes perfis de temperatura.

A Figura 4.16 mostra a evolução das médias das concentrações de SO_2 e MP e das variáveis meteorológicas para este episódio. A legenda da Figura 4.8 também é válida para esta. Observa-se que as concentrações diminuíram no dia 12, o que coincidiu com o aumento dos ventos em superfície (9m/s) e da camada de instabilidade (1600m). Vê-se na Figura 4.13 que o vento em 250mb, embora tenha diminuído, acompanhou o centro do jato, o qual atingiu 40m/s.

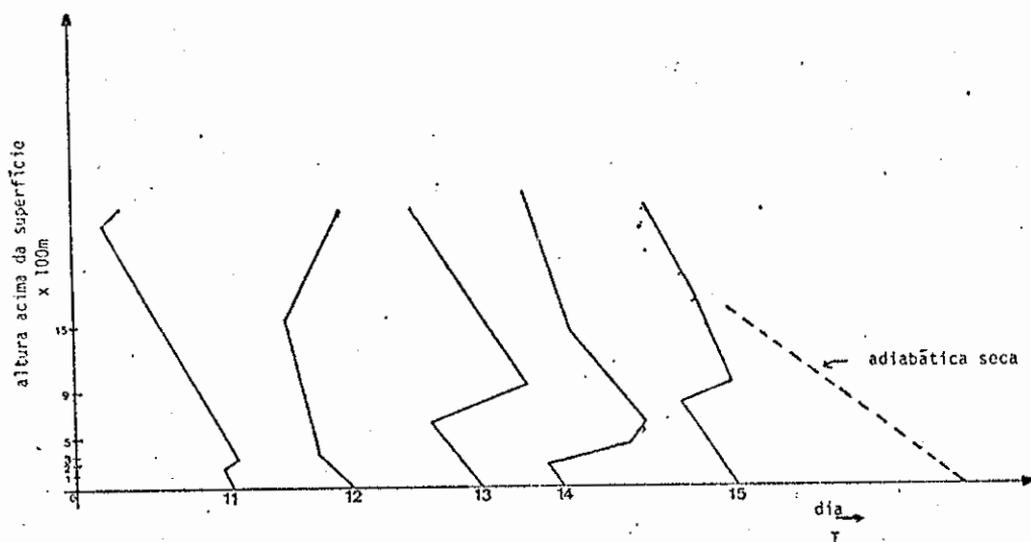


Fig. 4.15 - Perfil de temperatura no período de 11/08/80 a 15/08/80 às 09:00h local.

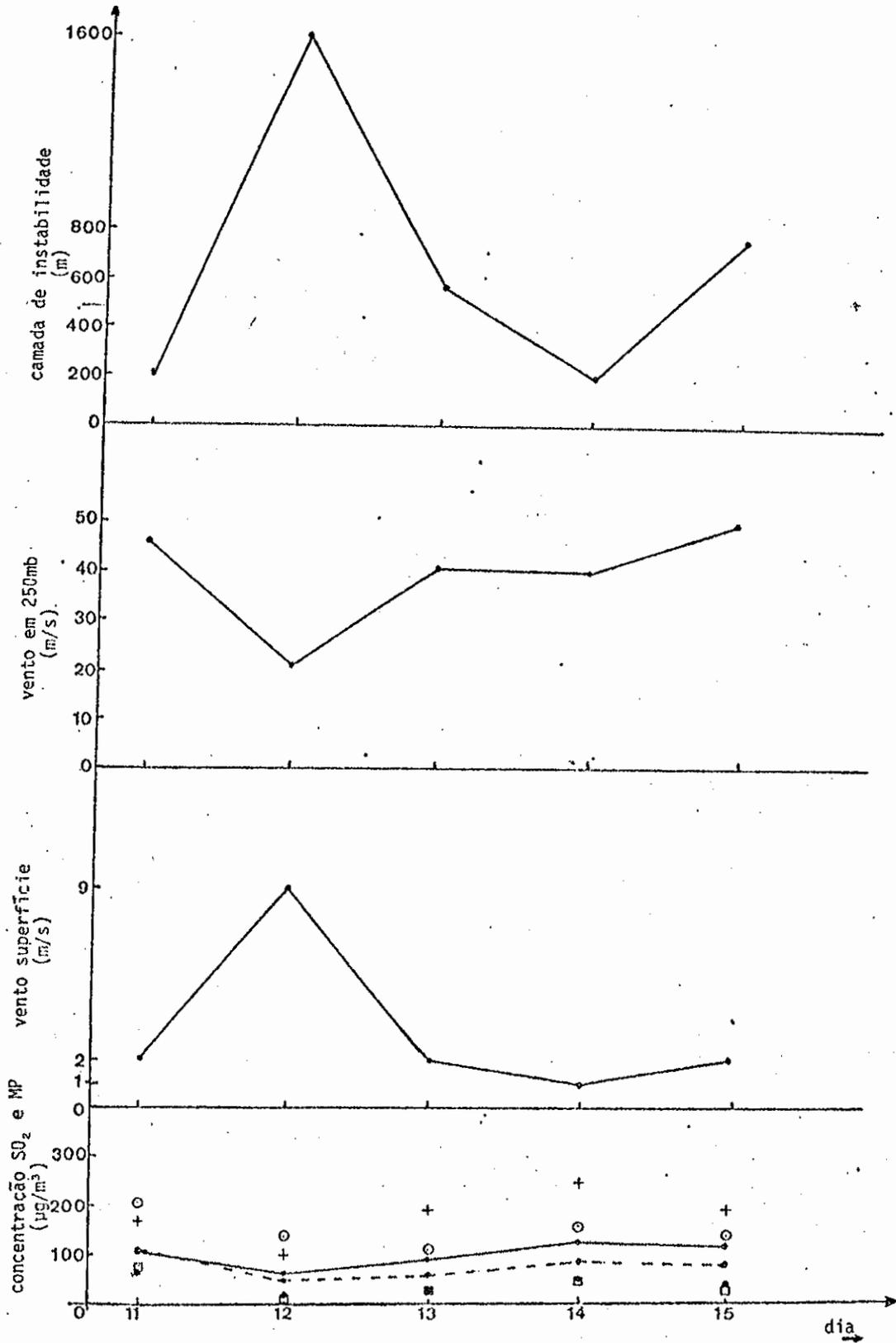
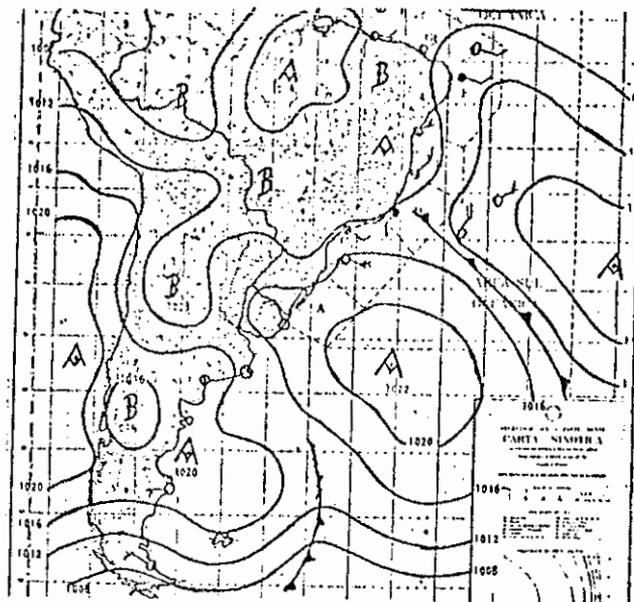
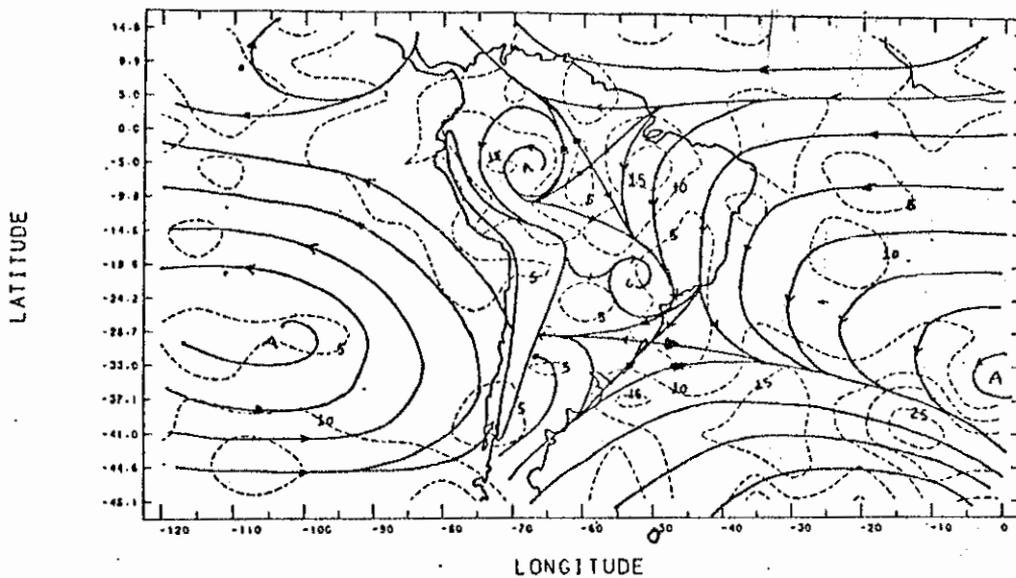


Fig. 4.16 - Evolução da média das concentrações de SO₂ e MP e das variáveis meteorológicas para o período de 11/08/80 a 15/08/80.



a) Carta de superfície.



b) Linhas de corrente (—) e isotacas em m/s (---) para o nível de 850mb.

Fig. 4.17 - Configuração sinótica em superfície e nos altos níveis do dia 18/03/81 às 09:00h local.

