

CETESB

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL

DIRETORIA DE NORMAS E PADRÕES AMBIENTAIS
DEPARTAMENTO DE QUALIDADE AMBIENTAL E PADRÕES
DIVISÃO DE QUALIDADE DO AR
NPQI

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA
AV. PROF. FREDERICO HERMES JR., 345 CEP 05489 - PINHEIROS
SÃO PAULO - BRASIL

MODELAGEM MATEMÁTICA DAS CONCENTRAÇÕES DE MONÓXIDO DE CARBONO NO CENTRO DE SÃO PAULO

AGOSTO/90

| | |
|--------|-------|
| CLASS. | |
| AU | |
| NUM. | 19716 |

B207
F94m(RCET)
019716

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO

Orestes Quércia
Governador

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE

Jorge Wilhelm
Secretário



CETESB

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

DIRETORIA

João Gualberto C. Meneses
Diretor-Presidente

Eduardo San Martin
Diretor de Controle da Poluição

Frederico Pegler Neto
Diretor Administrativo e Financeiro

Laura Maria Regina Tetti
Diretora de Desenvolvimento de Programas e Mobilização

Nelson Vieira de Vasconcelos
Diretor de Normas e Padrões Ambientais

Octávio Dótolli
Diretor de Treinamento e Transferência de Tecnologia

*Modelagem Matemática das Concentrações de Monóxido de Carbono no
Centro de São Paulo*

George L. Fruehauf - NPQI

Alfred Szwarc - DEV

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

1. Introdução

O estudo das concentrações de monóxido de carbono (CO) em ambiente urbano é bastante complexo. Nele se insere a problemática da dispersão de poluentes em seus três aspectos: emissões, fatores meteorológicos e características locais da região em estudo. A necessidade de considerar estes elementos simultaneamente é que impõe complexidade ao estudo.

Atualmente, na diagnose de um dado local da cidade de São Paulo, são utilizados métodos de amostragem. Este procedimento fornece dados acurados, mas espacialmente restritos, pois, a concentração de CO pode variar significativamente em certos casos, de um lado a outro de uma rua, por exemplo. A necessidade de diversos instrumentos amostradores, seu custo inicial e de manutenção, inviabilizam uma mais ampla aplicação deste procedimento.

Por outro lado, através de métodos de modelagem matemática, pode-se abranger uma dada região urbana e se estimar concentrações em qualquer local desejado. Neste sentido, a modelagem serve como instrumento de apoio no processo de planejamento ambiental e na detecção das causas principais dos problemas existentes. Há ainda a possibilidade de testes hipotéticos à mudanças em curso para avaliação de seus impactos ao meio ambiente.

Em geral, a principal fonte de CO em ambiente urbano são os veículos leves, e a modelagem matemática deste tipo de fonte exige tratamento particular. No Brasil, a modelagem aplicada à poluição do ar causada por emissões veiculares ainda se encontra em um estágio inicial. Em outros países o uso dessa técnica já se encontra bastante desenvolvido.

Nos EUA, a Agência de Proteção Ambiental (E.P.A.) recomenda a utilização de diversos modelos para avaliação de impacto ambiental de novos combustíveis, de polos para atração e geração de tráfego, bem como, de estratégias de controle de poluição e previsão diária de níveis de poluição ambiental.

O presente trabalho tem por objetivo verificar a aplicabilidade do modelo APRAC (Air Pollution Research Advisory Committee) na avaliação de concentrações ambientais de CO na região central da cidade de São Paulo. Caso isto se verifique, ele poderá ser utilizado na avaliação do impacto na qualidade do ar de novas vias de tráfego e auxiliar na prevenção de episódios agudos de poluição do ar por este poluente.

2. APRAC

O modelo gaussiano urbano de dispersão de poluentes, APRAC, foi desenvolvido a fim de calcular a concentração de poluentes de baixa reatividade em qualquer ponto de uma cidade. Sua concepção resultou do trabalho de Ludwig et alii (1970, 1972) e de Johnson et alii (1971). O modelo calcula a concentração de poluentes devido a contribuição em três escalas de dispersão; dispersão extraurbana devido a fontes externas à barlavento da cidade, dispersão interurbana devido às vias inclusas no modelo, e dispersão local, devido aos vórtices formados nas ruas cercadas por edificações altas ("street canyons"). O modelo foi desenvolvido em função das características do CO, que, pela sua

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL
EXEMPLO DE APLICACAO

baixa reatividade, pode ser considerado como praticamente inerte para períodos da ordem de dias.

O APRAC foi desenvolvido para permitir a inclusão de emissões de CO em uma malha viária constituída por vias urbanas e suburbanas, principais e secundárias. Para calcular o volume de tráfego, em cada hora por via, aplica-se ao valor diário de fluxo médio de veículos, seu respectivo valor percentílico horário.

As emissões são incluídas no modelo como função da velocidade, segundo a equação:

$$E = \alpha V^{-\beta} \quad (1)$$

Onde E é o fator de emissão de CO, expresso em g/ml, α e β são constantes de emissão características da frota local de veículos (α é expresso em g/h e β é adimensional). O valor da velocidade, V, é obtido a partir do tipo da via e do número de veículos trafegando em dado horário. A emissão total por via, resulta do valor de E vezes o número de veículos trafegando no horário em questão.

O modelo considera ainda emissões de veículos que não estejam trafegando nas vias já incluídas. Este efeito assume a forma de concentração de fundo e sua contribuição é computada via difusão extraurbana.

O princípio básico da modelagem é que a concentração é proporcional às emissões e inversamente proporcional a intensidade do vento, à altura da camada de mistura e à difusão dos poluentes. Nestes parâmetros se inserem os fatores de emissão, aspectos meteorológicos e características locais. As diversas formas

com que estes parâmetros são inclusos no modelo são descritas abaixo.

2.1. Difusão Interurbana

A difusão interurbana é calculada a partir de áreas segmentadas e espaçadas logaritmicamente, à barlavento do ponto receptor (Fig. 1). Estes segmentos são orientados para que o fluxo de ar transporte os poluentes emitidos em seu interior para o receptor em questão. O APRAC assume emissão uniforme em cada área, a qual é calculada a partir da soma da contribuição individual de cada via em seu interior. O conceito de pluma gaussiana é usado para os cálculos de concentração nos casos de fontes próximas, de forma que a distribuição horizontal e vertical do poluente se dá por esta equação matemática. No caso de fontes mais distantes, o conceito de caixa ("box model") é utilizado (Mancuso e Ludwig, 1972).

2.2. Difusão Extraurbana

Este aspecto da difusão, devido a fontes mais distantes, exige cálculos mais simples. Assume-se o conceito "box model" aplicado a um dos 16 setores de direção do vento, de onde provém o fluxo. Esta contribuição é proporcional ao combustível consumido anualmente neste setor e é a forma com que o APRAC incorpora emissões do tráfego devido às vias não inclusas explicitamente nos dados de entrada do modelo. Este dado foi definido pelos autores, considerando-se a densidade populacional e as atividades econômicas predominantes em cada setor.

