

## Estudo preliminar sobre parâmetros meteorológicos críticos para dispersão de poluentes utilizando a sonda acústica(\*)

Meteorologista Sílvio de Oliveira \*\*  
Geógrafa Maria Angélica Lopes de Almeida Sagula \*\*  
Estatístico Antônio de Castro Bruni \*\*

### RESUMO

O presente trabalho apresenta um estudo comparativo entre um mês de verão e outro de inverno de parâmetros meteorológicos críticos para dispersão de poluentes. Estabeleceu-se um método de leitura da sonda acústica para determinar-se as categorias de estabilidade atmosférica, as inversões térmicas e a evolução das termas convectivas, em função do tempo. O material particulado e o dióxido de enxofre foram correlacionados com a inversão térmica, onde se observou maior concentração de poluentes na madrugada na camada até 200 m. Verificou-se, também, que a maior frequência de inversão térmica estava associada com o anticiclone subtropical marítimo. Finalmente concluiu-se que os mesmos parâmetros meteorológicos favorecem mais ao aumento da concentração no mês de junho do que em março.

### INTRODUÇÃO

Os fenômenos meteorológicos se desenvolvem simultaneamente em três escalas principais: a larga escala, meso escala e a pequena escala, as quais estão interligadas dentro da extensão vertical e horizontal da atmosfera.

A dispersão da poluição do ar ocorre dentro das regiões da meso e pequena escala em interação com os efeitos do campo da pressão de larga escala. Na baixa atmosfera, dentro da área metropolitana, a movimentação turbulenta do ar é bastante complexa, devido à influência da rugosidade da superfície, aos efeitos da brisa marítima, aos transportes de fluxos de calor sensível e ao vapor d'água e a uma série de outros fenômenos secundários causados como consequência da formação da ilha de calor. Para se visualizar a permanência destes fenômenos é necessário a instalação de uma rede de estações micrometeorológicas para medir-se continuamente o maior número possível de parâmetros meteo-

rológicos, envolvidos no processo da dispersão atmosférica. A instalação desta rede implica sérios problemas de ordem econômica, operacional e de logística dentro da área urbana com as características da Grande São Paulo. Na impossibilidade da instalação de uma rede desta ordem procurou-se otimizar o processo de medições, na escala micrometeorológica, através da aquisição de uma sonda acústica.

A sonda acústica é um equipamento simples, automático, pouco oneroso, portátil e de operação simples. Detecta informações e proporciona medidas diretas contínuas da microestrutura das flutuações turbulentas da temperatura na porção inferior da Camada Limite Planetária (CLP).

O principal parâmetro meteorológico medido pela sonda acústica é a camada de inversão e a modificação da CLP pela atividade convectiva diurna.

No presente trabalho estudou-se a evolução horária da camada de inversão, a estabilidade atmosférica, o desenvolvimento das plumas convectivas e finalmente correlacionou-se o número de horas de inversões térmicas com o dióxido de enxofre e o material particulado e a velocidade média do vento de superfície.

### CARACTERÍSTICAS DA REGIÃO E EQUIPAMENTOS

A região da Grande São Paulo com uma área aproximada de 8 mil km<sup>2</sup> está localizada no Planalto Atlântico na latitude do Trópico de Capricórnio, conforme mostra a Figura 1.

O Parque do Ibirapuera está situado na latitude de 23° 34' 55" S e 46° 39' 35" W; foram instalados os seguintes equipamentos: uma estação automática de monitoragem contínua da qualidade do ar; um radar acústico e um abrigo meteorológico, Figura 2.

### Radar Acústico

A sonda acústica foi desenvolvida por McAllister, (1968) para monitorar continuamente a microestrutura turbulenta da temperatura na região da Camada Limite Planetária (CLP). O seu funcionamento baseia-se na emissão

vertical de um pulso acústico para a atmosfera, que provoca espalhamento nas regiões de alta refletividade acústica. O pulso refletido é captado pela antena parabólica que o envia para o registrador do sistema "fac simile" da sonda. O coeficiente de espalhamento é determinado pela seguinte expressão:

$$\sigma = 2\pi K^2 \frac{\Phi}{4T^2} \quad (2K)$$

$\sigma$  = potência de espalhamento por unidade de volume, por unidade de fluxo incidente, por unidade de ângulo sólido, (m<sup>-1</sup>Sr<sup>-1</sup>).

$K = 2\pi/\lambda$ , número de ondas da onda acústica, (m<sup>-1</sup>).

$\Phi(K)$  = densidade espectral tridimensional das flutuações da temperatura, (°C<sup>2</sup> m<sup>3</sup>).

$T$  = temperatura absoluta dentro do volume de espalhamento (°C).

A equação 1 indica que a potência de espalhamento depende exclusivamente das flutuações da temperatura numa escala igual à metade do comprimento de onda incidente (número de ondas 2K, corresponde a um comprimento de onda de  $\lambda/2$ ). Maiores detalhes sobre a sonda acústica ver Oliveira (1979) e Godinho, R. et alii, (1981).

### DADOS UTILIZADOS E PERÍODO DE OBSERVAÇÃO

Os dados básicos utilizados nesta pesquisa foram o dióxido de enxofre, o material particulado, o vento de superfície e os parâmetros meteorológicos obtidos através da sonda acústica da estação automática da Cetesb. Utilizou-se, também, dados sinóticos complementares, publicados pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) e do 7.º Distrito Meteorológico do Inmet.

O período dos dados analisados compreendeu duas séries de dois meses distintos, uma do mês de março e outra de junho, ambas de 1981. A idéia foi examinar-se a existência de parâmetros meteorológicos críticos

\* Trabalho apresentado ao 12.º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária, novembro de 1983 - Camboriú, SC

\*\* Da Gerência de Pesquisas de Ar e Ruído, Diretoria de Pesquisas da Cetesb.

W DE GREENWICH 47°00'

46°45'

46°30'

46°15'

46°00'

45°45'