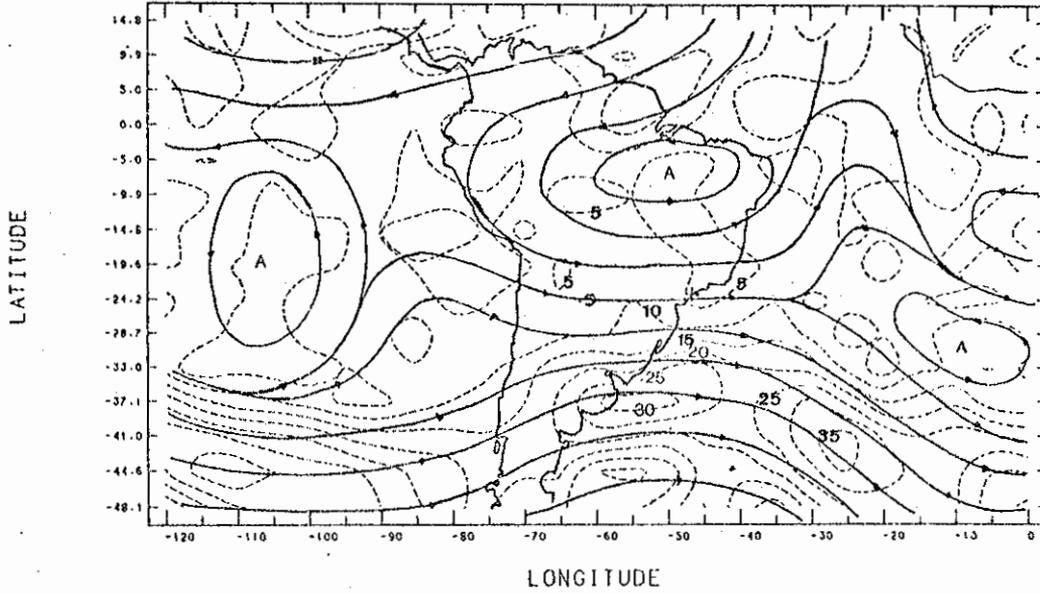
(continua)

4.3.4 - BAIXOS ÍNDICES DE POLUIÇÃO: 16/03/81 A 18/03/81

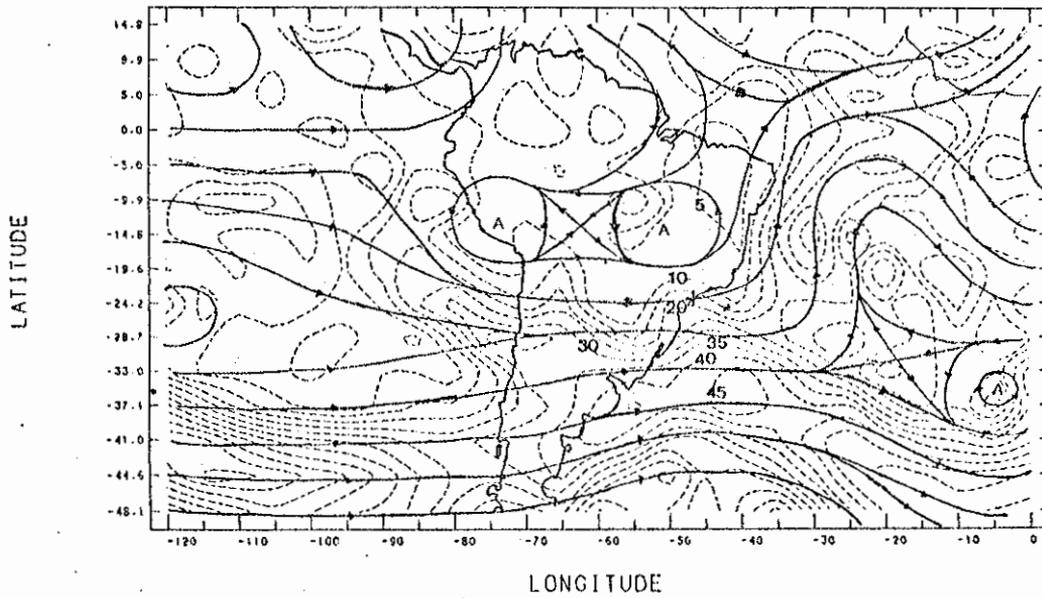
Neste caso os índices foram baixos no dia 18, com 05 estações que indicavam qualidade do ar "ÓTIMA". Em 250mb os ventos estavam fracos (menores que 25m/s) em todo o período, como mostra a Tabela 4.3. Observou-se a presença de circulação anticiclônica em 250mb, acima de 25°S e um cavado a oeste de São Paulo em 500mb, como mostra a Figura 4.17. Pela carta de superfície verificou-se o predomínio de um anticiclone frio sobre a cidade e a presença de uma frente fria ao norte do dia 18.

Pela imagem de satélite do dia 18 às 12:16h local (Figura 4.18) pode-se ver intensa nebulosidade ao norte de 25°S, sobre quase todo o País. Sobre a região de São Paulo observa-se nebulosidade média e baixa associada à frente que passou pela cidade no dia anterior. As radiossondagens mostraram camadas de instabilidade superiores a 400m nos dias 16 e 17. No dia 18 não houve dados de temperatura na radiossondagem.

A Figura 4.19 ilustra a evolução deste caso. A legenda desta figura é a mesma da Figura 4.8. Observou-se que as médias das concentrações foram baixas durante todo o período, bem como os ventos em 250mb. Em superfície os ventos chegaram a atingir 6m/s (17/03/81).



c) Linhas de corrente (—) e isotacas em m/s (---) para o nível de 500mb.



d) Linhas de corrente (—) e isotacas em m/s (---) para o nível de 250mb.

Fig. 4.17 - Conclusão.



Fig. 4.18 - Imagem no canal infravermelho do satélite GOES no dia 18/03/81 às 12:16h local.

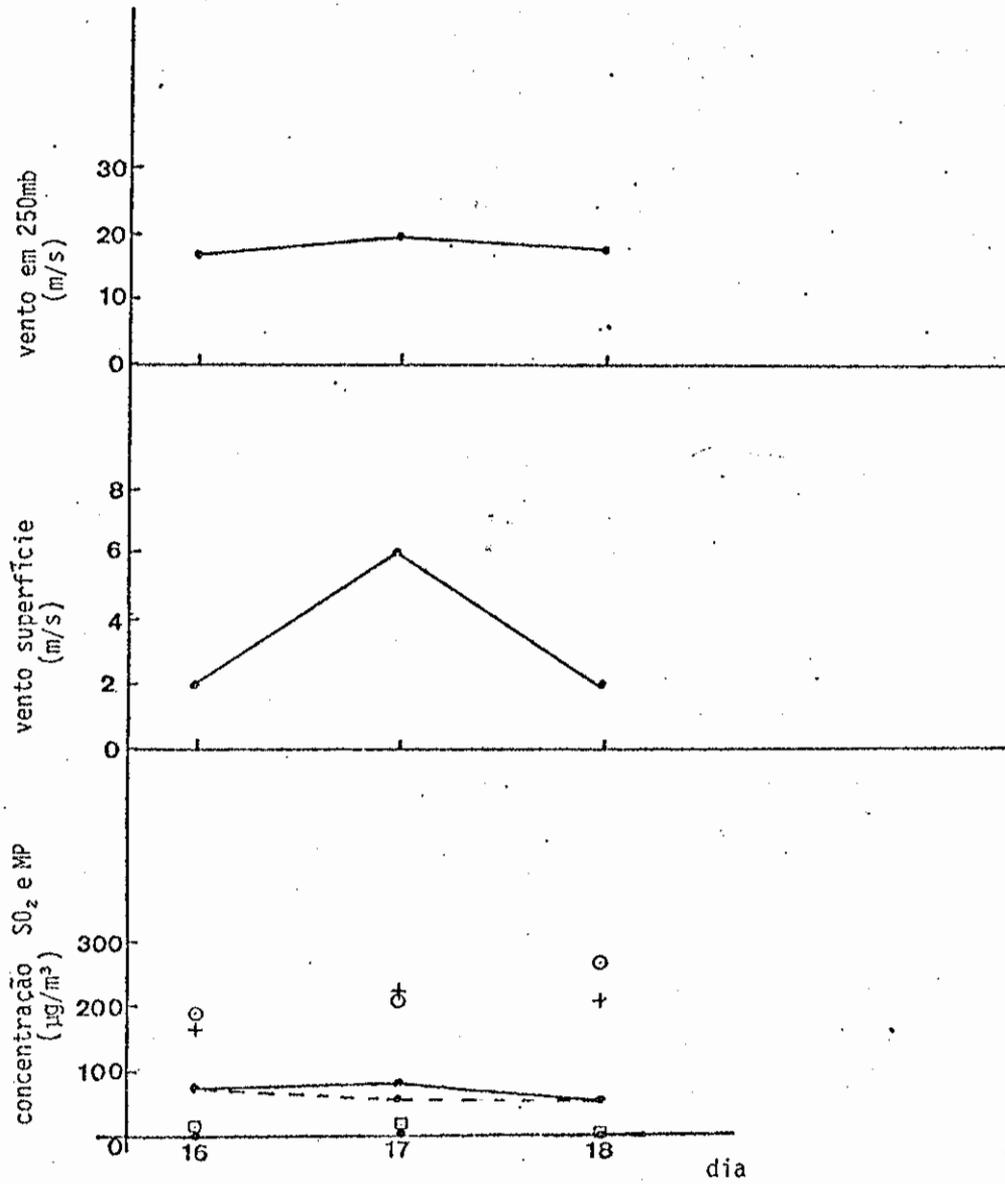


Fig. 4.19 - Evolução da média das concentrações de SO₂ e MP e das variáveis meteorológicas para o período de 16/03/81 a 18/03/81.

4.4 - TESTE DE VERIFICAÇÃO

As situações observadas nos episódios característicos de baixos e altos índices de poluição sugeriram parâmetros sinótico-meteorológicos que podem ser utilizados num critério para o diagnóstico e a previsão de potencial de poluição. Tais parâmetros são:

- Vento em 250mb na região de São Paulo.
- Presença da corrente de jato e sua localização em relação a São Paulo.
- Presença de circulação anticiclônica em 850, 500 e 250mb.
- Predomínio do anticiclone subtropical em superfície sobre a região.
- Presença de circulação anticiclônica com ar marítimo em superfície e em 850mb.
- Escoamento no sul do continente.
- Presença e atividade de uma frente fria em São Paulo.

Em função destes parâmetros, episódios de altos índices de poluição ocorreriam e persistiriam quando:

- a) os ventos em 250mb forem fracos na região de São Paulo e a corrente de jato estiver posicionada no sul do País, com escoamento ao sul da corrente de jato zonal ou dirigido para sudeste (ver Figura 4.20);
- b) ocorrer a presença de anticiclone subtropical predominando sobre São Paulo e frente fria ao sul da cidade, ou então circulação anticiclônica em todos os níveis.

Os parâmetros do item a) informam acerca da persistência do sistema sinótico sobre a região. Os parâmetros do item b) estão relacionados com a alta estabilidade da atmosfera que inibe a dispersão dos poluentes.