2.3. Difusão Local

Experimentos realizados em San Jose, Califórnia, demonstraram a formação de circulações helicoidais imersas nos "street canyons"

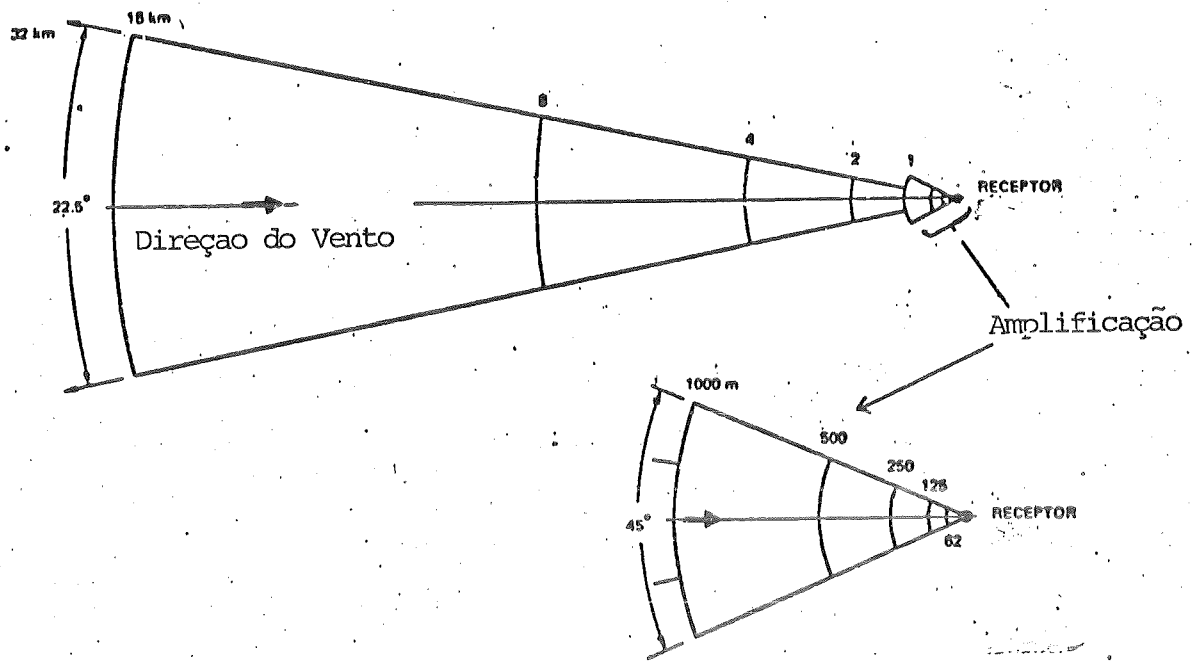


FIGURA 01

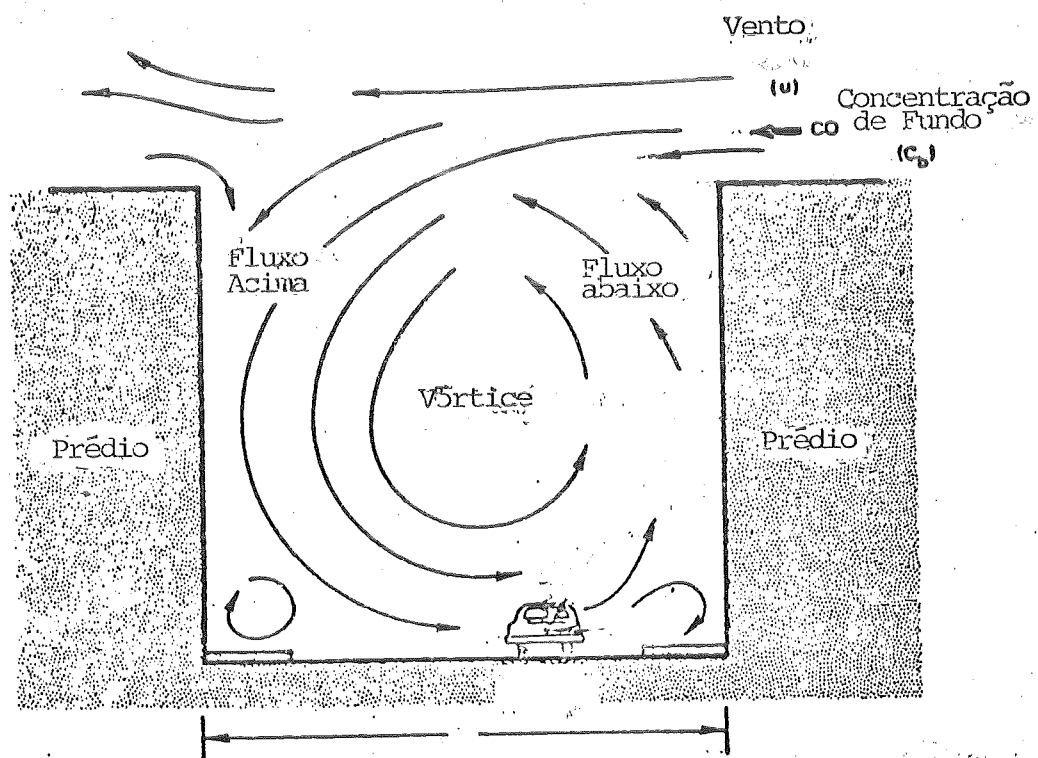


FIGURA 02

(Johnson et alii 1971). Estes vórtices surgem devido à componente do vento perpendicular à orientação do "street canyon". Neste caso haverá transporte de massa do lado à sotavento da rua ao oposto, à barlavento (Fig. 2). A inclusão deste submodelo no APRAC resulta em dados mais acurados e espacialmente representativos na pequena escala. O valor final da concentração num receptor é dada pela soma das contribuições interurbana, extraurbana e local.

2.4. Meteorologia

Os dados meteorológicos horários necessários ao funcionamento do modelo são: direção e intensidade do vento, altura da camada de mistura e estabilidade atmosférica. O APRAC foi programado para ser utilizado em cidades onde houver somente observações meteorológicas "convencionais", disponíveis em aeroportos, por exemplo.

O APRAC contém rotinas especiais para calcular a altura da camada de mistura e estabilidade atmosférica a partir das observações. O método usado para calcular altura da camada de mistura baseia-se em dados de radiossondagem das 12:00 TMG. A radiossondagem, juntamente ao valor máximo da temperatura de superfície, permite que seja calculado o valor máximo da altura da camada de mistura. O valor mínimo da camada de mistura, é obtido a partir da radiossondagem e de relações empíricas envolvendo o tamanho da cidade e valores horários de temperatura de superfície à noite. Os valores horários da camada de mistura, são então, interpolados a partir daqueles, considerando-se as respectivas temperaturas de superfície. Assume-se que a camada de mistura entre zero hora e a alvorada se mantenha constante, igual ao valor mínimo. A estabilidade atmosférica é obtida em função da insolação

(temperatura) e intensidade do vento durante o dia, e da opacidade (cobertura de nuvens) e intensidade do vento à noite.

Neste estudo utilizamos a radiosondagem, a pressão e observações horárias de nebulosidade do aeroporto de Congonhas. As observações horárias de temperatura, direção e intensidade do vento e as temperaturas máxima e mínima foram obtidas da estação da CETESB no Parque D. Pedro II, centro de São Paulo.

2.5. Modificações no APRAC

Nossos experimentos preliminares subestimaram sistematicamente valores da concentração de CO quando estes estiveram mais elevados. Estes casos ocorreram quando a intensidade do vento foi inferior a 1,0 m/s. Um exame na formulação do APRAC mostrou que a condição de calma é assumida para ventos de intensidade inferior àquele valor. Neste caso o valor da intensidade assumida é igual ao valor mínimo permitido e a direção se mantém constante e igual a da hora anterior. Como esta suposição subestima o limite de detecção do instrumento amostrador, 0,5 m/s, modificamos o modelo para que também assumisse condição de calma somente para ventos inferiores àquele valor. Esta modificação reduziu o erro total da concentração calculada em 11%. Para valores de concentração observada maiores que 20ppm, o erro diminuiu em 45%. Assim, os valores calculados alcançaram, em magnitude, aos observados na condição de ventos fracos.

Em sua concepção original, o APRAC calcula a concentração de CO, em médias horárias para cada receptor incluso no experimento. Como os efeitos do CO sobre a saúde são comumente correlacionados com médias móveis de 8 horas, o modelo foi adaptado para também fornecer este dado.

3. Região de Estudo

Para a aplicação da modelagem, escolheu-se a região situada dentro de um raio de 3 km, a partir do marco zero da cidade de São Paulo: a Praça da Sé. Essa escolha se deve a uma série de fatores que tornam esta região de particular interesse, ou seja:

1. Esta região pode ser considerada como um grande entroncamento urbano, por onde circulam diariamente, segundo estimativas do CET, cerca de 1 milhão de veículos, sendo portanto considerada zona de tráfego intenso. Segundo estimativas da CETESB, aproximadamente 90% das emissões de CO para a atmosfera se devem ao tráfego de veículos. Pode-se inferir, portanto, que se trata de uma região com atmosfera poluída essencialmente por veículos.