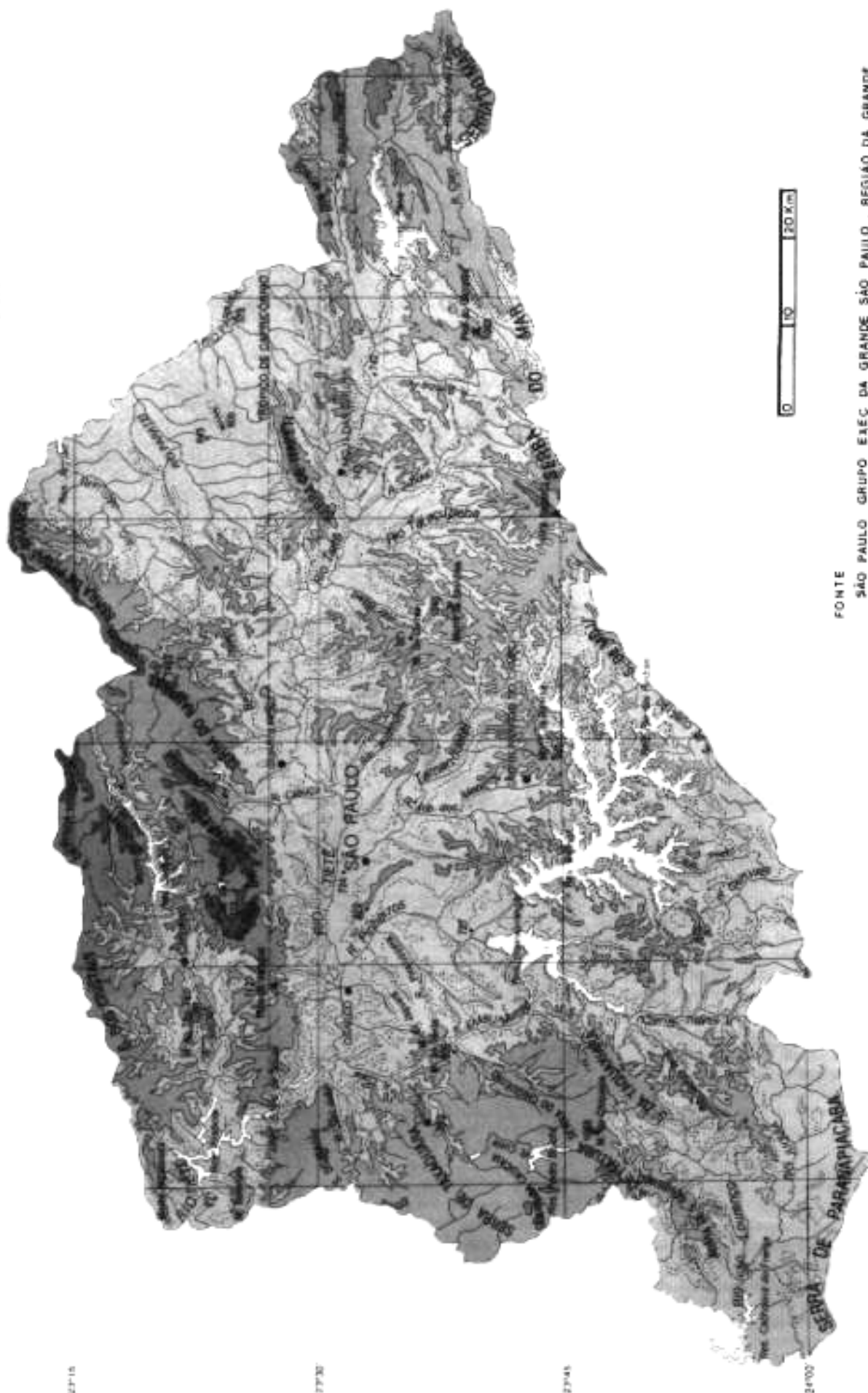
23°15'

23°30'

23°45'

24°00'

Figura 1 — Região da Grande São Paulo



0 10 20 Km

FONTE

SÃO PAULO GRUPO EAEC DA GRANDE SÃO PAULO, REGIÃO DA GRANDE  
SÃO PAULO CARTA PLANI - ALTIMÉTRICA EM CURVAS DE NÍVEL  
ESCALA 1:100.000

Figura nº 2 — SITUAÇÃO TOPOGRÁFICA DA REGIÃO DO IBIRAPUERA

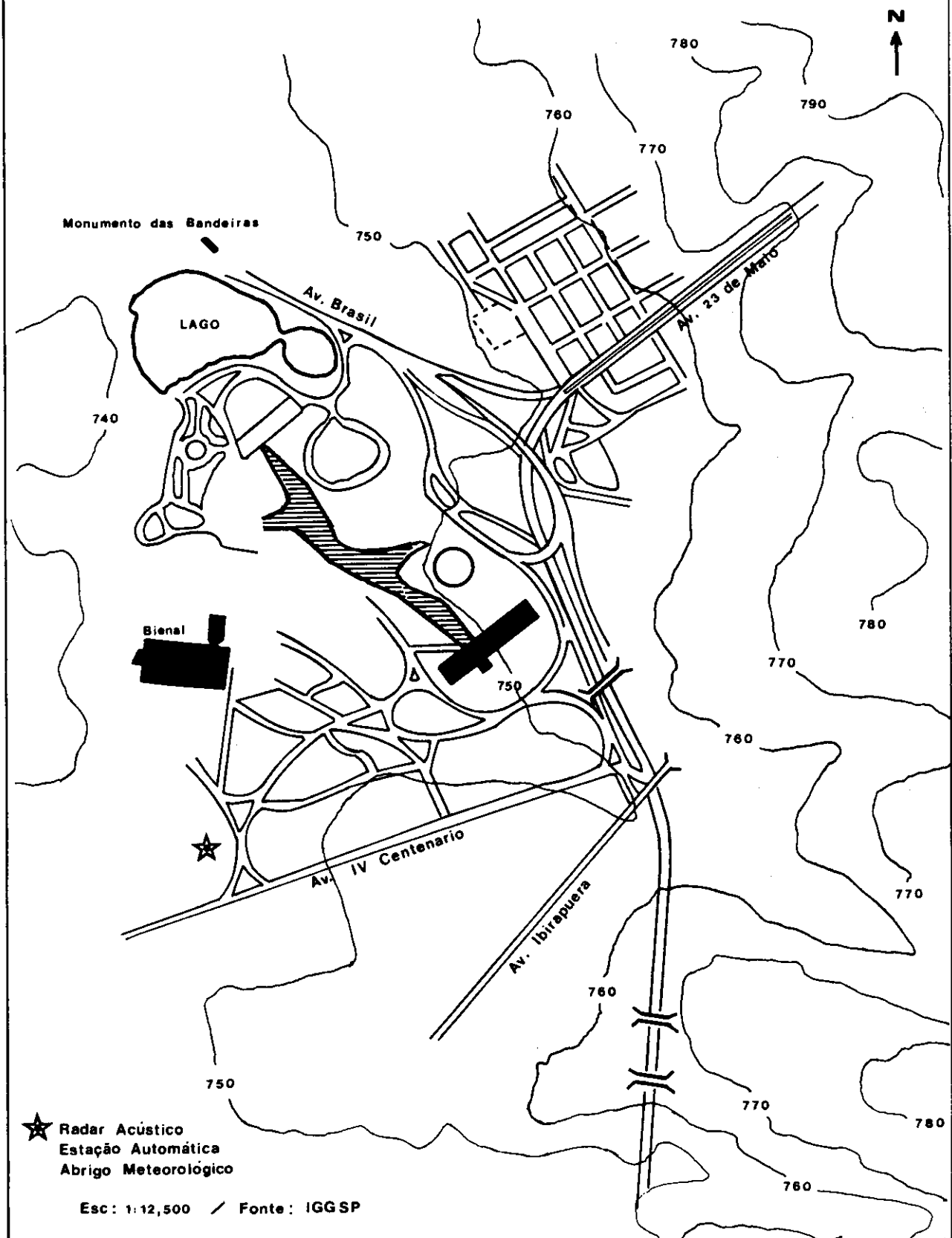


Figura 2 — Situação topográfica da Região do Ibirapuera

Tabela 1 — Distribuição da frequência de inversões térmicas e sua intensidade detectada pelo radar — março de 1981

TIPO	ALTURA DA BASE (m)			0 - 99			100 - 199			200 - 299			300 - 399			400 - 499			500 - 599			> 600			TOTAL			
	(1) INT.	f*	F**	I***	f	F	I	f	F	I	f	F	I	f	F	I	f	F	I	f	F	I	f	F	I			
Inversão de Radiação		3	8	1																						3	8	1
Inversões Acima de 100 m.					13	14	2	26	21	16	13	7	5	2	6	2	4	3	-	1	-	-	59	51	25			
Total Geral		12			29			63			25			10			7			1			147					
Total em %		8			20			43			17			7			5			0,7								

Tabela 2 — Distribuição da frequência de inversões térmicas e sua intensidade detectada pelo radar — junho de 1981

TIPO	ALTURA DA BASE (m)			0 - 99			100 - 199			200 - 299			300 - 399			400 - 499			500 - 599			> 600			TOTAL			
	(1) INT.	f*	F**	I***	f	F	I	f	F	I	f	F	I	f	F	I	f	F	I	f	F	I	f	F	I			
Inversão de Radiação		5	21	31																						5	21	31
Inversões Acima de 100 m.					28	28	33	28	35	22	26	23	2	12	6		4	3		6			104	95	57			
Total Geral		57			89			85			51			18			7			6			313					
Total em %		18			28			27			16			6			2			2								

\* f : Inversão Fraca

\*\*\* I : Inversão Intensa

\*\* F : Inversão Forte

(1) INT. : Intensidade

em épocas diferentes, e sua influência no processo da dispersão atmosférica na CLP. Portanto, assumiu-se o mês de março como representativo de uma época favorável a dispersão de poluentes e uma época desfavorável o mês de junho.