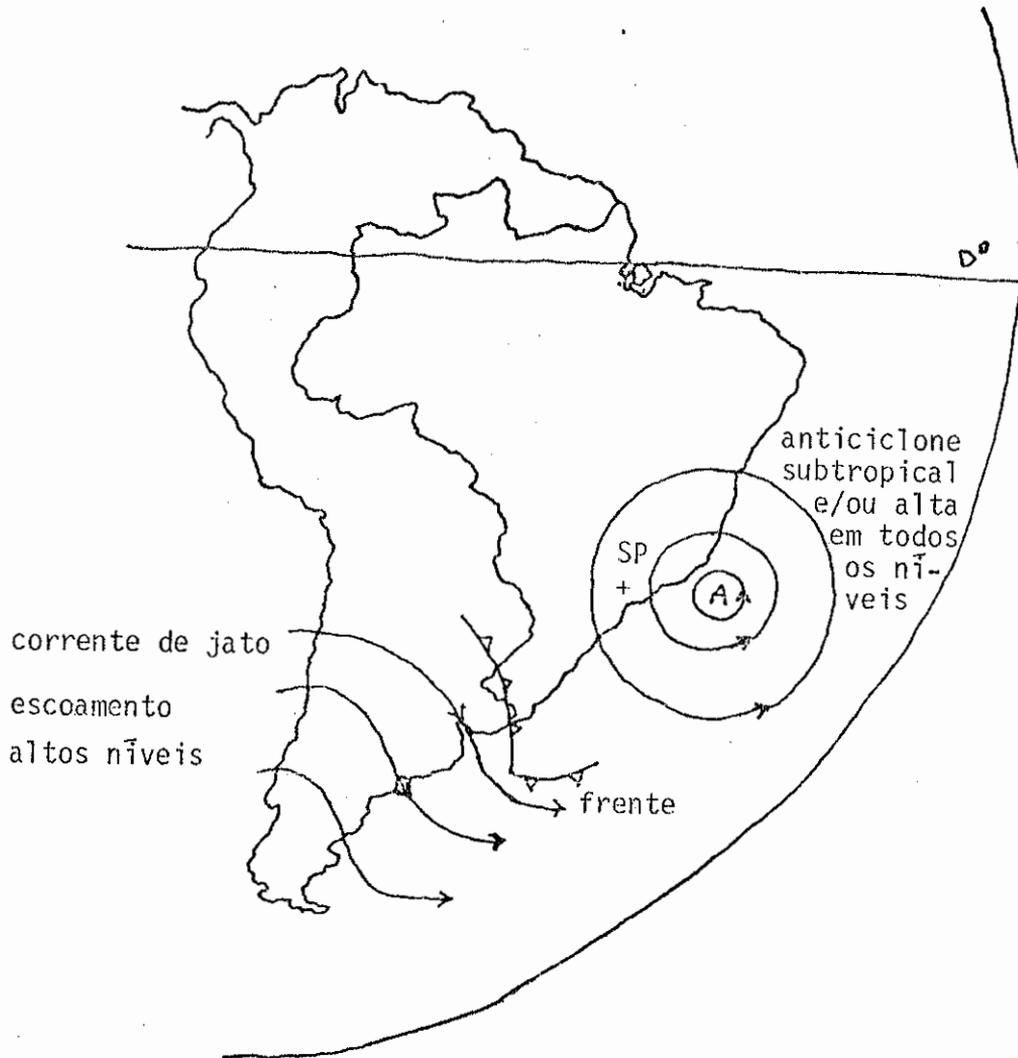


Fig. 4.20 - Posição esquemática dos sistemas sinóticos em situações características de altos índices de poluição.

Os episódios de baixos índices ocorreriam e persistiriam quando existisse:

- a) Ocorrência de ventos fortes em 250mb associados ao jato próximo de São Paulo, e escoamento no sul do continente dirigido para norte ou nordeste (situação característica de inverno), ou ventos fracos em 250mb e a presença de circulação anticiclônica em altos níveis associada com nebulosidade intensa sobre o continente, juntamente com a presença de centros de baixa pressão em superfície (situação característica de verão) - ver Figura 4.21.
- b) Predomínio de circulação anticiclônica marítima em superfície e em 850mb sobre São Paulo, e frente ativa sobre ou ao norte da cidade.

Novamente os parâmetros do item a) indicam a persistência dos sistemas e os do item b), a presença de instabilidade sobre a região.

Utilizando imagens de satélite e dados de vento em 250mb (quando disponíveis), foi efetuado um teste de verificação para o ano de 1983. O objetivo foi verificar se com estes recursos poder-se-ia obter indicação dos índices de poluição na região da Grande São Paulo e de sua tendência para que se pudesse prever situações extremas de poluição. As cartas de superfície do DHN e do Departamento de Meteorologia, INPE, foram utilizadas para determinar a posição das frentes e o tipo de circulação predominante sobre a cidade. Não estavam disponíveis cartas de escoamento em 250 e 850mb. Também não foram utilizadas radiossondagens por não estarem disponíveis, e a posição do jato, quando bem definido nas imagens, foi estimada. Os dados de vento em 250mb não puderam ser obtidos na maior parte do período analisado devido à falta de dados. Ou seja, devido à ausência de dados, as previsões deste teste de verificação foram feitas com base em cartas de superfície e imagens de satélite.

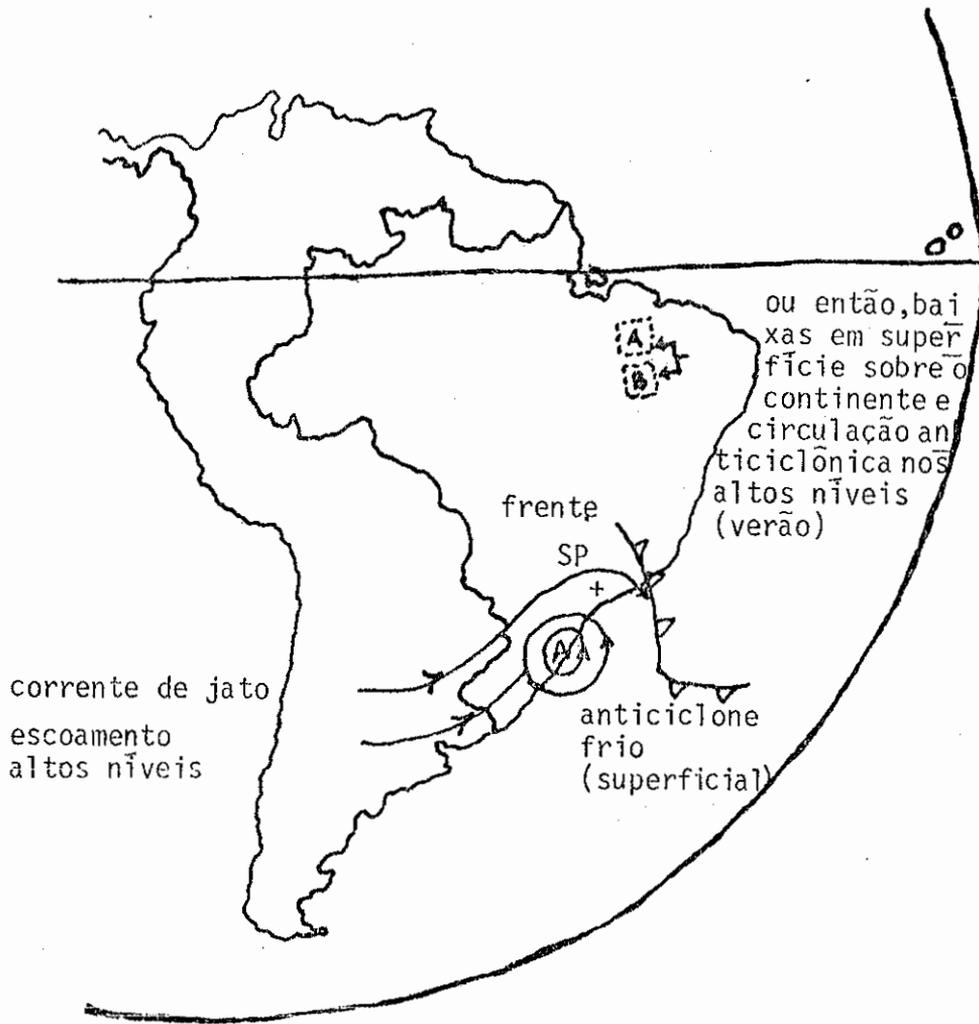


Fig. 4.21 - Posição esquemática dos sistemas sinóticos em situações características de baixos índices de poluição.

Através da análise das imagens até no máximo 1500h local, procurou-se identificar as configurações encontradas na Seção 4.3 e resumidas nas Figuras 4.20 e 4.21. A posição das frentes e o tipo de anticiclone que predominava sobre São Paulo em superfície, e que eram aparentes nas imagens, foram confirmados pelas cartas sinóticas das 0900h. Após o exame destas configurações e da constatação da presença ou não de convecção sobre São Paulo, e da posição do jato, bem como da velocidade dos ventos em 250mb (quando disponíveis), foi elaborado um diagnóstico dos índices. Este diagnóstico visava caracterizar a situação dos índices no período das 1500h do dia anterior até 1500h do dia em que

tão. O exame do escoamento no sul e da atividade da frente auxiliaram a previsão da situação sinótica para as 33h seguintes e, conseqüentemente, a previsão dos níveis de poluição. A previsão foi feita para as 33 horas seguintes, a partir das 1500h do dia em questão, para simular uma situação real, na qual se considerou o horário de divulgação à imprensa da previsão dos índices do dia seguinte. O diagnóstico e a previsão foram conferidos diariamente para que se pudesse verificar sua comprovação.

Ao realizar o teste de verificação, observou-se que os índices de poluição mantinham-se NORMAIS, segundo os critérios deste trabalho, durante quase todo o período. Ou seja, a qualidade do ar em São Paulo, de acordo com os índices divulgados pela CETESB, foi ACEITÁVEL e/ou BOA durante a maior parte do ano de 1983. No entanto, observaram-se situações sinóticas que favoreceriam a ocorrência de casos característicos de baixos e altos índices de poluição. Constatou-se, portanto, que os extremos de concentração (baixa e alta) pareciam não estar sendo detetados pela rede de amostragem de poluentes.

Uma explicação para esta situação seria a ocorrência de variações climáticas durante este ano (ver Seção 4.5). Outra explicação leva em conta estudos realizados pela CETESB, nos quais as concentrações de poluentes medidas pela rede automática, que está funcionando desde 1981, diferem dos valores medidos pela rede manual (CETESB, 1984). Acredita-se que a atual rede automática indique valores aquêm dos obtidos com a rede manual (Oliveira et alii, 1984; ABES, 1984).

Em função desta situação observada, realizou-se o teste adaptando os critérios de caracterização. Ou seja, considerando que os índices divulgados estavam limitados em seus extremos (mantendo-se NORMAIS durante todo o ano), passou-se a considerar este aspecto nos diagnósticos e previsão. Com estas condições obteve-se mais de 90% de acerto no diagnóstico e previsão dos casos característicos de baixos e altos índices de poluição.

Na Tabela 4.4 mostra-se este resultado (9 primeiras colunas). Colocaram-se o número de dias observados (O), previstos (P) e diagnosticados (D) nos casos de baixos Índices, Índices normais e altos Índices de poluição (já levando em conta a normalidade dos Índices). Assim, por exemplo, em janeiro não foram observados casos característicos de baixos Índices. No entanto, diagnosticaram-se apenas 2 casos de baixos Índices durante o mês. Isto significa erro de 7%, ou seja, acerto de 93% no diagnóstico dos baixos Índices, o que significa também acerto de 93% no diagnóstico dos Índices normais. Como este resultado não acarreta a inexistência de situações sinóticas favoráveis à ocorrência de casos extremos de poluição, procurou-se também acompanhar a tendência dos Índices. Ou seja, observou-se a mudança da qualidade do ar no conjunto das estações. Para isto, verificou-se diariamente quantas estações indicavam cada Índice de qualidade do ar, e previu-se como estas estações apresentar-se-iam no dia seguinte. Por exemplo, se num dia 10 estações indicavam qualidade do ar BOA e 20 ACEITÁVEL, e a situação sinótica favorecia o aumento das concentrações, esperava-se então que parte destas 10 estações que indicavam qualidade do ar BOA, no dia seguinte, indicassem qualidade do ar ACEITÁVEL ou INADEQUADA. A percentagem de acerto foi de aproximadamente 60 a 70%.