2. A região conta com duas estações de monitoramento de qualidade do ar, interligadas à rede da CETESB (Praça do Correio e Parque D. Pedro II)

3. Historicamente, os maiores índices de CO, tem sido registrados na estação da Praça do Correio, inclusive o máximo de 38,6 ppm, observado no dia 11 de agosto de 1987. Esta estação está localizada numa região de alta densidade de tráfego, sofrendo influência de corredores de tráfego saturado e lento.

4. A Zona de Interesse de Controle - ZIC CENTRO, se encontra nesta região. Vale observar que a estratégia estabelecida para o controle de episódios agudos de poluição por CO, na Região Metropolitana de São Paulo, está em grande parte baseada nos dados de qualidade do ar observados na ZIC. Esta estratégia estabelece recomendações no sentido de se evitar a utilização do automóvel no centro, no caso de se atingir 15 ppm de

CETESB - COMISSÃO DE QUALIDADE E CONTROLE AMBIENTAL
RUA... 1117...
...A

CO (qualidade do ar RUIM), até o bloqueio físico do tráfego na região, com exceção de veículos de emergência, caso se ultrapasse a concentração de 40 ppm (estado de EMERGENCIA).

Vale lembrar que em 13 de julho de 1988, realizou-se nesta região a Operação Alerta 2, que consistiu em um exercício de defesa civil, orientado para as medidas a serem tomadas em caso de ultrapassagem da concentração de 35 ppm. Naquela ocasião, verificou-se uma redução de cerca de 50% na concentração de CO em relação à concentração do dia anterior, e uma redução de aproximadamente 90% na circulação de veículos na região, no período de 6:00 às 21:00 h.

A região conta, ainda, com informações sobre volume e velocidade de tráfego, que são de fundamental importância para o estabelecimento de importantes parâmetros que irão alimentar o modelo.

4. Dados de Entrada

Para realizar a modelagem, são necessários diversos dados de entrada, entre eles o n^o de veículos por via por hora, a localização e classificação das ruas em função da largura e fluidez e fatores de emissão veicular. Portanto, é de interesse que haja o maior número possível de informações relativas à concentração ambiental de CO, de modo a se poder prever e, se possível, evitar a ocorrência de episódios agudos envolvendo este poluente. A caracterização das vias é dada abaixo (Tab. 1).

TABELA 1 Caracterização das vias de tráfego.

| Caraterização da via | Tipo (n ^o) | Velocidade média de percurso (km/h) (fora de horários de pico) |
|-----------------------|------------------------|---|
| Centro - via expressa | 1 | 70 |
| - via arterial | 2 | 15 |
| Bairro - via expressa | 3 | 85 |
| - via arterial | 4 | 32 |
| Local - A | 5 | 15 |
| - B | 6 | 8 |

Obs: A velocidade de percurso nos horários de pico é 85% da velocidade do horário normal.

4.1. Emissões de Poluentes por Veículos

Um dado básico para qualquer processo de modelagem da poluição atmosférica, é o conhecimento da carga ou taxa de emissão do poluente de interesse, que determinarão os valores de α e β na Eq. 1. Em nosso caso, a carga de emissão foi estimada a partir do fator de emissão de 34,1 g/km, representativo da frota, em função de uma velocidade média de tráfego igual a 31,5 km/h. Este fator de emissão foi calculado com base nos fatores de emissão individuais, para cada classe de veículo, adotadas pela CETESB (Murgel et alii, 1987), os quais foram ponderados pela participação estimada de cada classe no total da frota circulante (Tab. 2). Além disso, estabeleceu-se um fator de incremento da emissão (10%), em função da degradação da frota e da redução verificada na velocidade média do tráfego (Murgel e Szwarc, 1989; Tab. 3).

Na determinação do valor de β , utilizamos aquele sugerido por Mancuso e Ludwig (1972), igual a -0,48. O valor

de a foi obtido como a melhor aproximação dos valores da Tabela 3 pela Eq. 1 e é igual a 244 g/h. Observamos que os dados de entrada foram posteriormente convertidos para as unidades utilizadas originalmente pelo APRAC. O erro médio das emissões devido a estes valores de a e β foi de somente 2,4%.

TABELA 2 Base de Cálculo para o Fator de Emissão

| Classe de veículo | Fator de emissão g/km (*) | Participação da frota em 1987 (%) (**) |
|---|---------------------------|--|
| Gasolina (22% álcool) | 40,5 | 57,1 |
| Alcool | 18,8 | 28,8 |
| Diesel | 17,8 | 6,4 |
| Motos e similares | 19,8 | 6,7 |
| Média ponderada | 31,0 | |
| Média acrescida de 10% para compensar a degradação dos veículos | 34,1 | |

* Válido para velocidade média igual a 31,5 km/h em área urbana.

** Valores estimados.

TABELA 3 Variação do Fator de Emissão em Função da Velocidade Média

| Velocidade Média (km/h) | Aumento em % | Fator de Emissão (g/km) |
|-------------------------|--------------|-------------------------|
| 31,5 | ---- | 34,1 |
| 19,0 | 25 | 42,6 |
| 14,0 | 50 | 51,1 |

Com base no fluxo veicular observado nos horários dos picos da manhã e da tarde em 1986 e 1987 em alguns cruzamento das vias de tráfego (CET 1989), avaliamos o fluxo veicular médio diário nas vias abaixo (Tab. 4).

TABELA 4 Fluxo veicular médio diário por via

| Nº | Via | Tipo | Veiculos/dia (mil) |
|----|-------------------------|------|--------------------|
| 1 | Senador Queiróz | 5 | 96 |
| 2 | João Mendes | 5 | 81 |
| 3 | Consolação A | 5 | 76 |
| 4 | Consolação B | 2 | 16 |
| 5 | Mercúrio | 6 | 60 |
| 6 | Ipiranga | 6 | 60 |
| 7 | Maria Paula | 6 | 51 |
| 8 | São Luiz | 6 | 51 |
| 9 | Rangel Pestana | 5 | 43 |
| 10 | Rio Branco | 5 | 37 |
| 11 | Anita Garibaldi | 6 | 42 |
| 12 | Figueira | 3 | 31 |
| 13 | Casper Libero | 2 | 29 |
| 14 | Alfredo Issa | 2 | 53 |
| 15 | Aurora | 2 | 32 |
| 16 | Brigadeiro Tobias | 2 | 55 |
| 17 | Carlos Souza Nazareth | 2 | 55 |
| 18 | Cantareira | 2 | 61 |
| 19 | 25 de Março | 2 | 20 |
| 20 | General Carneiro | 2 | 43 |
| 21 | Estado | 2 | 76 |
| 22 | Seminário | 2 | 21 |
| 23 | Antônio Godoy | 2 | 28 |
| 24 | Paissandú | 2 | 32 |
| 25 | Brigadeiro Luiz Antônio | 2 | 39 |
| 26 | Riachuelo | 2 | 33 |
| 27 | Liberdade | 2 | 54 |
| 28 | Viaduto do Chá | 2 | 26 |
| 29 | Viaduto 9 de Julho | 2 | 71 |
| 30 | Viaduto D. Paulina | 2 | 32 |