## RESULTADO

Uma comparação entre todos os parâmetros meteorológicos foi realizada para o mês de março e o de junho. Desenvolveu-se um modelo matemático estatístico de regressão linear múltipla entre parâmetros meteorológicos e os de qualidade do ar.

O radar acústico da Cetesb detecta as informações da atmosfera e registra no sistema "fac símile", porém é destituído de um digitalizador. Portanto para a interpretação dos registros adotou-se critérios e métodos, segundo o estabelecido pela literatura (Parter and Colls, 1981 e Maughan, 1979).

A análise subjetiva dos dados da sonda visou à transformação da informação quantitativa na forma numérica, procurando sempre eliminar os efeitos de interferências do ambiente sobre o fenômeno registrado. As variáveis críticas principais que governam a dispersão de poluentes são: a estabilidade atmosférica, as células convectivas e a altura de qualquer inversão. Consequentemente houve a necessidade de se estabelecer um sistema de interpretação bastante rigoroso para não confundir os parâmetros acima com tipos de ecos que tornassem a

interpretação errônea. Para isto, usou-se outros dados meteorológicos disponíveis para esclarecer dúvidas quando necessário.

## Comparação entre os Parâmetros Meteorológicos de Março e Junho

Os dados comparativos sobre os meses de março e junho apresentaram o seguinte resultado: em março ocorreram 147 horas de Inversões Térmicas, 296 horas de Convecção e 261 horas de Estabilidade Atmosférica; e para junho observaram-se 313 horas de Inversões Térmicas, 196 horas de Convecção e 211 horas de Estabilidade Atmosférica.

A análise comparativa será entre o mês de março e junho, iniciando-se pelas inversões térmicas.

## Inversão Térmica

A inversão térmica é um caso típico de anomalia das condições ideais da atmosfera na região da troposfera (é a região do espaço que se estende da superfície da Terra até a altitude de 10 km, aproximadamente, e onde existe um decréscimo de temperatura de 1°C para cada 100 metros de elevação) e constitui um caso típico de estabilidade atmosférica. Neste fenômeno, o ar próximo do solo, ao aquecer, se resfria rapidamente e, como ele é mau condutor, só a camada junto ao solo se resfriará. Acima dessa camada haverá ar mais quente, caracterizando a inversão térmica.

Esta camada de ar frio é densa e

vai reter os poluentes, que na ausência de ventilação determinará um acentuado aumento nos índices de qualidade do ar.

As Tabelas 1 e 2 e a Fig. 3 mostram os resultados obtidos sobre a frequência das inversões nos meses de março e junho. O total das inversões térmicas de junho apresentou um acréscimo de 53% sobre março, como era de se esperar. Em junho a faixa de altura da base entre 100 e 199 m representou a maior frequência de concorrência, enquanto em março foi a faixa entre 200 e 290 m. Pode-se admitir que em média a maior faixa de altura da base de inversões sobre a região se localiza entre 100 e 200 m. Essas inversões têm sua persistência de duração entre as 4HL e 6HL em ambos os meses, conforme notamos no gráfico das Figs. 3 e 4.

Com relação ao maior número de horas de inversões, associadas ao sistema sinótico, a Tabela 3 mostra que independe do dia da semana, porém é fortemente dependente das condições meteorológicas notadamente dos sistemas sinóticos de alta pressão do tipo anticiclone subtropical marítimo (ASBM). Estes sistemas em média têm na sua estrutura vertical uma variação do cisalhamento vertical do vento mais fraco do que nos anticiclones polar marítimo e continental. O cisalhamento vertical aumenta a transferência de momentum nos baixos níveis, aumentando a altitude turbulenta do ar, provocando em alguns casos a quebra de inversões que se formam na camada limite superficial.

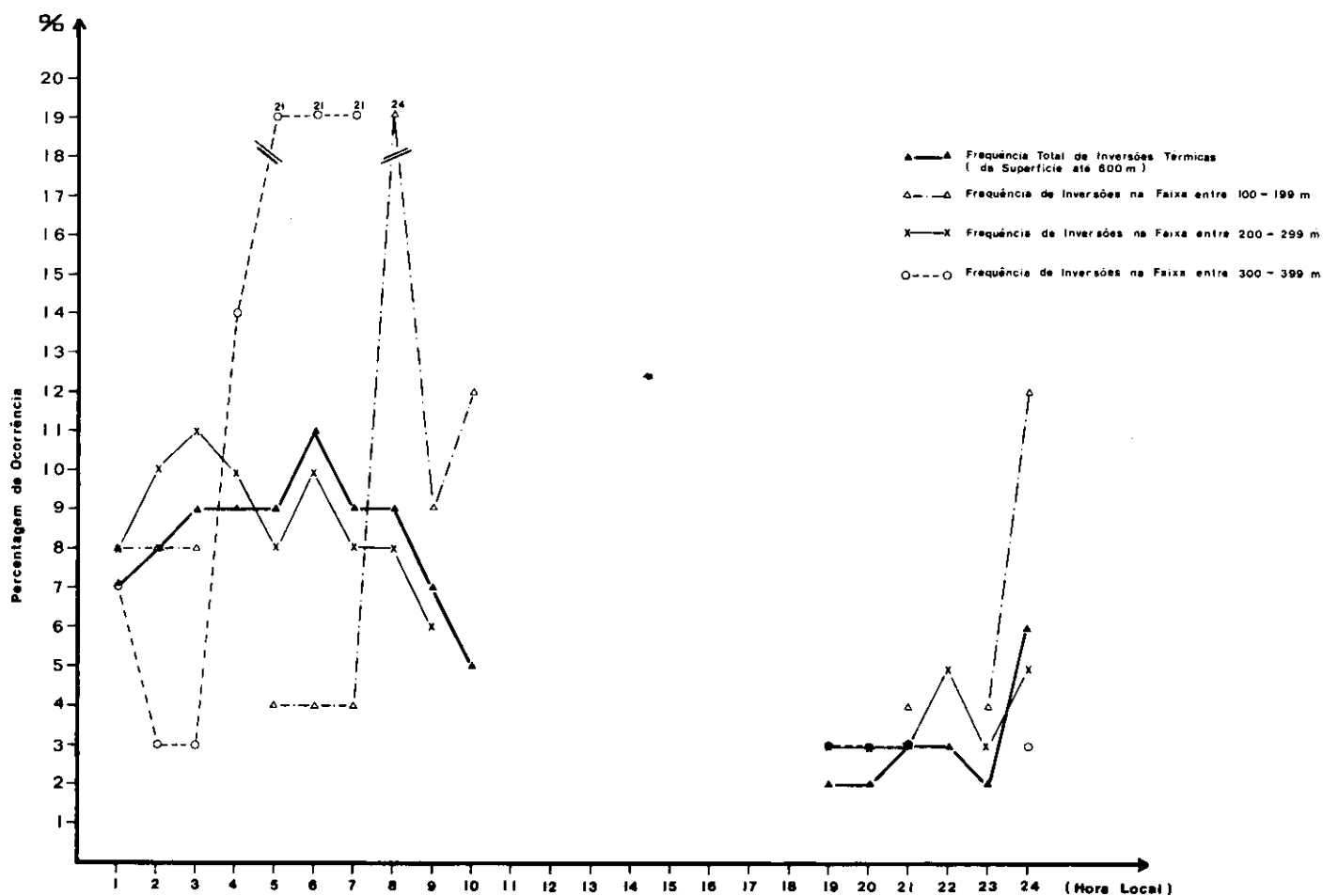


Figura 3 — Distribuição percentual horária total da ocorrência de inversões e sua frequência por faixas de altura da base (março/81).