É importante lembrar que a variação diária de cada estação depende de condições meteorológicas locais, bem como da localização da estação em relação às fontes emissoras. Isto dificulta a avaliação dos Índices em cada estação, considerando apenas efeitos de escala local, como foi feito a verificação da tendência dos Índices.

A Tabela 4.4 mostra também (6 últimas colunas) o número de dias nos quais a situação sinótica favoreceria a ocorrência de casos extremos de baixos e altos Índices, segundo os critérios selecionados neste trabalho. Tais situações não puderam ser verificadas em função da persistência dos Índices não-extremos de qualidade do ar divulgados nos boletins da CETESB, cuja causa provável foi discutida acima.

TABELA 4.4

RESULTADO DO TESTE DE VERIFICAÇÃO PARA O PERÍODO DE 1983

MES	CASOS DE BAIXOS ÍNDICES			CASOS DE ÍNDICES NORMAIS			CASOS DE ALTOS ÍNDICES			TENDÊNCIA DOS ÍNDICES		DIAS EM QUE A SITUAÇÃO SINÓTICA FAVORECERIA					
	O	D	P	O	D	P	O	D	P	D	P	BAIXOS ÍNDICES		ÍNDICES NORMAIS		ALTOS ÍNDICES	
												D	P	D	P	O	P
JAN.	-	2 93%	1 96%	31	29 93%	30 96%	-	- 100%	- 100%	20 61%	16 51%	2	1	26	26	3	4
FEV.	-	- 100%	- 100%	28	28 100%	28 100%	-	- 100%	- 100%	22 70%	19 61%	4	2	20	24	2	2
MAR.	-	1 96%	- 100%	31	30 96%	31 100%	-	- 100%	- 100%	20 64%	19 61%	6	8	23	20	2	3
ABR.	-	- 100%	- 100%	30	30 100%	30 100%	-	- 100%	- 100%	22 73%	18 60%	7	6	21	20	2	4
MAIO	-	- 100%	- 100%	31	31 100%	31 100%	-	- 100%	- 100%	-	-	7	5	20	21	4	5
JUN.	-	- 100%	- 100%	30	30 100%	30 100%	-	- 100%	- 100%	21 70%	17 57%	12	7	13	17	5	6
JUL.	-	- 100%	- 100%	31	31 100%	31 100%	-	- 100%	- 100%	23 74%	21 67%	3	4	15	13	13	14
AGO.	-	- 100%	- 100%	29	29 87%*	29 87%*	2	2 87%*	2 87%*	22 70%	19 61%	2	3	17	15	12	13
SET.	-	- 100%	- 100%	30	29 94%	30 100%	-	1 94%	- 100%	22 73%	22 73%	10	7	16	19	4	4
OUT.	-	- 100%	- 100%	31	31 100%	31 100%	-	- 100%	- 100%	26 86%	23 76%	5	5	25	22	1	4
NOV.	-	- 100%	- 100%	30	30 100%	30 100%	-	- 100%	- 100%	20 66%	18 60%	5	7	25	23	-	-
DEZ.	-	- 100%	- 100%	31	31 100%	31 100%	-	- 100%	- 100%	26 85%	22 70%	5	3	26	28	-	-
MÉDIA DOS ACERTOS	-	99%	99%	-	97%	98%	-	98%	99%	73%	64%	-	-	-	-	-	-

Obs.: Esta tabela foi elaborada considerando a persistência dos índices normais divulgados pela CETESB.

- As percentagens referem-se aos índices de acerto.

- * Os 2 dias diagnosticados e previstos não coincidiram com os 2 dias em que ocorreram altos índices. Portanto, houve erro de 4 dias em 31, ou seja, acerto de 87%.

4.5 - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Foram analisados episódios característicos de baixos e altos Índices de poluição no período de 1979 a 1982. Estes episódios caracterizaram situações extremas de poluição, nas quais várias estações registraram qualidade do ar "ÓTIMA" (baixos Índices) ou "INADEQUADA" e/ou "MÁ" (altos Índices). As situações intermediárias não foram analisadas visto que a maior preocupação é no sentido de poder prever a ocorrência de altas concentrações que permaneçam por mais de um dia, o que pode prejudicar de imediato a população.

Nesses casos extremos de baixos e altos Índices de poluição, foram observados, de um modo geral, três configurações meteorológicas distintas, a saber:

1) Configuração de altos Índices de poluição caracterizada por: frente fria ao sul de São Paulo; anticiclone subtropical que predominava sobre a cidade com centro sobre o Atlântico, a leste de São Paulo; ventos fracos em 250mb; circulação anticiclônica em 850mb com ventos que predominavam de norte, noroeste ou nordeste; jato ao sul do País; escoamento ao sul do País de noroeste. Em alguns casos foi observada a presença de uma crista em todos os níveis analisados (Figura 4.20).

O predomínio da circulação anticiclônica em 850mb e do anticiclone subtropical em superfície cria uma atmosfera altamente estável, como pode ser verificado pela baixa camada de instabilidade (Tabela 4.3) nestes dias. Esta situação, acrescida dos ventos fracos em superfície (até 3m/s), dificulta a dispersão dos poluentes. Os ventos fracos em 250mb (< 25m/s), a presença do jato ao sul do País e o escoamento para sudeste ou zonal no sul do continente indicam a persistência da situação sinótica. Esta situação permite que os sistemas em superfície permaneçam inalterados pelo tempo em que a configuração sinótica perdura. O escoamento zonal ou anticiclônico sobre a região de São Paulo em 500 e 250mb também não facilita o avanço das frentes em

superfície, em direção à região. Esta situação, perdurando por alguns dias (2 ou 3), eleva os índices de poluição, uma vez que a emissão dos poluentes na atmosfera é contínua.

A análise das isotermas não contribuiu com informações adicionais às obtidas nas radiossondas.

2) Nos dias de baixos índices foram encontradas duas configurações:

A primeira, é a presença de frente sobre ou ao norte de São Paulo, e anticiclone frio com centro ao sul do País predominando sobre a região; ventos fortes ($> 25\text{m/s}$) em 250mb; jato próximo a São Paulo; circulação marítima com ventos que predominavam do quadrante leste-sul em 850mb; escoamento ao sul do País de sudoeste ou sul.

Neste caso, a presença da frente ativa sobre a região provoca a mistura de parcelas de ar devido à instabilidade a ela associada. Além disto, a entrada de ar marítimo com ventos relativamente mais fortes ($> 3\text{m/s}$) ajuda o transporte dos poluentes. Estas duas situações permitem a maior dispersão dos poluentes, o que pode ser visualizado pelo aumento da camada de instabilidade e a queda dos índices de poluição. Os ventos fortes no ar superior associados à aproximação do jato da região de São Paulo contribuem para o deslocamento rápido dos sistemas em superfície, bem como para sua intensificação. Esta situação promove a dispersão dos poluentes, permitindo a renovação das massas de ar. A presença de um cavado em altos níveis, próximo à região de São Paulo, também indica a movimentação vertical do ar.

Se a frente fria estiver inativa ao passar por São Paulo, sendo incapaz de provocar atividade convectiva ou a mistura vertical do ar, ela causa uma situação de estabilidade estática. Isto se dá em função do avanço do ar frio que força a subida do ar quente, mas sem provocar instabilidade convectiva, criando situações de inversões térmicas próximas à superfície. Nesta situação, ilustrada na Seção 4.3.2, a umidade relativa está abaixo de 80% mesmo com a passagem da frente,

e os ventos são fracos em superfície (1m/s). No dia seguinte ã passagem da frente, com a circulação marítima, os ventos aumentam, bem como a umidade relativa, propiciando maior dispersão dos poluentes. Esta si tuação que favorece a dispersão nestes casos, geralmente dura pouco (1 dia). Desta forma o anticiclone subtropical volta a predominar e, como conseqüência, os índices voltam a aumentar.

Estes casos de uma frente inativa que cria situações de estabilidade próximo ã superfície ilustram a necessidade de considerar, além dos efeitos de larga escala, os efeitos de escala local e a ati vidade dos sistemas frontais, como evidenciaram Nudelman e Frizzola (1974).

Novamente, a análise das isoterms não acrescentou infor mações adicionais às das radiossondagens.

A segunda configuração é a presença de frente sobre ou ao norte de São Paulo; anticiclone frio ao sul; ventos fracos e circu lação anticiclônica em 250mb sobre ou ao norte de São Paulo.

Esta situação é geralmente observada quando a configura ção sinótica é característica de verão. Neste caso a presença novamen te da frente sobre a região instabiliza a atmosfera, como pode ser vis to pela camada de instabilidade. A umidade relativa geralmente é alta, propiciando ocorrência de precipitação. Esta situação mantém a atmosfe ra renovada e as estações atingem níveis de qualidade do ar ÓTIMOS. A circulação anticiclônica observada em altos níveis ocorre com intensa atividade convectiva sobre o continente, juntamente com sistemas de bai xa pressão em superfície. Observou-se também intensa nebulosidade no sentido NW-SE, ao longo da Cordilheira dos Andes até a Bolívia, esten dendo-se também pelo Estado do Mato Grosso até se associar com a fren te.

Uma associação direta entre ventos em 250mb (~ 10km) e dispersão de poluentes na superfície é sem dúvida pouco provável. O que se constatou é que estes ventos estão associados com o desenvolvimento

de sistemas meteorológicos na região, assim como seu deslocamento, e estes sistemas, por sua vez, são os que influenciam as condições necessárias às situações de estagnação atmosférica.

Salvo poucas exceções, nos 4 anos estudados, verificou-se que, de uma maneira geral, os resultados obtidos na análise dos sistemas em superfície concordaram com Setzer et alii (1980). Ou seja, a presença de frente fria sobre ou ao norte de São Paulo e anticiclone frio ao sul da cidade nos episódios característicos de baixos índices de poluição; e a presença de frente fria ao sul de São Paulo e predomínio do anticiclone subtropical com centro a leste da cidade, sobre o Atlântico, nos episódios característicos de altos índices.

Observou-se também que de modo geral a qualidade do ar em São Paulo esteve "ACEITÁVEL" e "BOA" na maior parte do período analisado. O número de situações características de baixos índices decresceu durante o período: 15 episódios em 1979 e nenhum episódio em 1982 (Tabela 4.1). Esta situação pode estar ocorrendo em função do aumento de indústrias e do número de veículos na região da Grande São Paulo, cujas emissões contínuas de poluentes na atmosfera devem saturar o ambiente.