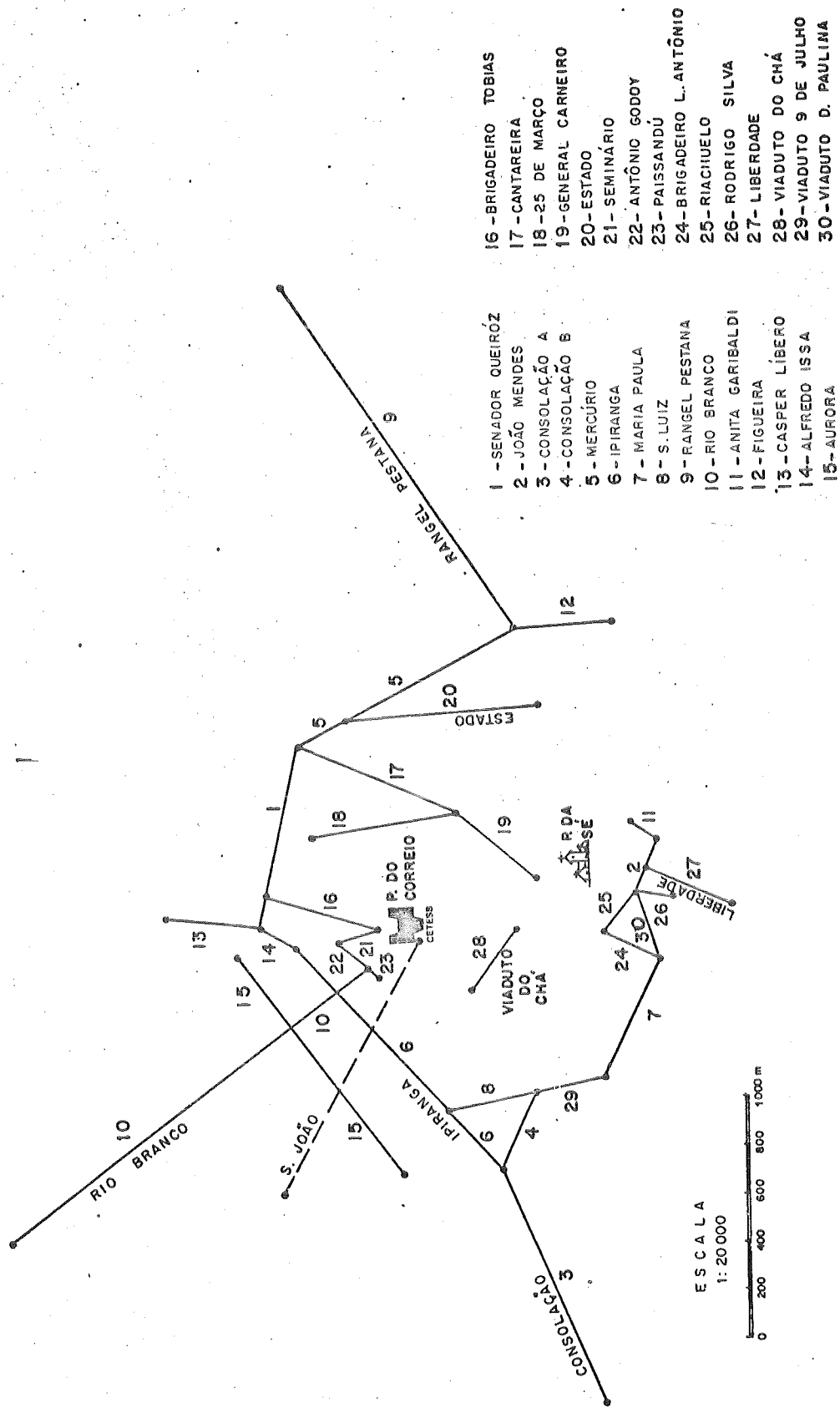
Os dados fornecidos pelo CET (1989) referem-se a observações pontuais do trânsito. Para obter-se o número de veículos por via, foram tomadas médias entre 2 pontos fornecidos. Esta avaliação baseia-se em dados colhidos em 2 anos e pressupõe que as vias já atingiram seu ponto de saturação, permanecendo assim até o presente. Esta hipótese permite a utilização simultânea destes dados para entrada no modelo em qualquer instante particular. A disposição destas vias no local do estudo é dada abaixo (Fig. 3).

Necessitou-se ainda determinar a distribuição percentual deste total diário pelas 24 horas do dia. Esta determinação foi estimada em face da não disponibilidade dos dados e é apresentada abaixo.

TABELA 5 Distribuição horária do fluxo veicular diário

| Hora do dia | Tráfego(%) | Tráfego(%) |
|-------------|--------------|--------------|
| | vias 1,2 e 6 | vias 3,4 e 5 |
| 1/13 | 0.50 / 6.20 | 1.70 / 4.50 |
| 2/14 | 0.50 / 6.10 | 1.00 / 5.00 |
| 3/15 | 0.46 / 6.08 | 0.60 / 5.80 |
| 4/16 | 0.42 / 7.02 | 0.50 / 7.10 |
| 5/17 | 0.64 / 7.96 | 1.00 / 7.60 |
| 6/18 | 1.90 / 8.61 | 3.40 / 6.10 |
| 7/19 | 4.14 / 6.47 | 6.20 / 5.30 |
| 8/20 | 5.76 / 5.00 | 6.40 / 5.20 |
| 9/21 | 6.09 / 3.70 | 5.00 / 4.30 |
| 10/22 | 6.06 / 3.44 | 4.50 / 3.80 |
| 11/23 | 5.84 / 2.00 | 4.60 / 3.40 |
| 12/24 | 6.00 / 0.84 | 4.40 / 2.50 |

FIG. 3 - MAPA DE FONTES LINEARES NO CENTRO DE SÃO PAULO



- | | |
|----------------------|----------------------------|
| 1 - SENADOR QUEIROZ | 16 - BRIGADEIRO TOBIAS |
| 2 - JOÃO MENDES | 17 - CANTAREIRA |
| 3 - CONSOLAÇÃO A | 18 - 25 DE MARÇO |
| 4 - CONSOLAÇÃO B | 19 - GENERAL CARNEIRO |
| 5 - MERCÚRIO | 20 - ESTADO |
| 6 - IPIRANGA | 21 - SEMINÁRIO |
| 7 - MARIA PAULA | 22 - ANTÔNIO GODOY |
| 8 - S. LUIZ | 23 - PAISSANDÚ |
| 9 - RANGEL PESTANA | 24 - BRIGADEIRO L. ANTÔNIO |
| 10 - RIO BRANCO | 25 - RIACHUELO |
| 11 - ANITA GARIBALDI | 26 - RODRIGO SILVA |
| 12 - FIGUEIRA | 27 - LIBERDADE |
| 13 - CASPER LIBERO | 28 - VIADUTO DO CHÁ |
| 14 - ALFREDO ISSA | 29 - VIADUTO 9 DE JULHO |
| 15 - AURORA | 30 - VIADUTO D. PAULINA |

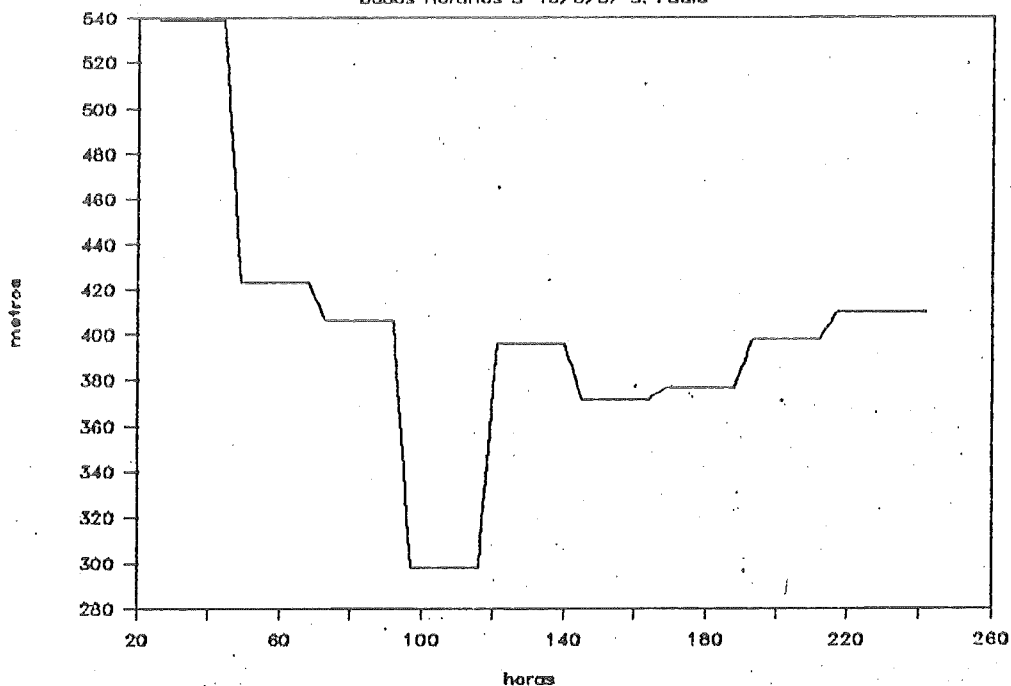
5. Resultados

O APRAC foi aplicado ao centro da cidade de São Paulo com objetivo de simular as concentrações de CO observadas pela estação automática de amostragem de qualidade do ar da CETESB na Praça do Correio. Os dias selecionados para o experimento foram: 8 à 16 de agosto de 1987. Nestes dias São Paulo esteve sob a influência meteorológica da alta pressão do Atlântico Sul o que ocasionou a condição de calmaria e uma intensa inversão de subsidência; ambos desfavoráveis à dispersão de poluentes.