Tabela 3 — Dias de maior número de horas de inversões associadas ao sistema sinótico

DATA	NÚMERO DE HORAS *	SISTEMA SINÓTICO	OBSERVAÇÕES
02.03.81 (segunda)	13	ASBM **	Instabilidade com influência de crista anticiclônica
12.03.81 (quinta)	9	APM ***	
14.03.81 (sábado)	10	APM	
15.03.81 (domingo)	14	ASBM	
23.03.81 (segunda)	9	APM	
29.03.81 (domingo)	10	Transição	
19.06.81 (sexta)	15	APC **	
22.06.81 (segunda)	15	ASBM ***	
23.06.81 (terça)	17	ASBM	
24.06.81 (quarta)	19	ASBM	

(\*) Considerou-se a frequência > 09:00 horas

(\*\*) ASBM = Anticiclone Subtropical Marítimo

(\*\*\*) APM = Anticiclone Polar Marítimo

Notamos, também, que todos os dias de não ocorrência de inversões estavam associados com condições de frentes, baixas pressões e linhas de instabilidade. Tabela 4.

Das tabelas e gráficos observou-se que do total das inversões ocorridas 8% foram de radiação e 92% de subsidência para março; e em junho 17% foram de radiação e 83% de subsidência. Esta observação caracterizou a maior influência do resfriamento da superfície em junho do que em março. E que em média as inversões formam-se às 19 HL e quebram por volta das 10 HL.

A análise dos dois meses mostrou que o comportamento das inversões é bastante semelhante, porém seu efeito sobre a concentração é diferente devido ao próprio estado geral da atmosfera em cada mês.

**Tabela 4 — Dias de não ocorrência de inversões**

DATA	SISTEMA SINÓTICO	OBSERVAÇÕES
04.03.81	FF *	
05.03.81	Instável	
06.03.81	Instável	
07.03.81	BP **	
09.03.81	BP	
10.03.81	BP	
13.03.81	FF	
19.03.81	BP	
27.03.81	BP (LI) ***	
04.06.81 (quinta)	APC	
07.06.81 (domingo)	FF *	
08.06.81 (segunda)	BP **	

(\*) FF = Frente Fria

(\*\*) BP = Baixa Pressão

(\*\*\*) LI = Linha de Instabilidade

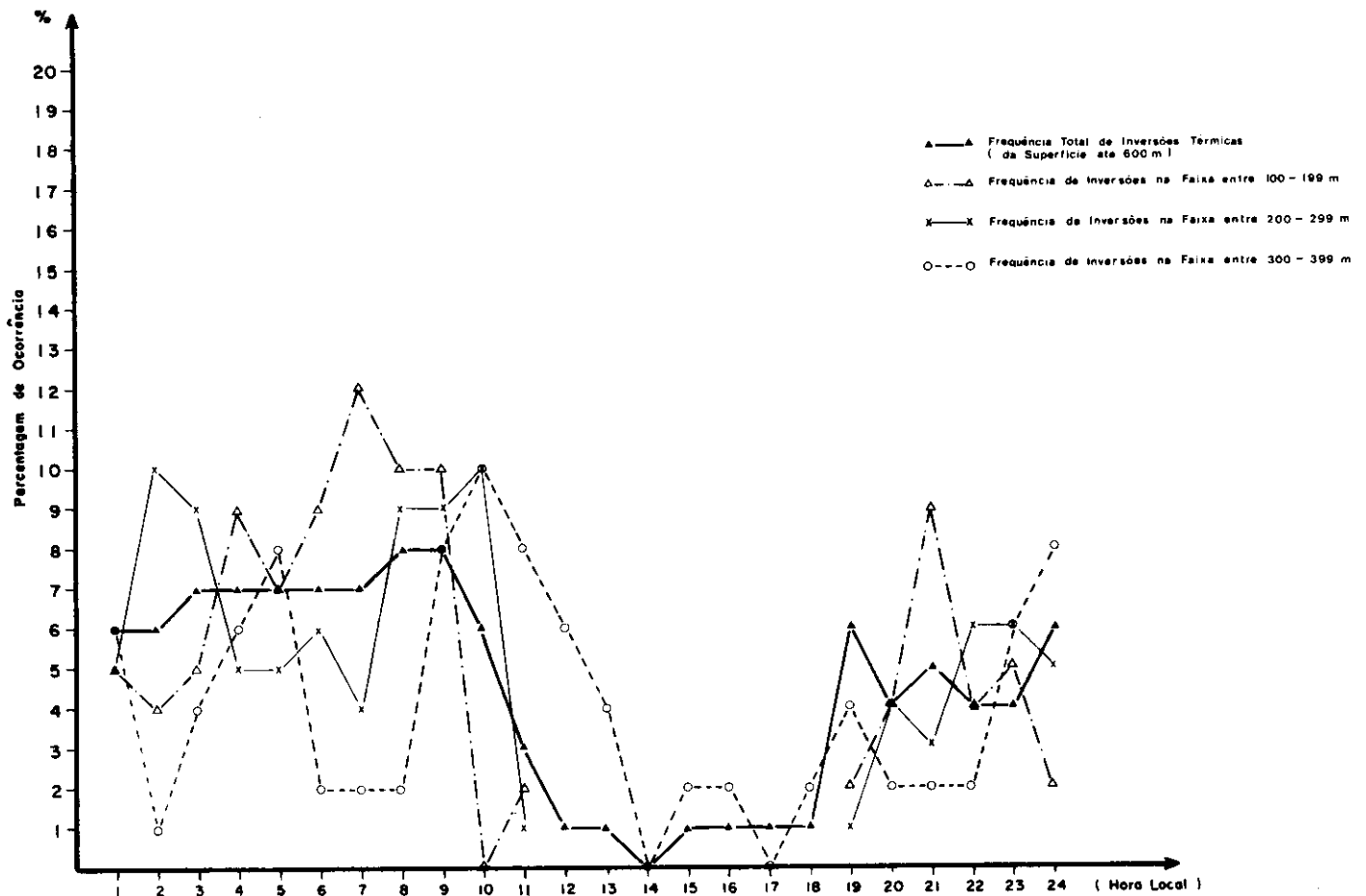


Figura 4 — Distribuição percentual horária total da ocorrência de inversões e sua frequência por faixas de altura da base (junho/81).