Por outro lado os casos característicos de altos índices também diminuíram e em 1982 foram detetados apenas 5 episódios. Uma análise das médias mensais de precipitação em 1982 mostrou que houve 40% de precipitação a mais que a normal entre junho e setembro (INEMET, 1983). Esta pode ser uma possível explicação para a diminuição dos episódios característicos de altos índices que ocorrem geralmente neste período. Outro motivo pode ser a diferença nas concentrações dos poluentes, entre os valores obtidos pelas redes manual e automática da CETESB, como foi discutido na Seção 4.4.

A análise dos dados de 1983 mostrou apenas 2 casos de altos índices de poluição e a ausência de baixos índices. Segundo Kousky e Cavalcanti (1983) neste ano foram registradas precipitações superiores à normal em toda a região sul do País entre janeiro a julho, inclu

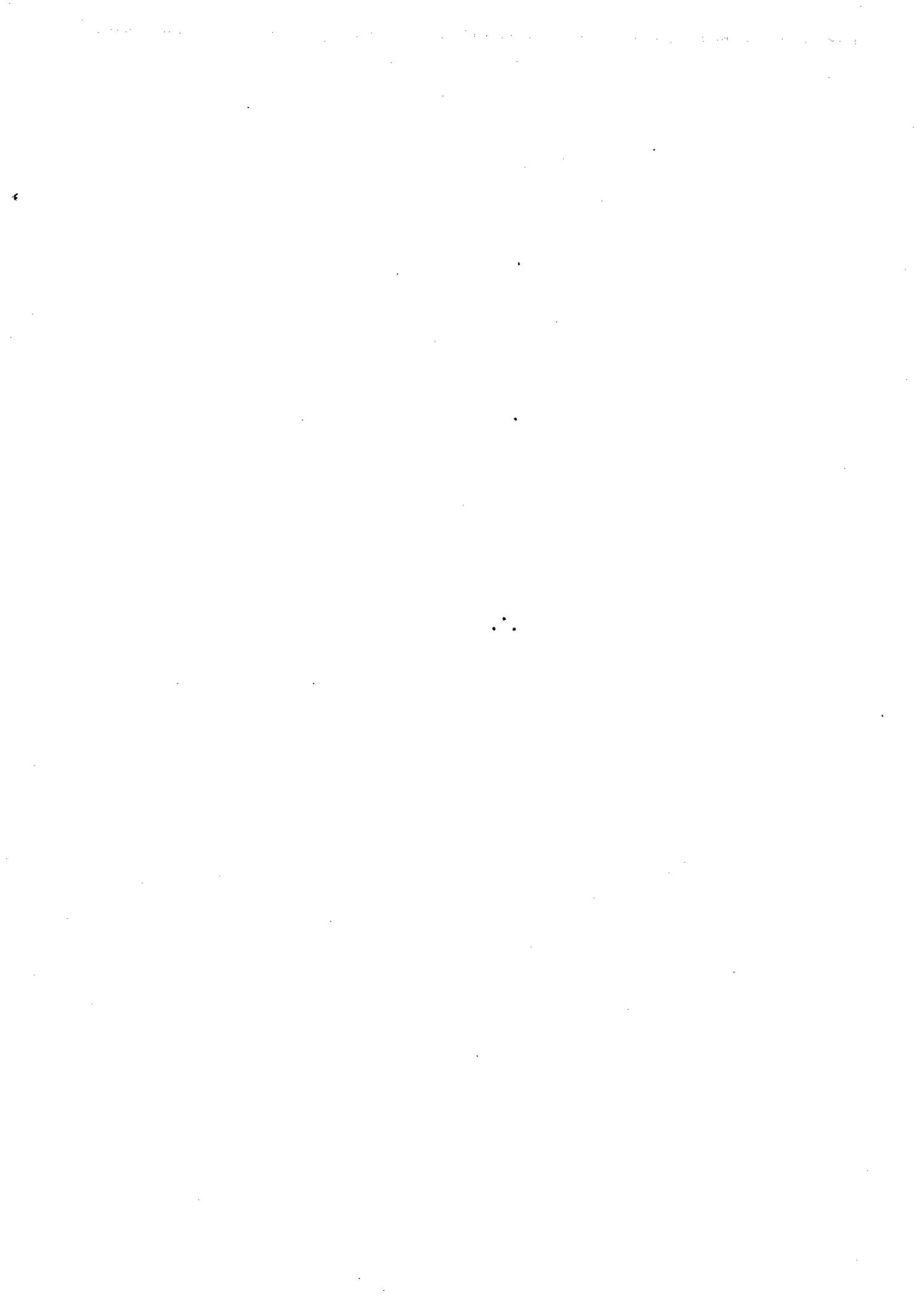
sive em São Paulo, devido ao fenômeno "El Niño". Este fenômeno, independentemente, ou mesmo acrescido do suposto problema da rede automática (Seção 4.4), pode possivelmente explicar a quase ausência de casos de altos índices neste ano.

Esta redução dos índices extremos de poluição foi também incorporada no teste de verificação. Assim, ao perceber que os índices em 1983 estavam consistentemente abaixo do esperado (comparadas com as situações anteriores), passou-se, em função disto, a diminuir os níveis de diagnóstico e previsão. O resultado do teste mostrou mais de 90% de acerto, tanto nos diagnósticos quanto nas previsões de 33 hs. O trabalho de Miller e Niemeyer (1963) que relaciona situações sinóticas e potencial de poluição na porção leste dos EUA, descrito no Capítulo 2, mostrou que 60% dos episódios previstos foram comprovados. Verifica-se então que o nível de acerto deste trabalho é bastante satisfatório. Com relação à variação individual das estações, este trabalho obteve cerca de 60 a 70% de acerto na previsão das tendências. Embora este nível indique a validade da técnica, sua utilização requer também a análise das condições individuais de cada estação. Trabalho neste sentido, que desenvolve correlações estatísticas para cada estação, está sendo elaborado (Manfredini, 1984) e foge aos objetivos de escala sinótica, inicialmente propostos nesta dissertação.

Cabe ressaltar que esta dissertação foi desenvolvida para condições meteorológicas da região sudeste-sul do Brasil, sem qualquer indicação prévia de quais seriam os parâmetros a serem considerados, exceto pelos de superfície.

No decorrer deste trabalho verificou-se que na América do Sul há pouco conhecimento meteorológico sobre: comportamento diário das frentes na região estudada; origem e migração de anticiclone; interação entre a corrente de jato e a meteorologia da região; convecção relacionada com o escoamento proveniente da região sul do Peru; formação e desenvolvimento da alta da Bolívia. Algumas destas situações exigiram dedicação intensa, no sentido de determinar suas influências nas

condições sinóticas relacionadas com a estagnação atmosférica. Isto se deu porque tais situações foram encontradas durante a análise dos episódios de poluição estudados.



CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho foi caracterizar as situações sinótico-meteorológicas relacionadas a concentrações de poluentes na região da Grande São Paulo. Foram analisados episódios de poluição durante o período de 1979 a 1982, além de terem sido utilizados dados de 1983 para a elaboração de um teste de verificação. Apresentam-se a seguir as conclusões obtidas.

A análise das cartas de superfície e do escoamento acima da superfície, juntamente com o exame das imagens de satélite correspondentes ao período de março de 1979 a dezembro de 1982, indicaram que a ocorrência de altos e baixos índices de poluição para São Paulo pode ser associada a condições meteorológicas em escala sinótica. Três situações distintas foram observadas.

Nos casos de baixos índices verificou-se sobre a região:

- a) Presença de frente fria sobre São Paulo ou ao norte dela; predomínio de circulação anticiclônica com ventos do quadrante leste-sul em superfície e em 850mb; presença, em 250mb, de um cavado a oeste da cidade ou sobre ela, e de ventos fortes ($> 25\text{m/s}$); corrente de jato com centro localizado próximo a São Paulo; escoamento ao sul do País de sudoeste ou de sul (situação característica principalmente dos meses representativos de inverno) — ver Figura 4.21.
- b) Presença de frente fria em superfície sobre ou ao norte de São Paulo; predomínio do anticiclone frio em superfície sobre a região; presença de centros de baixa pressão sobre o continente; presença em 250mb de ventos fracos ($< 25\text{m/s}$) e de circulação anticiclônica; corrente de jato localizada ao sul do País (situação característica principalmente dos meses representativos de verão) — ver Figura 4.21.

No caso dos baixos Índices, a primeira situação observada mostrou a influência do sistema frontal sobre a região, o que impediu a atuação do anticiclone subtropical e propiciou uma maior instabilidade da atmosfera. Isto pode ser verificado pelas radiossondagens através do aumento da camada de instabilidade. A circulação anticiclônica após a passagem da frente provocou ventos fortes sobre a região e a penetração de ar marítimo com alta umidade relativa, o que propiciou a atividade convectiva.

A segunda situação para dias caracterizados por baixos Índices de poluição está relacionada com a alta instabilidade provocada pela presença da frente bastante ativa sobre a região, e da alta continental nos níveis superiores associada à atividade convectiva. Isto pode ser observado pelas radiossondagens através da camada de instabilidade. As imagens de satélite mostraram intensa nebulosidade sobre a região, contrastando com a situação característica de inverno, onde se observou apenas a presença de nebulosidade associada à frente fria que atingiu São Paulo.

Nos casos de altos Índices verificou-se sobre a região predomínio do anticiclone subtropical em superfície; presença de sistema frontal ao sul de São Paulo; presença de crista ou escoamento zonal em 250mb e 500mb; corrente de jato ao sul do País; circulação anticiclônica com ventos de norte, noroeste ou nordeste predominando em 850mb; escoamento ao sul do País de noroeste ou zonal. As análises das radiossondagens mostraram a ocorrência de estabilidade estática e de inversões térmicas próximas à superfície. Isto se deu em função da presença do anticiclone subtropical sobre a região, associada à crista ou ao escoamento zonal nos altos níveis e à circulação anticiclônica em 850mb. Esta situação caracterizou-se pela presença de ventos fracos em superfície, céu limpo e baixa umidade relativa do ar. Isto inibe a mistura vertical do ar, bem como a atividade convectiva, e, conseqüentemente, a precipitação sobre a região. As imagens de satélite mostraram nestes episódios a região livre de nebulosidade. Em alguns episódios observou-se a presença de circulação anticiclônica em todos os níveis.

Dois episódios de altos índices apresentaram características específicas. Em um deles verificou-se a presença de circulação anticiclônica muito bem definida em todos os níveis, o que atenuou os efeitos da presença do jato próximo a São Paulo. No outro observou-se a presença de uma frente inativa sobre a região. A análise deste último caso mostrou que deve ser considerada também a intensidade dos sistemas frontais na previsão dos baixos índices de poluição. Isto ocorre porque a inatividade da frente pode provocar estabilidade da atmosfera nos baixos níveis, impedindo assim a dispersão dos poluentes como foi ilustrado na Seção 4.3.2.