O modelo simulou bem esta condição ao calcular o valor horário da altura da camada de mistura, pois sua magnitude foi compatível com àquela usualmente observada em condições meteorológicas semelhantes (Fig. 4). Devido à falta de instrumentos adequados à observações horárias, não foi possível avaliar a precisão do modelo quanto a este parâmetro (CETESB 1990).

Altura da Camada de Mistura

Dados Horários 8-16/8/87 S. Paulo



CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA

As médias móveis de 8 horas dos resultados obtidos para CO e as observações foram comparadas aos índices de qualidade do ar dados abaixo (Tab. 6) e classificados conforme as faixas estabelecidas.

| Índice | Nível de Qualidade do Ar | Qualificação | SO ₂ Média 24 h ug/m ³ | PTS Média 24 h ug/m ³ | Produto Média 24 h ug/m ³ | CO Média 8 h ppm | O ₃ Média 1 h ug/m ³ | Fumaça Média 24 h ug/m ³ | Descrição dos Efeitos Sobre a Saúde | Precauções |
|--------|--------------------------|--------------|--|--|--|------------------------|--|---|---|---|
| 0 | | | | | | | | | | |
| 50 | 50% PQAR | Boa | 80(a) | 80(a) | | 4,5 | 80 | 60 | | |
| 100 | PQAR | Aceitável | 365 | 240 | | 9,0 | 160 | 150 | | |
| 200 | ATENÇÃO | Inadequada | 800 | 375 | 65.000 | 15,0 | 200 | 240 | Leve agravamento de sintomas em pessoas suscetíveis, com sintomas de irritação na população sadia. | Pessoas com doenças cardíacas ou respiratórias devem reduzir as atividades físicas. |
| 300 | ALERTA | Má | 1600 | 625 | 261.000 | 30,0 | 800 | 400 | Decréscimo da resistência física, e significativo agravamento dos sintomas em pessoas com enfermidades cardíacas e respiratórias. Sintomas gerais na população sadia. | Pessoas idosas ou com doenças cardíaco-respiratórias devem reduzir as atividades físicas e permanecer em casa. |
| 400 | EMERGENCIA | Péssima | 2100 | 875 | 393.000 | 40,0 | 1200 | 560 | Aparição prematura 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 | CRITICO | Crítica | 2620 | 1000 | 490.000 | 50,0 | 1500 | 640 | 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 fechadas as portas e janelas. Todas as pessoas devem diminuir as atividades físicas e evitar o tráfego. |

OBS : Os estados de Atenção, Alerta e Emergência associados às qualificações não são aplicáveis para os dados de Fumaça.
 SO₂ - Dióxido de Enxofre
 PTS - Poeira Total em Suspensão
 CO - Monóxido de Carbono
 O₃ - Ozônio
 PQAR - Padrão de Qualidade do Ar
 (a) - PQAR anual

TABELA 06

5.1. Séries temporais diárias

Descrevemos abaixo uma sùmula da dinàmica meteorològica durante os 9 dias do estudo. As cartas meteorològicas apresentadas contêm dados de superfície e os diagramas adiabático foram obtidos a partir de uma radiossondagem cujo balão foi lançado do Aeroporto de Congonhas. Ambos contêm dados instantâneos observados às 12:00 TMG, 9:00 h locais. Os comentários sobre variações de parâmetros meteorològicos específicos (nebulosidade, visibilidade, névoa e intensidade do vento) durante o dia referem-se a dados instantâneos observados em superfície a cada 6 horas no Mirante de Santana.

A avaliação da modelagem do APRAC foi feita através da análise dos parâmetros estatísticos correlação e desvio padrão. O primeiro identifica linearidade entre as estimativas do modelo e as observações, e desconsidera a grandeza dos desvios. O segundo atua de forma inversa, avaliando quantitativamente os desvios e desconsiderando divergências quanto a tendência.

8 de Agosto

A condição sinótica foi de final da influência da frente fria que, sobre o continente, localizou-se ao Norte do ES deixando atrás de si, sobre SP, ar frio e "novo", portanto relativamente "limpo". O anticiclone se dividiu em duas células, uma sobre o continente e outra sobre o Atlântico. A alta sobre o continente, cujo centro encontrava-se sobre o Paraguai no dia anterior, deslocou-se para o extremo Oeste de SP. A alta sobre o oceano teve seu centro situado a Sudeste da bacia do estuário do Plata. Associada à redução no gradiente de pressão, a intensidade do vento diminuiu, possibilitando a formação de névoa seca à tarde (Fig. 5).

Em altitude, o efeito da frente fria ainda se fez notar através da inversão frontal a 380 m. Outra inversão térmica baixa, com base em 330 m, pode ser classificada como fraca sendo o remanescente da inversão de radiação que se formou à noite sendo consumida de baixo para cima devido ao aquecimento de superfície de manhã. A condição de dispersão de poluentes foi avaliada como favorável (Fig. 6).

Sob esta influência meteorológica, observou-se que a concentração de CO variou de 7 à 11 ppm das 0:00 às 23:00 h, apresentando tendência de crescimento. O APRAC acompanhou esta tendência mas apresentou superestimação em todos horários. Tanto os valores observados como os calculados ultrapassaram o padrão de qualidade do ar, sendo que o calculado atingiu o nível de ATENÇÃO. A média diária observada foi 6,5 e a calculada foi 10,4 ppm. A correlação foi de 75% e o desvio padrão foi 4,6 ppm (Fig. 7).