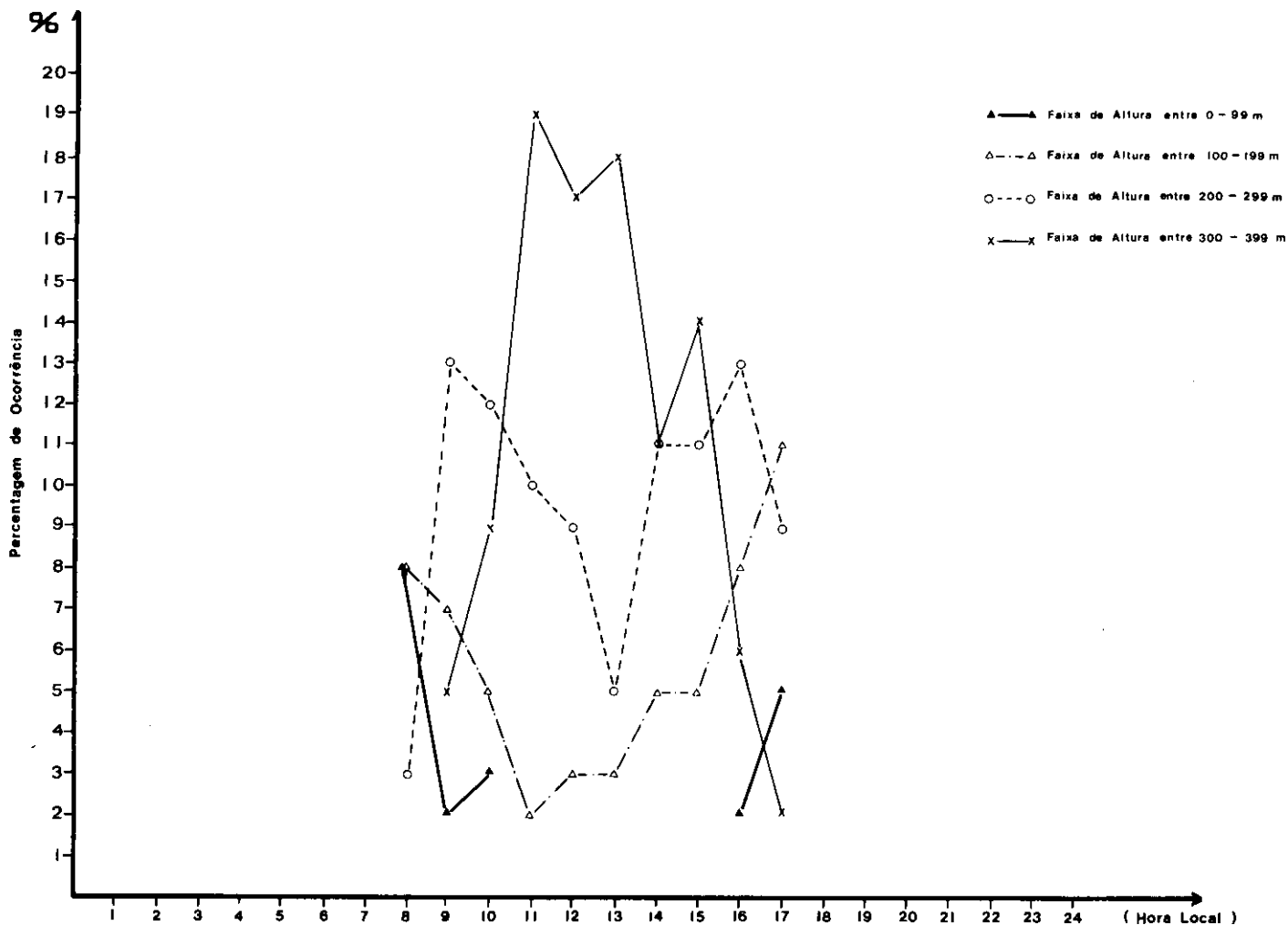


Figura 5 — Distribuição horária da faixa de altura da pluma térmica (março/81)

Tabela 5 — Distribuição da frequência da altura da pluma convectiva e sua intensidade detectada pelo radar — março de 1981

FAIXA DE ALTURA DA PLUMA (1) INT.	0 - 99			100 - 199			200 - 299			300 - 399			> 400			TOTAL		
	f*	F**	I***	f	F	I	f	F	I	f	F	I	f	F	I	f	F	I
Frequência Absoluta	38	2	1	13	42	13	1	16	72	-	5	83	-	-	10	52	65	179
Total Geral	41			68			89			88			10			296		
Total em %	14			23			30			30								

Tabela 6 — Distribuição da frequência da altura da pluma convectiva e sua intensidade detectada pelo radar — junho de 1981

FAIXA DE ALTURA DA PLUMA (1) INT.	0 - 99			100 - 199			200 - 299			300 - 399			> 400			TOTAL		
	f*	F**	I***	f	F	I	f	F	I	f	F	I	f	F	I	f	F	I
Frequência Absoluta	34	5	1	35	40	5	1	20	36	-	-	19	-	-	-	70	65	61
Total Geral	40			80			57			19			-			196		
Total em %	20			41			29			10								

(\*) f : Inversão Fraca  
 (\*\*) F : Inversão Forte  
 (\*\*\*) I : Inversão Intensa  
 (1) INT. : Intensidade

## Convecção

Os movimentos verticais organizados na camada limite convectiva são conhecidos como plumas convectivas. A diferença de temperatura entre a parte interna e externa da pluma decresce gradualmente com a altura. A penetração da pluma dentro da camada de inversão provoca uma queda brusca de temperatura na pluma tornando-a fria.

A evolução vertical das plumas convectivas assume um papel importante na elevação e quebra das inversões. No entanto, promove a transferência de calor para o ar, na camada limite convectiva, aumentando a atividade

fotoquímica atmosférica permitindo condições necessárias para formação de altas concentrações de oxidantes.

De um modo geral as plumas convectivas são correntes verticais ascendentes que estendem do solo a alturas comparáveis à da camada de mistura. A evolução da convecção transfere calor para o ar (aumentando a mistura turbulenta), da camada próxima do solo para a camada imediatamente acima termicamente homogênea. Essas plumas surgem no registro "fac simile" da sonda como regiões da atmosfera de fraca refletividade acústica que produzem fortes ecos de retorno.

Neste estudo não se investigou a

morfologia da pluma convectiva e nem detalhes sobre a sua estrutura física, no entanto, realizou-se uma distribuição de frequência horária sobre a evolução da pluma, cujos resultados se encontram nas Tabelas 5 e 6. Em março, 296 plumas foram observadas e analisadas segundo sua intensidade, que se dividiu em fraca (f), forte (F) e intensa (I). Do total 61% foram do tipo intensa e 22% e 17% foram forte e fraca, respectivamente.

Com relação à sua distribuição por altura, 14% ocorreram entre 0 e 99 m, onde 93% foram de intensidade fraca com maior persistência no horário das 9 HL. A maior porcentagem de ocorrência foi 30% para as