Em resumo, a análise dos episódios mostrou que é possível selecionar parâmetros meteorológicos de larga escala, os quais podem ser utilizados no diagnóstico e previsão de potencial de poluição. Estes parâmetros são: vento em 250mb; circulação anticiclônica em 850mb e em superfície; posição das frentes frias em relação a São Paulo; localização da corrente de jato; e escoamento ao sul do País. Estes parâmetros podem ser identificados através de imagens de satélite, cartas de superfície e de ar superior e prognósticos do escoamento no ar superior.

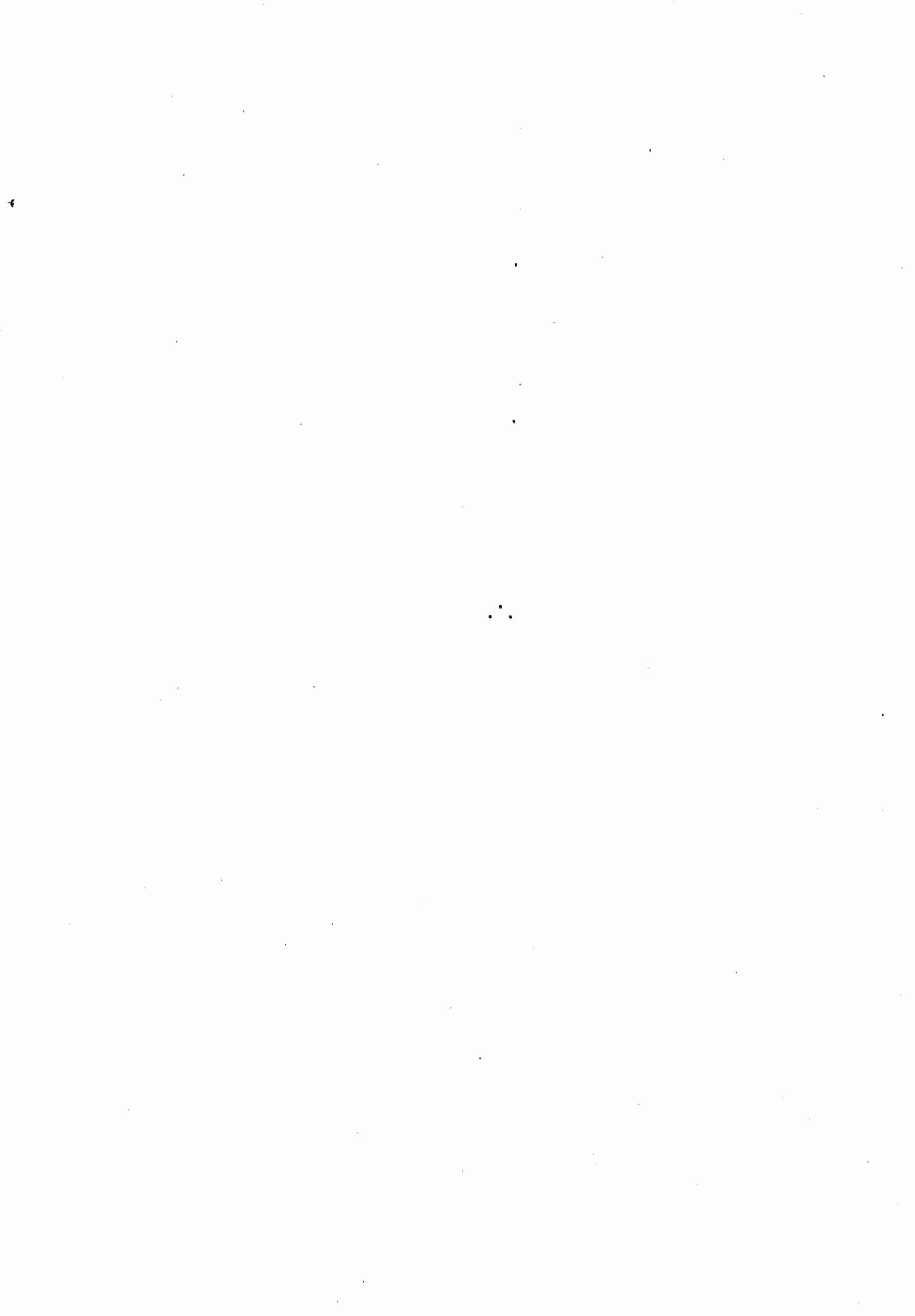
O teste de verificação realizado com dados de 1983, utilizando os parâmetros acima, não pôde ser totalmente observado em vista dos níveis de poluição estarem sempre normais durante este ano. Esta situação de normalidade foi diagnosticada e prevista em mais de 90% dos dias. Como os casos característicos de episódios extremos de poluição (dentro do critério deste trabalho) não foram observados, foi efetuado o diagnóstico e a previsão da tendência da variação dos índices no conjunto das estações. Isto se deu em função de terem sido observadas situações sinóticas, segundo este trabalho, que favoreceriam a ocorrência de casos extremos de poluição, apesar da persistência de índices normais verificada com os dados utilizados. Os resultados desta verificação mostraram 60% de acerto, o que indica que os critérios selecionados neste trabalho, bem como a técnica empregada, podem ser usados na determinação e previsão de potencial de poluição.

Mostrou-se também, neste trabalho que é possível a aplicação quase que exclusiva de imagens de satélite e de cartas de superfície na determinação e previsão do potencial de poluição em regiões urbanas:

Finalizando propõe-se como recomendações para trabalhos futuros:

- A análise dos parâmetros aqui observados para outros períodos, com o objetivo de verificar e aprimorar os resultados obtidos nesta dissertação.
- A comparação desta técnica com a utilizada atualmente em São Paulo.
- O teste destes parâmetros numa situação real, onde sejam acionadas as várias entidades responsáveis pela proteção do meio ambiente, com o objetivo de obter um método eficiente de redução de poluição em regiões urbanas.
- A extensão desta análise a outras regiões industrializadas do País como Belo Horizonte, Rio de Janeiro, Salvador e outras localidades.
- A análise temporal e estatística dos dados de concentração de SO₂ e MP obtidos na CETESB e que se encontram arquivados em fita magnética no Departamento de Meteorologia do INPE.
- A ampliação das análises deste trabalho com dados obtidos durante a operação RADASP II a ser realizada no verão de 1986.
- O estudo do transporte dos poluentes emitidos na região de São Paulo pelos sistemas meteorológicos de larga escala.
- O estudo aprofundado de sistemas meteorológicos nas latitudes citadas no capítulo anterior, tais como: o comportamento diário

das frentes frias; a origem e migração dos anticiclones que atingem esta região; os efeitos das correntes de jato nestas latitudes; e as correntes no ar superior provenientes da região sul do Peru, entre outros.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABES Cetesb Introduz Nova Tecnologia para Medir a Qualidade do Ar em São Paulo. *Engenharia Sanitária*, 23(1):47, jan./mar. 1984.
- ALMEIDA, R.A. Elementos Atmosféricos para a Previsão Matemática da Dispersão dos Poluentes Emitidos por Chaminê. *Ciência e Cultura*, 36(7):646, jul. 1984. Suplemento com resumos da 36. reunião anual da SBPC.
- VALE DA MORTE. *Isto é*, (376):22-33, mar. 1984.
- BIBBERO, R.J.; YOUNG, I.G. *Systems Approach to Air Pollution Control*. New York, John Willey, 1974.
- BOUSTRON, C. Atmospheric Trace Metals in the Snow Layers Deposited at South Pole from 1928 to 1977. *Atmospheric Environment*, 16(10): 2451-2459, Oct. 1982.
- CETESB *Histórico: Poluição do Ar*. São Paulo, 1977. 8 p. Apostila.
- CETESB *Dados diários de SO₂ e material particulado na região da Grande São Paulo e Cubatão*; dados disponíveis na biblioteca da CETESB Anos 1973 a 1983. São Paulo, 1983.
- CETESB Comunicação Pessoal com Elementos da Gerência de Qualidade do ar da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, São Paulo, 1984.
- CHAMBERS, L.A. Classification and Extent of Air Pollution Problems. In: STERN, A.C. *Air Pollution*. 3. ed. New York, Academic, 1976. v. 1.
- COSTA, M.C.P.F. Cobre na Poluição Atmosférica do Recife. In: Associação Brasileira de Química. *Anais*. 1980, v. 31, 1-2, p. 71-84.
- DETWYLER, T.R. *Man's Impact on Environment*. New York, McGraw-Hill, 1971.
- DHN *Cartas diárias de pressão à superfície. Anos: 1979 a 1982*; Divisão de Hidrografia e Navegação, Serviço de Previsão do Atlântico Sul, Ministério da Marinha.

- FAB *Dados dos níveis significativos das radiossondagens do Aeroporto de Congonhas.* Elaboradas pelo Serviço de Proteção ao Voo da Força Aérea Brasileira. Período: 1979 a 1983.
- FERRARI, C.M.D.; OLIVEIRA, S. A Intensidade das Inversões Térmicas e Sua Influência na Qualidade do Ar. *Ciência e Cultura*, 36(7):652, jul. 1984. Suplementos com resumos da 36. reunião anual da SBPC.
- FERRARI, C.M.D.; DIAS, P.L.S. Análise do Potencial de Poluição de Bauru, SP. *Ciência e Cultura*, 36(7):683, jul. 1984. Suplementos com resumos da 36. reunião anual da SBPC.
- GLASS, N.R.; GLASS, G.E.; RENNIE, P.J. Effects of Acid Precipitation. *Environmental Science & Technology*, 13(11):1350-1355, Nov. 1979.
- GUERRINI, I.A. Chuva ácida: Causas e Conseqüências; notas de aula da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo, 1. sem., 1982 40 p. Manuscrito.
- HALL, F.P.Jr.; DUCHON, C.E.; LEE, L.G.; HAGAN, R.R. Long-Range Transport of Air Pollution: A Case Study, August 1970. *Monthly Weather Review*, 101(5):404-411, May 1973.
- HANNA, S.R.; BRIGGS, G.A.; RAYFORD, P.H.Jr. *Atmospheric Diffusion.* Springfield, Technical Information Center - U.S. Department of Energy, 1982.
- HAURWITZ, B. Air Masses, Fronts, Cyclones and Anticyclones. In: ——— *Dynamic Meteorology.* New York, McGraw-Hill, 1941.
- HEIDAM, N.Z. The Components of the Artic Aerosol. *Atmospheric Environment*, 18(2):329-343, Feb. 1984.
- HOGAN, A.W. Antarctic Aerosols. *Journal of Applied Meteorology*, 14(4):550-559, Jun. 1975.
- HOGAN, A.W.; BARNARD, S. Seasonal and Frontal Variations in Antarctic Aerosol Concentration. *Journal of Applied Meteorology*, 17(10): 1458-1465, Oct. 1978.
- HOLZWORTH, G.C. A Study of Air Pollution Potential. *Journal of Applied Meteorology*, 1(2):366-382, Feb. 1962.