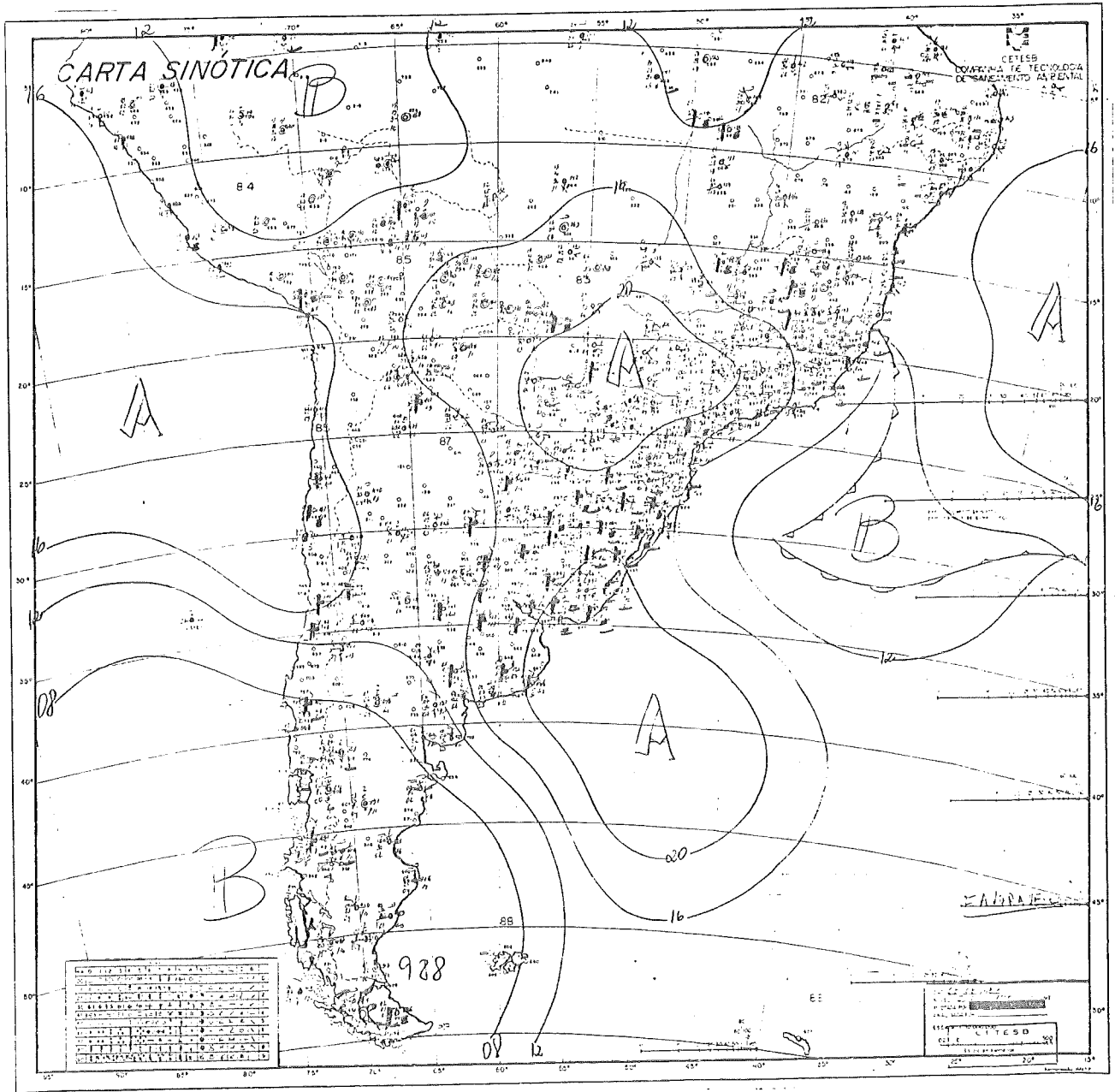
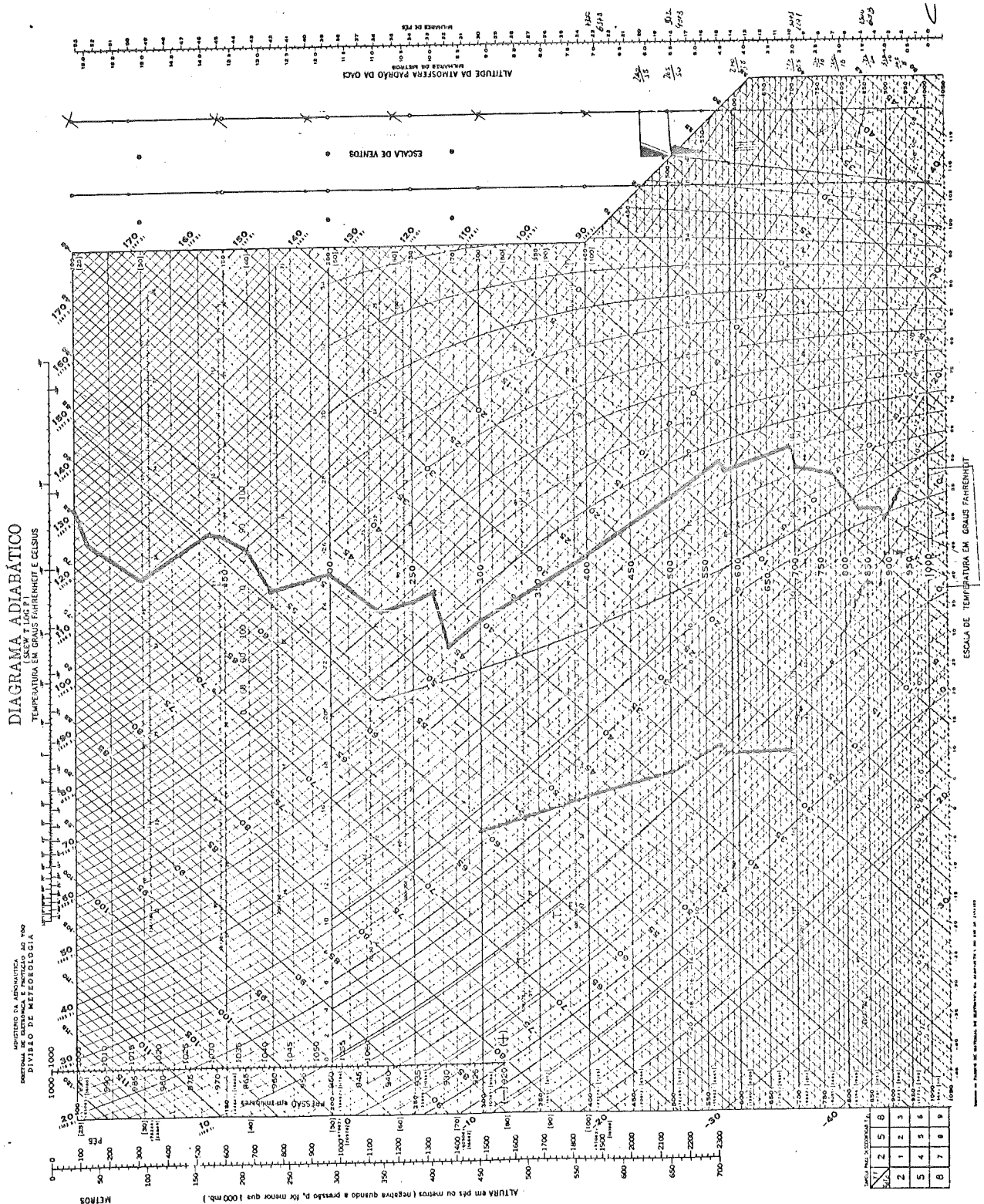
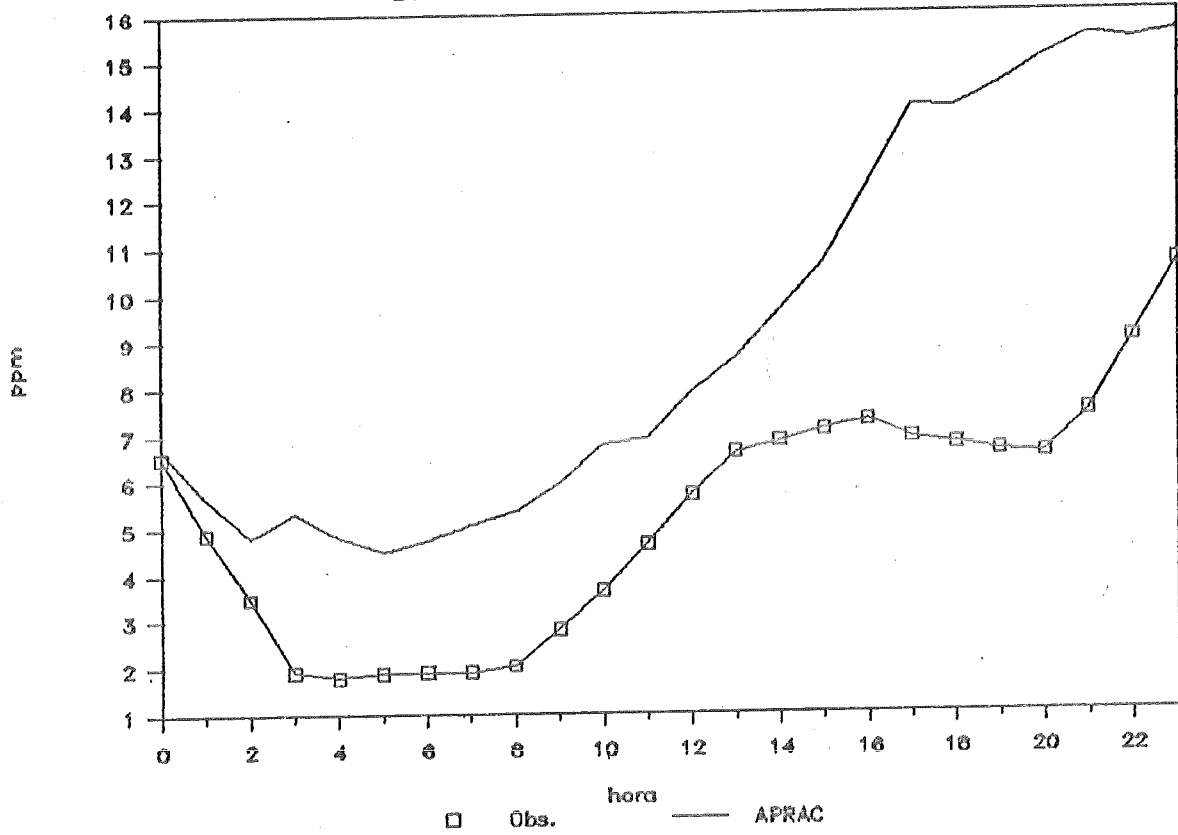