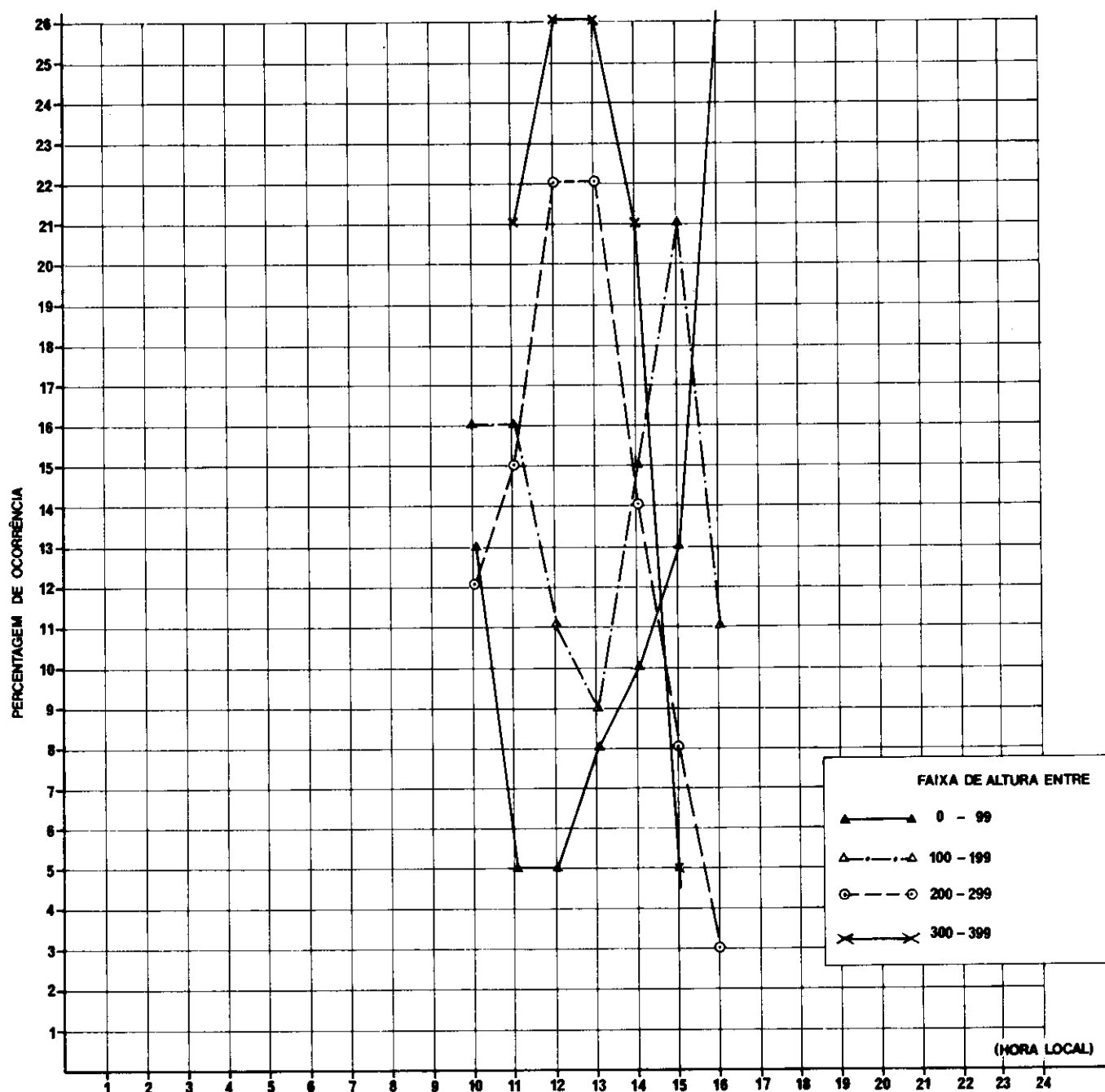


Figura 6 — Distribuição horária da faixa de altura da pluma térmica (Junho/81)



faixas de altura entre 200 e 399 m. Em ambos os casos as plumas do tipo intensa foram as mais frequentes. As Figuras 5 e 6 ilustram o período de formação destas plumas convectivas e que variam entre 8 e 10 HL para todas as faixas de altura. A extensão máxima variou entre as 11 e as 14 HL e o desaparecimento ocorreu às 17 HL em quase todos os casos.

No mês de junho a Tabela 6 mostra uma redução de 33% no total das plumas convectivas em relação a março. A faixa de altura entre 0 e 99 m não mostrou muita variação entre o mês de junho e março. A evolução da convecção neste intervalo de altura ocorre normalmente no período da manhã e ao entardecer; nestes horários a velocidade média do vento varia entre calma e fraca em qualquer época do ano devido à fraca atividade turbulenta do ar. Portanto, o desenvolvimento vertical da pluma depende basicamente da velocidade do vento (Melling, 1980).

Outro detalhe importante: o número máximo de convecção entre 200 e 299

m para março e entre 100 e 199 m para junho; este fato está diretamente ligado à nebulosidade. Em março a formação de cúmulos convectivos é mais cedo e em junho um pouco mais tarde. O que implica a predominância da faixa de altura das plumas entre 100 e 199 m no mês de junho; portanto as inversões quebram mais cedo em março do que em junho.

O desaparecimento das plumas com a altura não significa que a camada de mistura não esteja bem elevada. Ocorre que, nos níveis mais elevados, as flutuações da temperatura são menores do que próximo do solo e ainda existe o processo da absorção adicional da energia acústica de longo alcance transmitida e espalhada nas regiões de baixa refletividade acústica tornando os ecos indistinguíveis.

#### Estabilidade atmosférica

As condições de estabilidade atmosférica determinam o grau de mistura turbulenta do ar, assim sendo é um parâmetro indicador do aumento ou decréscimo da concentração de po-

luentes sob a camada da mistura. A obtenção deste parâmetro por métodos utilizados por Pasquill Gifford é uma tarefa árdua e requer uma série temporal de dados bastante confiável. A informação sobre a estabilidade atmosférica tem sua aplicação direta nos modelos matemáticos de dispersão. Procurou-se aqui estimar a estabilidade atmosférica, para tanto adotou-se os métodos de interpretação desenvolvidos por Prater (1980), e os resultados são apresentados na Figura 7 e Figura 8.

Para interpretação da estabilidade classificou-se as condições em estáveis, instáveis e neutra e sua variação com o tempo. As figuras mostram que as condições instáveis têm início às 7 HL em março, às 9 HL em junho e decrescem às 23 HL e às 22 HL nos respectivos meses.

As condições estáveis se mantêm até às 7 HL em ambos os meses, porém duram até 9 HL em março e até às 11 HL em junho. A configuração da estabilidade em ambos os meses é bastante semelhante, o ponto de interseção entre as condições estáveis