- HOLZWORTH, G.C. Climatological Aspects of the Composition and Pollution of the Atmosphere; Geneva, WMO, 1974, p. 28-32. (WMO Technical Note, 139).
- INEMET - Boletim Agrometeorológico Mensal - Estação Mirante de Santana; Ministério da Agricultura, Instituto Nacional de Meteorologia. 1979 a 1983.
- JOHNSON, D.W.; TURNER, J.; KELLY, J.M. The effects of Acid Rain on Forest Nutrient Status. *Water Resources Research*, 18(3):449-461, Jun. 1982.
- KOUSKY, V.E.; CAVALCANTI, I.F.A. Eventos Oscilação do Sul - El Niño: Características, Evolução e Anomalias de Precipitação. São José dos Campos, INPE, dez. 1983. 43 p. (INPE-2976-PRE/438).
- LIMA, J.S. *Previsão de Ocorrência e Duração de Nevoeiro em Porto Alegre - Método Objetivo*. S.J.C., 1983. Palestra apresentada no INPE - Seminários do Departamento de Meteorologia em 17 de ago. 1983.
- LODGE, J.P.Jr. An Anecdotal History of Air Pollution. In: ——— *Advances in Environmental Science and Technology*. New York, John Willey, 1979. cap. 1, p. 1-37.
- MANFREDINI, L. *Um Estudo Sobre Condições Meteorológicas que Determinam Situações Críticas de Poluição do Ar na Região da Grande São Paulo*. Dissertação de Mestrado em desenvolvimento no Departamento de Meteorologia do Instituto de Agronomia e Geofísica da Universidade de São Paulo, USP, São Paulo, 1984.
- MILLER, M.E.; NIEMEYER, L.E. Air Pollution Potential Forecast - A Year's Experience. *Journal of the Air Pollution Control Association*, 13(5):205-210, May 1963.
- MILLER, M.E. Semi-Objective Forecasting of Atmospheric Stagnation in the Western United States. *Monthly Weather Review*, 92(1):23-32, Jan. 1964.
- MUNN, R.E.; EGGLETON, A.E.J.; FACY L.; PACK D.H.; SCHMIDT, F.H. Dispersion and Forecasting of Air Pollution. Geneva, WMO, 1972, p. 43-53. (WMO Technical Note, 121).

- MUROZUMI, M.; CHOW, T.Y.; PATTERSON, C.C. Chemical Concentrations of Pollutant Lead Aerosols, Terrestrial Dust and Sea Salts in Greenland and Antarctic Snow Strata. *Geochimistry Cosmochimical Acta*, 32:1247-1294, 1969.
- NG, M.; PATTERSON, C.C. Natural Concentrations of Lead in Ancient Arctic and Antarctic Ice. *Geochimistry Cosmochimical Acta*, 45:2100-2120, 1981.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC *Report of the Carbon Dioxide Assessment Committee*. Washington, D.C., National Academic Press, 1983. 496 p.
- NATO. Air Pollution: Air Quality Criteria for Sulfur Oxides. *Committee on the Challenges of Modern Society*. Nov. 1971a.
- Air Pollution: Air Quality Criteria for Particulate Matter. *Committee on the Challenges of Modern Society*. Nov. 1971b.
- Air Pollution: Air Quality Criteria for Carbon Monoxide. *Committee on the Challenges of Modern Society*. Jun. 1982.
- NIEMEYER, L.E. Forecasting Air Pollution Potential. *Monthly Weather Review*, 88(3):88-96, Mar. 1960.
- NORDEMANN, L.M.M.; BERTOLI, J.L.R.; CUNHA, R.C.A.; PALOMBO, C.R. *Análise Química Preliminar das Águas de Chuva de Cubatão: Impactos Ambientais*. São José dos Campos, INPE, ago., 1983, 13 pag. (INPE-2857-PRE/396).
- NUDELMAN, H.I.; FRIZZOLA, J.A. An Air Pollution Incident Due to a Stationary Front. *Journal of the Air Pollution Control Association*, 24(2):140-144, Feb. 1974.
- NUNES, H.M.T. Programa de Pesquisa da Qualidade do Ar em Minas Gerais. Belo Horizonte, CETEC, 1982. 39 p.
- OERLEMANS, J. Response of the Antarctic Ice Sheet to a Climatic Warming: A Model Study. *Journal of Climatology*, 2(1):1-11, Jan., 1982.

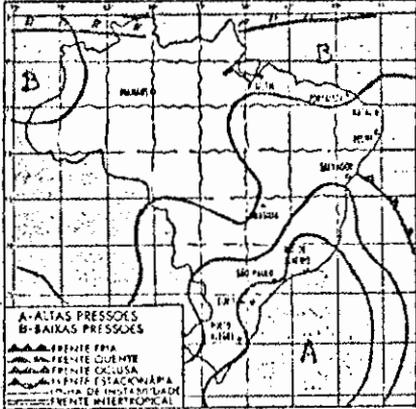
- OLIVEIRA, G.; SANTOS, J.C.D. *Inventário de Fontes de Poluição do ar na Região da Grande São Paulo*. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária 9., Belo Horizonte, 3-8 jul. 1977. São Paulo, CETESB, 1977.
- OLIVEIRA, S.; BRUNI, A.C.; SAGULA, M.A.L.A. *Análise do Fluxo do Vento Visando o Transporte de Poluentes na Região da Grande São Paulo*. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária, 12., Santa Catarina, 20-25 nov. de 1983. São Paulo, CETESB, 1983.
- OLIVEIRA, A.P.; OLIVEIRA, S. Levantamento Estatístico da Instabilidade Atmosférica Através de Radiossondagem. *Ciência e Cultura*, 36(7): 643, jul. 1984. Suplementos com resumos da 36. reunião anual da SBPC.
- OLIVEIRA, S. O efeito da Altura Máxima de Mistura Sobre a Qualidade do Ar, no Período de Inverno. *Ciência e Cultura*, 36(7):643, jul. 1984. Suplementos com resumos da 36. reunião anual da SBPC.
- OLIVEIRA, V.V.; MACHADO, A.G.; GODINHO, R. Medições de Material Particulado na Região da Grande São Paulo Efetuada por Dois Métodos - Comparação de Resultados. *Ciência e Cultura*, 36(7):645, jul. 1984. Suplementos com resumos da 36. reunião anual da SBPC.
- ORSINI, C.M.Q.; KERR, A.; de ANDRADE, F.; TABACNIKS, M.H.; NETTO, P. E.A.; GERMANO, T.; SOARES, V.L.L. *Avaliação de Qualidade do Ar de Áreas Críticas e Naturais Brasileiras*. São Paulo, GEPA-USP, 1983.
- PALMÉN, E.; NEWTON, C.W. *Atmospheric Circulation Systems - Their Structure and Physical Interpretation*. New York, Academic, 1969.
- PETTERSSSEN, S. Production and Transformation of Air Masses. In: ——— *Weather Analyses and Forecasting*. New York, McGraw-Hill, 1940.
- ROBINSON, E.; ROBBINS, R.C. *Systems Approach to Air Pollution Control*. New York, John Willey, 1974.
- ROBINSON, E.; CRONN, D.R.; MENZIA, F.; CLARK, D.; LEGG, R.; WATKINS, R. Trace Gas Profiles to 3000m over Antartica. *Atmospheric Environment*, 17(5):973-981, May 1983.

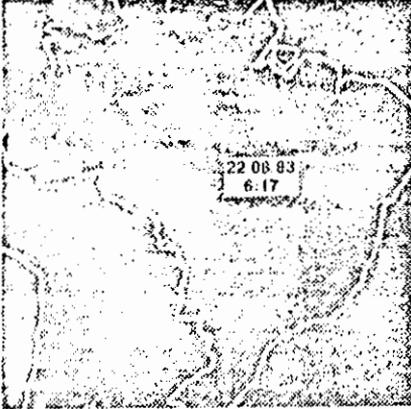
- SEIDEL, S.; KEYES, D. *Can We Delay a Greenhouse Warming? The Effectiveness and Feasibility of Options to Slow a Build-up of Carbon Dioxide in the Atmosphere*. Washington, DC, U.S. Environmental Protection Agency, Sept. 1983. 215 p.
- SETZER, A.W.; CAVALCANTI, I.F.A.; MARCELINO, B.C. *Influências Meteorológicas na Poluição Atmosférica em São Paulo*. São José dos Campos, INPE, jan. 1980. 36 p. (INPE-1669-RPE/107).
- SETZER, A.W. Comunicação pessoal, São José dos Campos. (1984).
- SHEIH, C.M.; JOHNSON, S.A.; De PAUL, F.T. Case Study of Aerosol Size Distribution and Chemistry During Passages of a Cold and a Warm Front. *Atmospheric Environment*, 17(7):1299-1306, 1983.
- TAVARES, T.M.; ROCHA, V.C.; CARVALHO, F.M.; KLOCHOW, D.; NIE&NER, R. Estudos Atmosféricos no Recôncavo Baiano. *Ciência e Cultura*, 36(7): 645, jul. 1984.
- TRINDADE, H.A.; PFEIFFER, W.C.; OLIVEIRA, A.E.; LONDRES, H.; RIBEIRO, C.C. Concentrações Atmosféricas do total de partículas em suspensão e metais na cidade do Rio de Janeiro. *Ciência e Cultura*, 33(7): 996-1005, jul. 1981.
- URONE, P. The Primary Air Pollutants - Gaseous - Their Occurrence, Sources, and Effects. In: STERN, A.C. *Air Pollution*. 3. ed. New York, Academic, 1976. v. 1.
- VUKOVICH, F.M. A Note On Air Quality in High Pressure Systems. *Atmospheric Environment*, 13(2):255-265, 1979.
- ZANATI, P.T.; de OLIVEIRA, S.; de ALMEIDA, M.A.L. *Sistema de Previsão Meteorológica Aplicada à Poluição do Ar na Região da Grande São Paulo*. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária, 10., Manaus, 21-26 jul. 1979. São Paulo, CETESB, 1979.
- WEBER, R.R. Organoclorados na Atmosfera dos Oceanos Antártico e Atlântico Sul. In: SIMPÓSIO NACIONAL DO PROGRAMA ANTÁRTICO, São Paulo, 1984. 4 p.
- WOODWELL, G.M.; HOBBIE, J.E.; HOUGHTON, R.A.; MELILLO, J.M.; MOORE, B.; PETERSON, B.J.; SHAVER, G.R. Global Deforestation: Contribution to Atmospheric Carbon Dioxide. *Science*, 222(4628):1081-1086, 1983.

APÊNDICE A

EXEMPLO DO BOLETIM EMITIDO PELA CETESB À IMPRENSA PAULISTA

Tempo e temperatura





Análise da Carta Sinótica do Instituto Nacional de Meteorologia do Ministério da Agricultura das 12 horas GMT - Interpretada pelo "O Estado". Frente fria no litoral norte da Bahia, com chuvas esparsas. Alta polar de 1026 mb no oceano ao largo da costa de Santa Catarina. Frente quente ao sul de Buenos Aires.