FIGURA 06



Monóxido de Carbono

Dados horários 8/8/87 - Pça do Correio



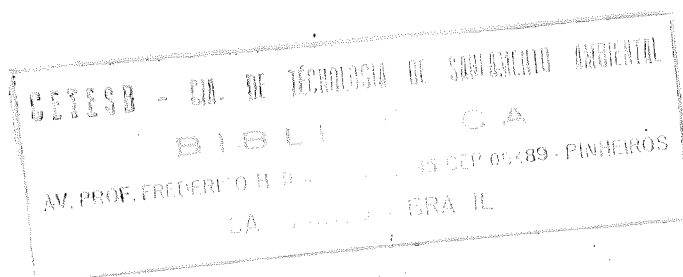
MÉDIA MÓVEL DE 08 HORAS

FIGURA 07

9 de Agosto

A condição sinótica foi de influência da alta pressão sobre SP com centro sobre o Atlântico Sul, estendendo-se sobre o continente do Uruguai ao RJ, penetrando em toda região Sul do Brasil, SP e Sul de MG. A frente fria que estivera sobre o ES deslocou-se totalmente para o Atlântico deixando de exercer influência sobre o continente. A intensidade do vento aumentou durante o dia e a névoa seca, que havia sido observada já no dia anterior, só se dissipou após as 12:00 h (Fig. 8). Em altitude observamos a ocorrência de uma inversão de subsidência fraca com base em 730 m indo até 940 m. O ar tornou-se mais seco que no dia anterior e a camada de inversão esteve mais extensa, indicando uma intensificação da mesma (Fig. 9).

A tendência da concentração foi de decréscimo, com sistemática subestimação pelo modelo. O padrão de qualidade do ar foi ultrapassado pelas observações e pelo APRAC no período da manhã. A média diária observada foi 6,8, e a calculada 4,9 ppm. A correlação foi de 85% e o desvio padrão foi 1,0 ppm (Fig. 10).



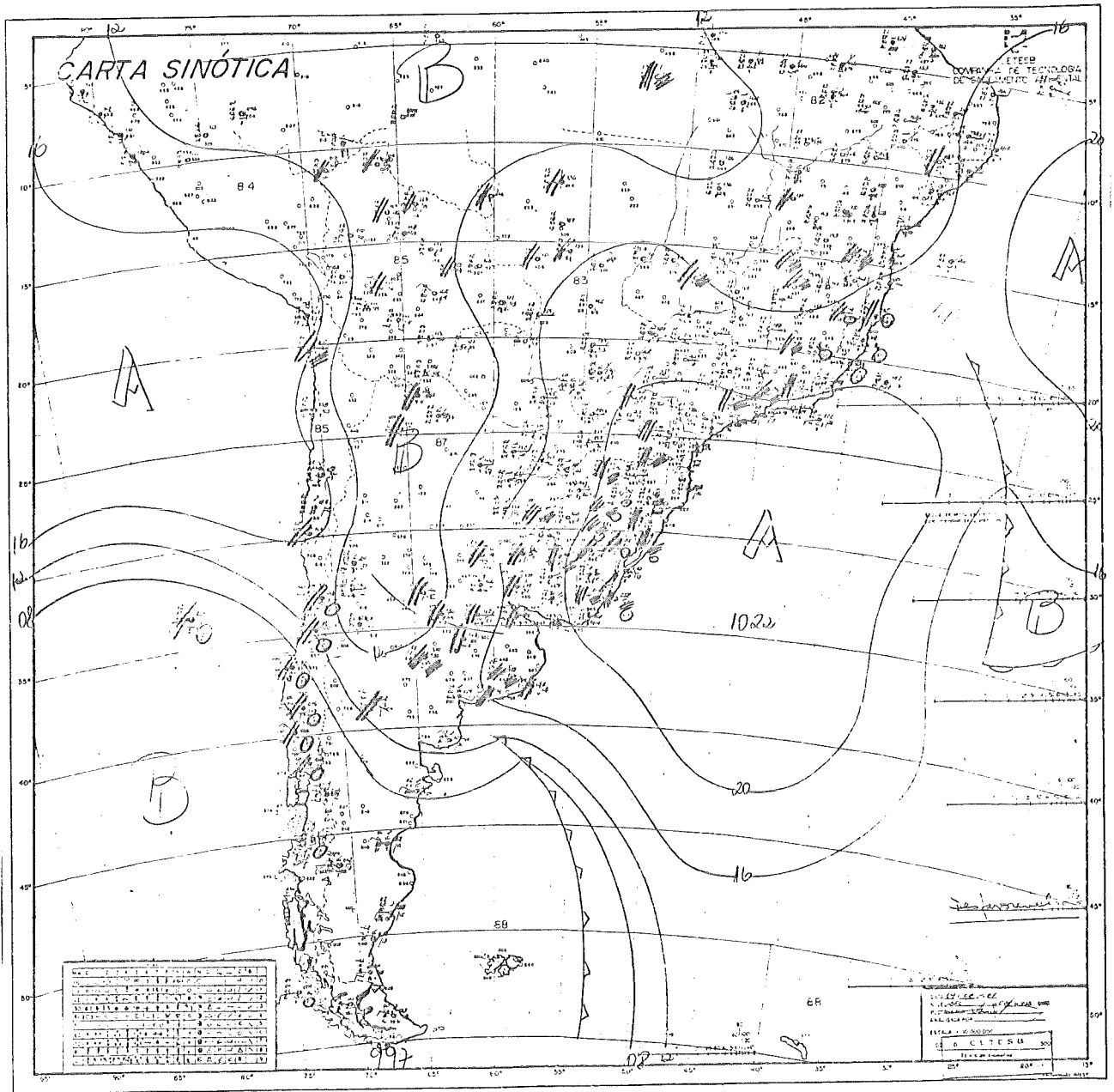
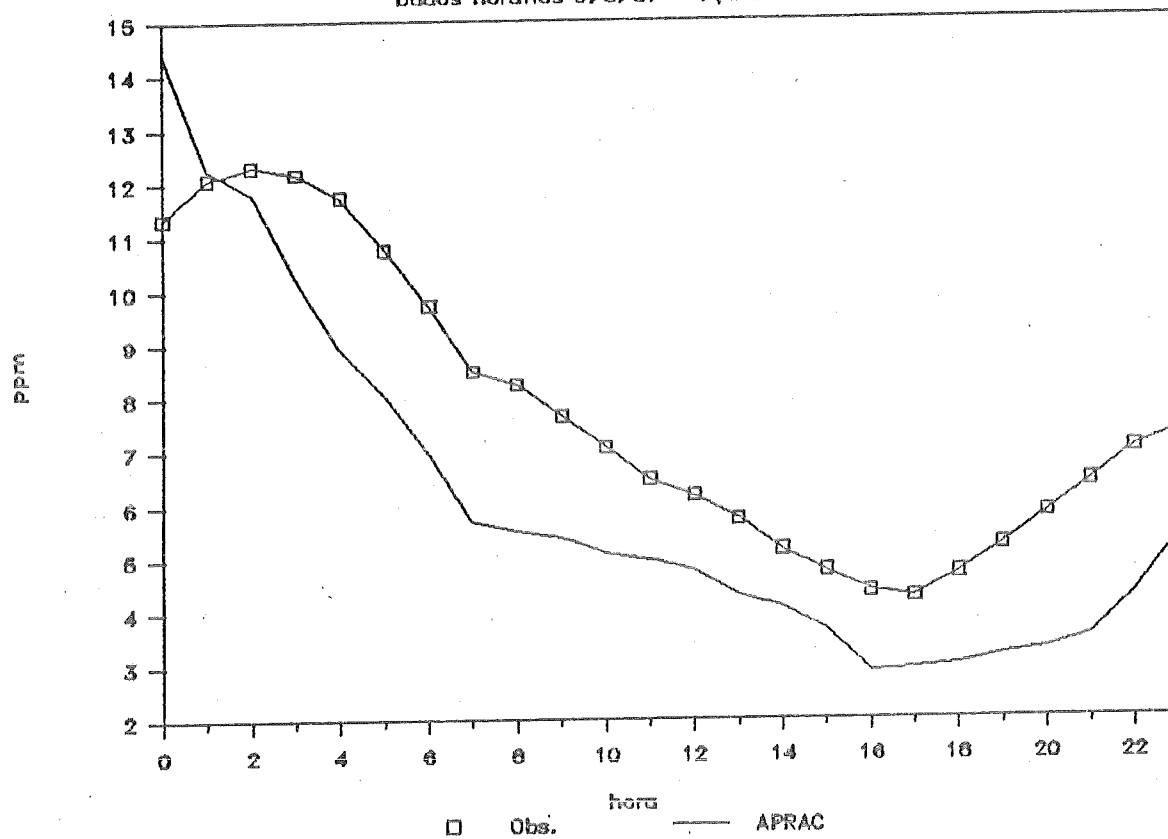