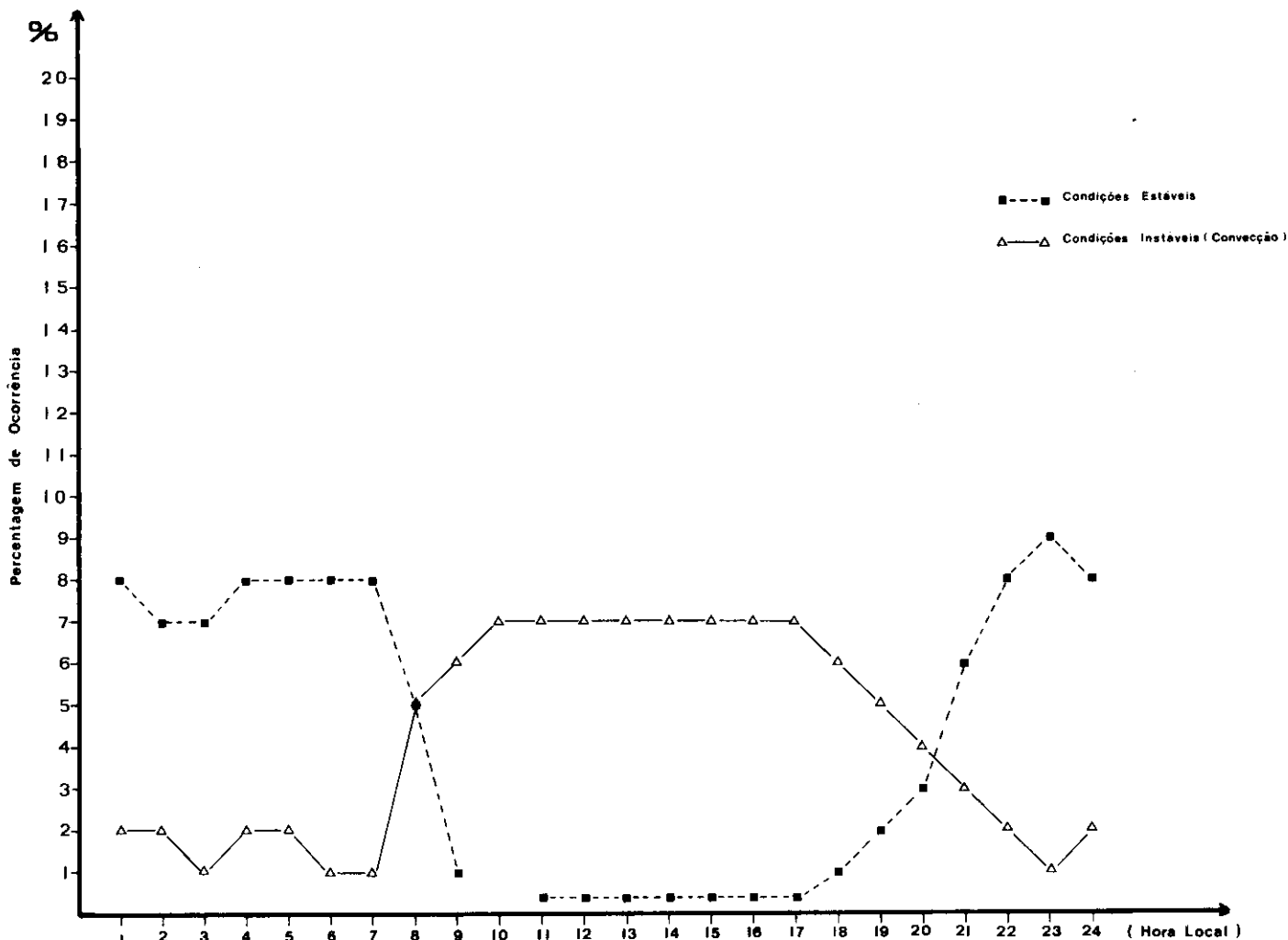


Figura 7 — Comportamento horário da estabilidade atmosférica detectada

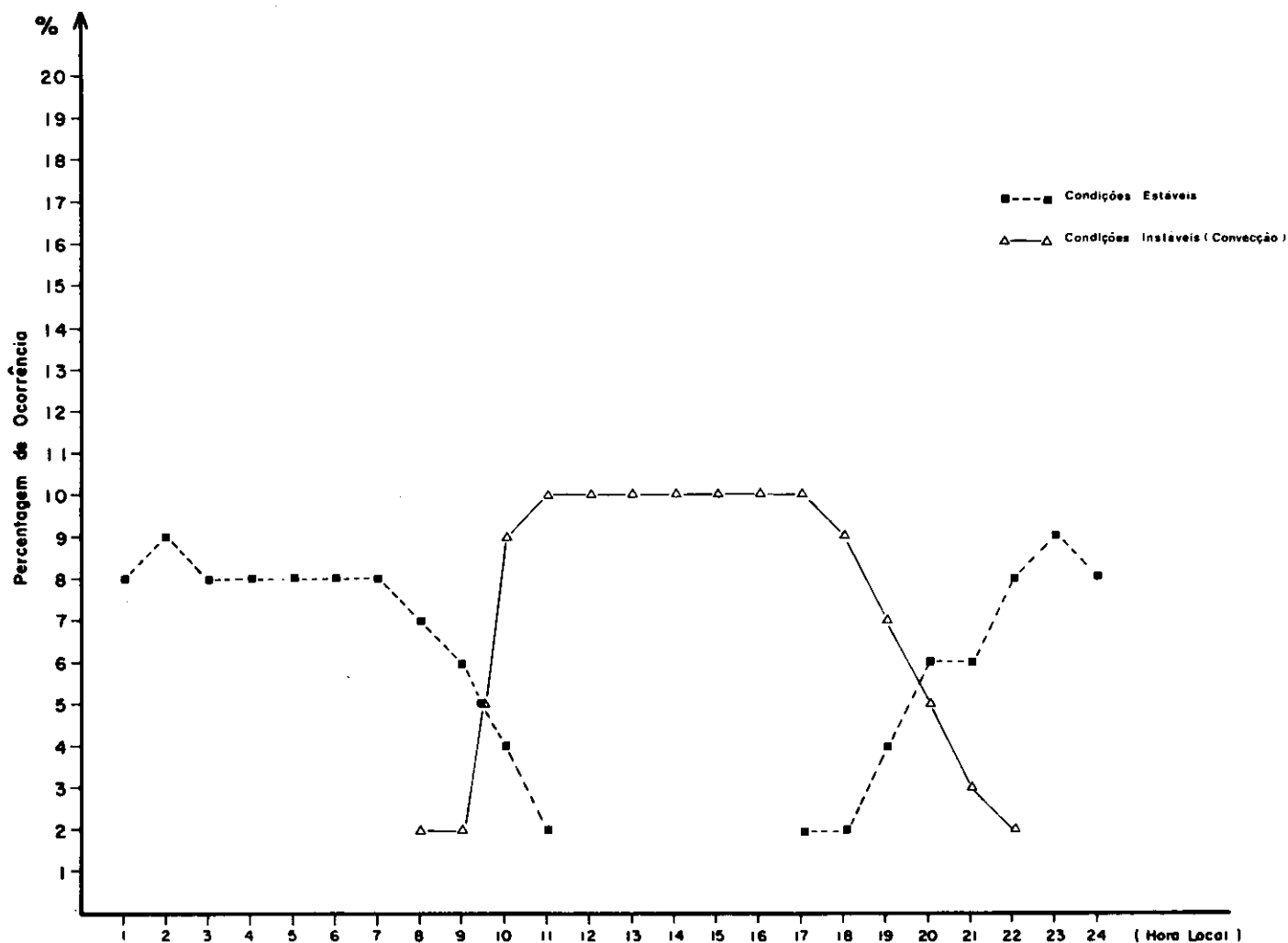


Figura 8 — Comportamento horário da estabilidade atmosférica pela sonda no mês de junho/81

e instáveis ocorre às 9:30 HL e às 19:30 HL; e às 8 HL e às 20 HL em junho. Este ponto de interseção foi traduzido como condição de atmosfera neutra. Neste estudo preliminar não se considerou a influência da nebulosidade, radiação solar e velocidade média do vento sobre a estabilidade, face à complexidade da interação dessas variáveis no estudo e tornaria essa primeira avaliação quase impossível.

**Relação entre parâmetros meteorológicos e de qualidade do ar**

Objetivando avaliar a dependência existente entre parâmetros meteorológicos críticos e as concentrações observadas para os poluentes primários, o dióxido de enxofre e o material particulado, analisou-se os dados dos meses em estudo. A diferença de meses neste tipo de estudo permitiu avaliar-se a influência estacional nos resultados, que permitiu, após a análise estatística, levantar algumas hipóteses sobre a estrutura que os relacionam. Os parâmetros meteorológicos sele-

cionados para o desenvolvimento do estudo foram os seguintes: número de horas de inversão e a velocidade média horária do vento, num total de 49 observações. Para se chegar a um resultado de certa confiabilidade, utilizou-se a técnica estatística "step

wise" para regressão linear múltipla e um conjunto de sub-rotinas do SSP no computador IBM 360/135.