CAPITAL — Tempo nublado, melhorando no período. Temperatura em ligeira elevação, oscilando entre a mínima de 11 e a máxima de 21 graus. Ontem, a máxima foi de 19,1 e a mínima de 9,7 graus; umidade relativa 57%.

LITORAL — Tempo nublado, com períodos de melhoria. Temperatura estável. Ventos de Sudeste, fracos a moderados. Ontem, a máxima em Santos foi de 18,8 graus.

INTERIOR — Tempo bom e temperatura estável, com máximas de até 29 graus. Ventos de Sudeste a Nordeste, moderados.

NOS ESTADOS — Amazonas e Pará — chuv. isol.; Roraima — chuviscos isol.; Acre, Rondônia, Amapá, Piauí, Ceará e R. G. do Norte — bom; Maranhão, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia — chuv. isol. no litoral; Mato Grosso, M. Grosso do Sul, Goiás e Brasília — bom; Minas Gerais chuv. isol. a Leste; Espírito Santo — chuv. isol.; Rio de Janeiro — bom, temp. estável (ontem no Rio, máx, 21,5 e min. 12,6 graus) Paraná e Santa Catarina — chuv. isol. no litoral; Rio Grande do Sul, — bom, com aumento de nebulosidade, temp. em elevação, ventos de Leste a Norte, fracos a moderados.

NO MUNDO — Tempo e temperaturas máximas e mínimas nas últimas 24 horas:

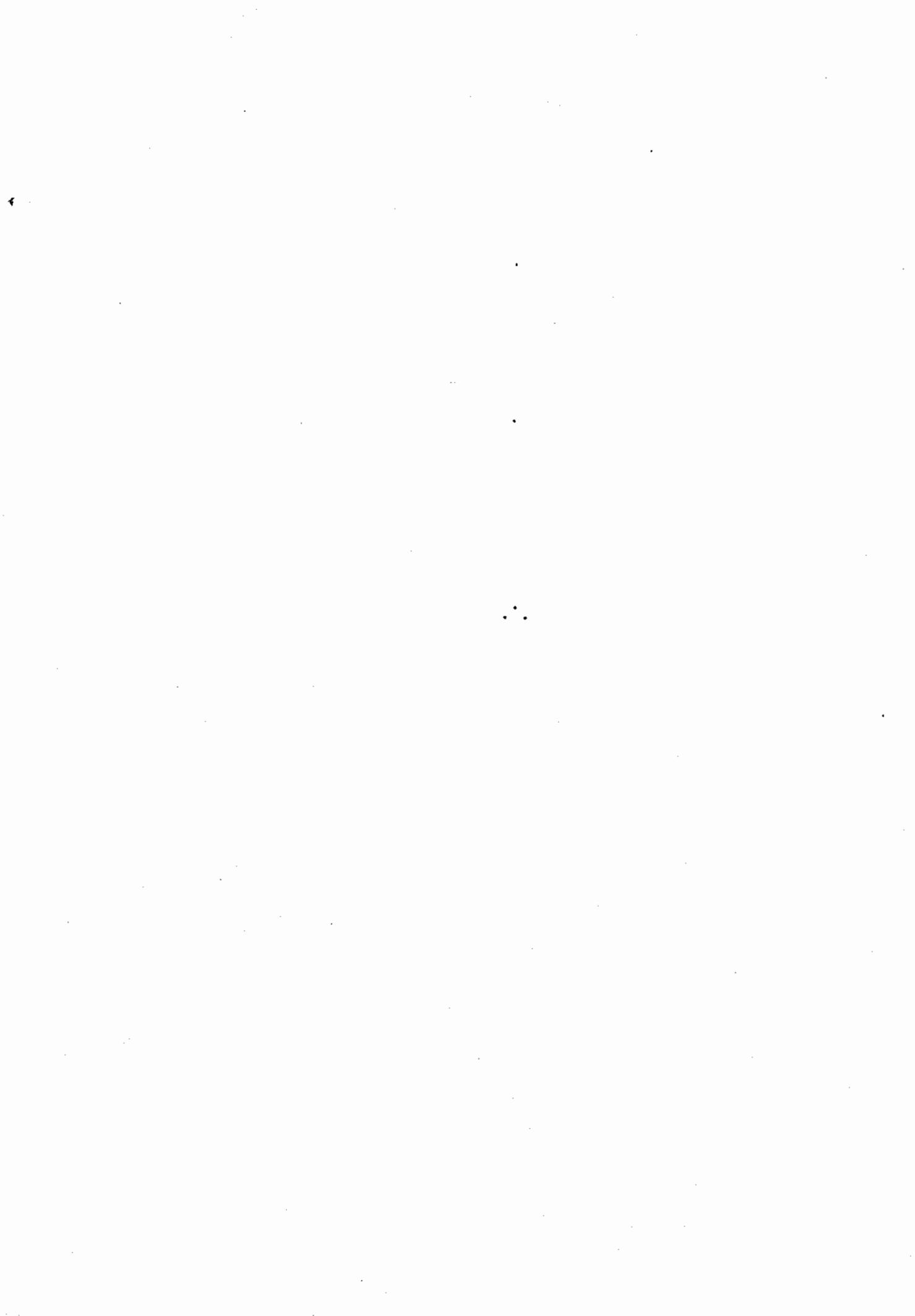
Amsterdã — chuva, 20-24; Buenos Aires — nub., 7-14; Frankfurt — chuva, 16-31; Genebra — nub, 13-24; Lisboa — claro, 18-26; Londres — claro, 17-23; Los Angeles — nub., 20-24; Madri — claro, 14-30; Miami — claro, 28-35; Montreal — claro, 11-25; Moscou — nub., 12-19; Paris — nub., 16-25; Roma — claro, 18-31; Santiago — nub., 8-14; Sidney — claro, 9-19; Tóquio — nub., 24-34.

NASCER DO SOL: 06h26. **Pôr-do-sol** às 17h52. **FASES DA LUA** — Hoje: Lua Cheia. Dia 31: Quarto Minguante.

ÍNDICES DE POLUIÇÃO (Cetesb). Qualidade do ar boa: P. D. Pedro, P. da República, C. Eliseos, C. César, Aclimação, Cambuci, Mooca, Tatuapé, V. Formosa, Penha, Santana, S. M. Paulista, N. S. do O, Lapa, Ibirapuera, Moema, Congonhas, S. Amaro, S. André, S. B. Campo, V. Paulicéia, Diadema, Mauá, Guarulhos, Osasco, M. das Cruzes, T. da Serra, Cubatão. Qualidade do ar aceitável: P. do Correio, Capuava, S. C. do Sul.

Para hoje as condições meteorológicas são favoráveis à dispersão dos poluentes.

RÁDIO ELDORADO TRANSMITE OS BOLETINS METEOROLÓGICOS NOS SEGUINTE HORÁRIOS: 07h30; 08h30; 11h30; 13h30; 18h37; 22h30.



APÊNDICE B

EXEMPLO DA RELAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE SO₂ E MP
ARQUIVADAS EM FITA MAGNÉTICA NO INPE

PATUPEL - SJZ	
JANBO - 33	44 69 109 95 50 102 124 111 89 157 107 70 40 84 114 109 61 84 51 80 160
/ 56 103	43 71 67 71 114 89 106
FEVER - 170	97 75 78 107 137 225 115 152 160 221 165 164 163 155 159 79 86 154 112 145 151
/ 122 74	132 196 74 144 107 0
MARBO - 160	111 142 152 44 156 190 171 109 187 160 162 171 184 87 92 99 191 129 143 181 170
/ 156 145	231 146 260 214 240 100 51
AFRBO - 164	207 183 90 97 91 94 119 146 164 144 87 55 99 109 146 161 114 144 119 92 86
/ 350 9200	152 152 127 113 146 284 0
M/BO - 213	48 111 100 466 167 324 302 187 177 87 134 135 135 165 227 239 103 143 103 175 127
/ 164 122	48 71 116 210 342 282 282
JUNBO - 231	172 148 127 107 103 113 167 157 271 304 255 219 121 112 83 190 284 303 208 134 55
/ 56 105	186 108 135 118 236 207 0
JULBO - 210	137 46 75 109 9000 84 150 207 192 121 162 224 92 163 129 172 214 144 173 167 135
/ 172 111	110 182 100 81 175 127 90
AGORC - 113	107 44 92 172 129 119 298 114 92 161 107 94 9000 96 149 177 83 133 208 150 154
/ 144 69	154 138 118 105 71 126 128
SFTBO - 130	9000 9000 9000 80 60 73 64 147 108 124 118 101 103 114 117 113 84 177 173 88 49
/ 94 104	180 106 179 45 104 111 0
OUTBO - 94	97 171 174 114 56 85 90 110 125 84 66 73 92 100 90 100 147 128 118 161 149
/ 100 108	79 68 100 100 115 156 89
NEVBO - 70	32 56 100 95 197 100 67 71 48 94 101 79 80 74 88 122 87 80 115 130 108
/ 84 77	129 122 184 93 91 108 0
DETRC - 81	92 117 115 84 78 84 76 104 105 154 108 84 77 81 144 144 93 57 74 56 62
/ 106 105	47 57 63 71 61 93 79
VILA ANASTACIO - SO2	
JANBO - 20	48 77 145 94 81 112 84 63 59 117 76 44 29 74 83 97 78 70 53 39 122
/ 72 75	60 18 17 57 81 85 84
FEVER - 72	34 23 25 82 111 168 85 131 116 50 96 139 165 142 118 88 54 59 26 100 131
/ 110 54	77 149 76 81 151 0 0
MARBO - 100	107 110 98 120 132 110 129 137 134 9000 146 92 93 91 61 70 146 117 117 151 128
/ 117 182	214 174 223 184 128 62 27
AFRBO - 67	107 134 57 30 64 57 40 126 161 104 69 60 54 71 73 90 97 147 143 140 130
/ 155 171	185 154 136 121 127 176 0
M/BO - 183	50 149 66 137 191 290 255 209 189 9000 94 143 140 151 205 225 135 84 238 194 118
/ 90 93	94 85 137 140 271 190 192
JUNBO - 138	48 144 57 104 91 165 156 193 224 194 212 130 102 102 96 162 365 234 167 91 30
/ 14 116	231 121 119 95 140 146 0
JULBO - 195	67 24 81 64 78 116 175 139 121 107 159 167 134 115 48 150 234 154 131 150 90
/ 42 80	105 195 84 72 150 97 95
AGORC - 32	73 49 127 144 77 102 187 101 83 97 41 95 103 152 130 109 103 143 184 142 158
/ 94 44	133 113 44 41 85 142 186
SFTBO - 143	151 130 111 50 57 88 154 128 62 43 71 110 118 87 113 36 65 159 131 95 26
/ 55 67	55 35 50 49 89 116 0
OUTBO - 93	104 143 135 71 12 49 67 71 66 69 98 27 50 57 69 102 156 80 61 132 126
/ 72 31	45 64 105 44 120 125 57
M/BO - 40	35 65 89 84 77 107 70 63 74 55 40 53 64 66 94 45 45 62 91 147 85