Para o conjunto de dados acima, observou-se as seguintes medidas de tendências central e dispersão na Tabela 7:

Tabela 7 — Medidas de tendência

VARIÁVEL	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
SO <sub>2</sub>	55 µg/m <sup>3</sup>	32 µg/m <sup>3</sup>
MP	100 µg/m <sup>3</sup>	45 µg/m <sup>3</sup>
Nº de Horas de Inversão	8 h	4 h
Velocidade de Vento	1,33 m/s	0,55 m/s

Em seguida montou-se uma matriz correlação amostral para o SO<sub>2</sub> e o MP, onde obteve-se um resultado bastante significativo de 68,589% e para se evitar problemas de multicolinearidade, optou-se pela análise separada dos poluentes. Para tanto desenvolveu-se um ajuste para o SO<sub>2</sub> e os resultados mostraram que a variável mais bem correlacionada foi o número de horas de inversão térmica, obtendo-se uma explicação da ordem de 55,8% da variabilidade dos dados. No entanto a velocidade média do vento revelou-se como a variável mais bem correlacionada, sendo que a explicação conjunta dessas variáveis foi da ordem de 61,8%. A indicação dos meses no modelo não apresentou alterações significativas, portanto o melhor modelo foi:

$$Y = 59,87 + 2,72 NI - 19,29 V$$

onde,

Y = dióxido de enxofre (µg/m<sup>3</sup>)

NI = número de horas de inversão, (horas)

V = velocidade média do vento, (m/s)

2,72 = taxa de acréscimo do SO<sub>2</sub> para cada 1 hora de inversão térmica

- 19,29 = taxa de decréscimo do SO<sub>2</sub> para cada aumento de velocidade do vento de 1 m/s.

O modelo é aceito para os seguintes valores: velocidade média menor que 3,1 m/s e número de horas de inversão de 0,0 a 24 horas. A extrapolação de valores fora desse campo não é aconselhável.

Desenvolvendo o mesmo raciocínio para o MP obteve-se o seguinte resultado para a correlação amostral:

— número de horas de inversão foi 70,3%;

— número de horas de inversão mais o vento foi 75,9%.

e o melhor modelo foi:

$$X = 130,97 + 3,53 NI - 43,44 V$$

onde,

X = material particulado, (µg/m<sup>3</sup>)

NI = número de horas de inversão, (horas)

V = velocidade média do vento, (m/s)

3,53 = taxa de acréscimo do MP para cada 1 hora de inversão

43,44 = taxa de decréscimo do MP para cada aumento de velocidade do vento de 1 m/s.

O modelo é válido dentro dos seguintes limites: velocidade do vento inferior a 3,0 m/s e número de horas de inversão variando entre 0,0 e 24 horas.

Tanto para o ajuste do SO<sub>2</sub> para o MP foi efetuada análise de resíduos e esses demonstraram ter comportamento aleatório, além da estabilidade dos parâmetros.

Em que pese o pequeno período de observações de dados, o modelo mostrou-se ser uma ferramenta significativa para previsão de altos níveis de qualidade do ar, a partir de dados meteorológicos críticos. Isto é, número de horas de inversões e velocidade média do vento dentro dos limites estabelecidos.

## CONCLUSÃO

Neste estudo utilizaram-se os registros da sonda acústica durante os meses de março e junho para analisar-se comparativamente a evolução horária das inversões térmicas, por faixas de altura e intensidade, da convecção e da estabilidade atmosférica. E finalmente aplicou-se um modelo estatístico de correlação múltipla para correlacionar o número de horas de inversão e vento com a qualidade do ar.

A análise dos parâmetros meteorológicos mostrou o seguinte quadro:

Do mês de março para junho ocorreu um aumento de 53% do total das inversões térmicas observadas. E destes menos de 20% foram de radiação e os 80% de subsidência. Estas inversões em média formam-se às 19HL e quebram entre 9 e 10HL. Observou-se, também, que o número de horas de inversão, para cada mês, independe do dia da semana, porém é fortemente dependente das condições meteorológicas, principalmente nos dias com presença de anticiclone subtropical marítimo. E concluiu-se que o comportamento das inversões térmicas entre os dois meses é bastante semelhante, mas o seu efeito sobre a concentração de poluentes é diferente para cada mês devido ao próprio estado geral da atmosfera.

A convecção mostrou um comportamento inverso ao das inversões entre os meses em estudo. No mês de junho foi observado um decréscimo de 33% no total das plumas convectivas em relação ao mês de março. Em qualquer um dos meses em estudo a frequência das plumas para altura de 0 a 99 m é a mesma no período da manhã. Isto nos conduziu a concluir que a presença das plumas convectivas persiste mais tempo na atmosfera para baixas velocidades do vento.

Finalmente, observou-se que a pluma convectiva é um parâmetro que atua favoravelmente à dispersão de poluentes (SO<sub>2</sub> e MP) e para a quebra das inversões, porém pode ser um fator desfavorável durante sua intensidade máxima atuando para aumentar a atividade fotoquímica do ar.

A estabilidade atmosférica também foi analisada no sentido global apenas para caracterizar sua evolução entre os dois meses. Foi classificada como condições estáveis, instáveis e neutra. Notou-se que existe um retardo para o início das condições instáveis no período da manhã entre junho e março, no entanto o seu desaparecimento à tarde ocorre quase no mesmo horário em ambos os meses. A avaliação desse parâmetro foi no sentido global não se utilizando outros parâmetros em paralelo. Deverá ser reestudado mais detidamente dentro dos futuros programas de pesquisas.

Finalizando, desenvolveu-se um estudo de correlação múltipla entre a qualidade do ar e os parâmetros meteorológicos; para tanto utilizou-se a técnica estatística "step wise" para regressão linear múltipla. Dos resultados observou-se que a velocidade do vento exerce uma influência dominante sobre as concentrações do SO<sub>2</sub> e do MP. Com relação ao campo de validade do modelo para o MP, é válido para velocidades de vento inferior a 3,0 m/s e 3,1 m/s para o SO<sub>2</sub>. E para o número de horas de inversão o modelo é aceito para variação de 0,0 às 24 horas, tanto para o SO<sub>2</sub> como para o MP.

Apesar do período de dados usados para o desenvolvimento do modelo acima, pelo menos a nível preliminar, mostrou-se ser uma ferramenta bastante significativa para previsão dos altos níveis de dióxido de enxofre e material particulado a partir do número de horas de inversão e da velocidade média do vento de superfície.

## BIBLIOGRAFIA

1. Diretoria de Hidrografia e Navegação — Publicação Mensal de Mapas. DHN-MM. 1981.
2. GODINHO, R.; OLIVEIRA, S. e ALMEIDA, M.A.L. — Estudo Preliminar sobre a Utilização da Sonda Acústica no Controle da Poluição do Ar. II Cong. ABES. Fortaleza — CE, 1981.
3. MAUGHAN, R.A. — Frequency of Potential Contributions by Major Sources to Ground Level Concentrations of SO<sub>2</sub> in the Fourth Valley, Scotland: An Application of Acoustic Sounding. *Atmos. Environment*, (13), 1967-1706: 1979.
4. McALLISTER, L. G. — Acoustic Sounding of the Lower Troposphere. *J. Atmos. Terr. Phys.* (30), 1439 — 1440: 1968.
5. MELLING, H. and List, R. Characteristics of Vertical Velocity Fluctuations in a Convective Urban Boundary Layer. *J. Applied Meteor.* 10 (19), 1185 — 1195: 1980.
6. OLIVEIRA, S. — Um Plano de Estudo para Interpretação dos Dados do Radar Acústico. Relatório Interno da Divisão de Meteorologia, Cetesb, 1979.
7. PRATER, B. E. and Colls, J. J. — Correlations Between Acoustic Sounding Dispersion Estimates, Meteorological Parameters and Pollution Concentrations. *Atmos. Environment*, 5 (15): 793 — 798, 1981.