FIGURA 08

Monóxido de Carbono

Dados horários 9/8/87 - Pça do Correló



MÉDIA MÓVEL DE 08 HORAS

FIGURA 10

10 de Agosto

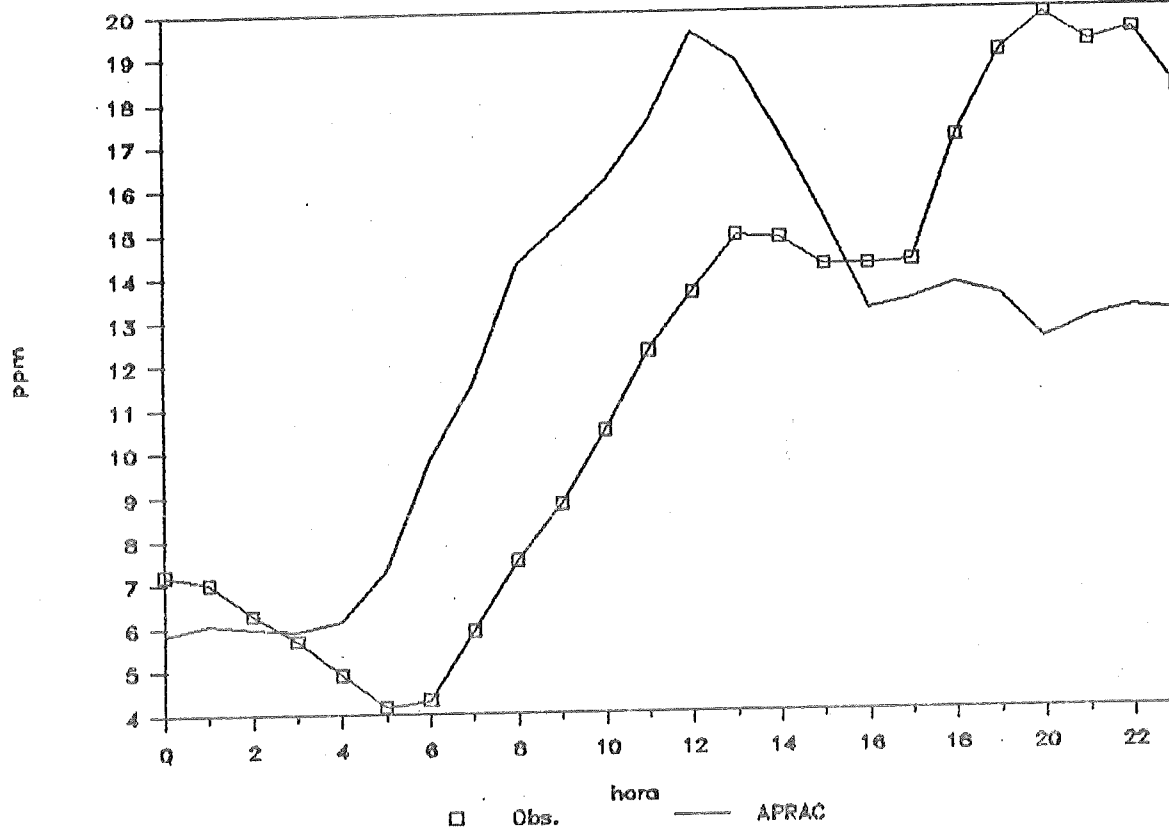
O anticiclone manteve sua localização, com centro sobre o Atlântico Sul e influência sobre SP. Sua intensidade diminuiu levemente. Associado à condição estável houve decréscimo da nebulosidade causado pela subsidência. Houve nevoeiro durante a madrugada e manhã e névoa seca à tarde. A intensidade do vento se manteve fraca durante o dia favorecendo a formação da névoa seca (Fig. 11).

Em altitude, observamos uma inversão de subsidência (reforçada pelo remanescente da inversão de radiação noturna) de intensidade maior que no dia anterior com base em 190 m e espessura de 630 m. O aumento de temperatura neste intervalo foi de 5 C, indicando estabilidade pela componente térmica. O fraco gradiente do vento nestes níveis indica estabilidade pela componente mecânica. Assim, devido a condição de estabilidade termodinâmica, a condição de dispersão de poluentes foi avaliada como desfavorável. A persistência da condição estável causada pela influência da alta pressão nos últimos dias, deteriorou a qualidade do ar que foi avaliada como MÁ nas estações Vila Parisi (Cubatão) e Parque D. Pedro II e INADEQUADA em outras duas (Fig. 12).

A condição meteorológica propiciou o aumento da concentração de CO na Praça do Correio. Valores observados ultrapassaram o padrão de qualidade do ar durante 15 horas e ultrapassaram o nível da ATENÇÃO durante 8 horas. O modelo acompanhou a trajetória ascendente das concentrações apresentando, contudo uma defasagem temporal positiva de 7 horas na previsão do valor máximo observado (20 ppm). A média diária observada foi 12,4 e a calculada 13,3 ppm. A correlação foi de 34% e o desvio padrão foi 4,4 ppm (Fig. 13).

Monóxido de Carbono

Dados horários 10/8/87 - Pça do Correio



MÉDIA MÓVEL DE 08 HORAS

FIGURA 13

11 de Agosto

O anticiclone sobre o Atlântico Sul manteve a intensidade do dia anterior apresentando leve deslocamento para o Nordeste. Sua área de influência foram as regiões Sudeste e Nordeste do Brasil. A (nova) frente fria que no dia anterior esteve no Sul da Argentina, deslocou-se até o RS, sem exercer influência sobre SP. A intensidade do vento foi decrescente durante o dia e houve névoa seca de madrugada e de manhã (Fig. 14).

Em altitude, observamos uma intensa inversão de subsidência (reforçada pelo remanescente da inversão de radiação noturna) com base em 140 e de 100 m de espessura. Nesta estreita faixa vertical da atmosfera, o aumento de temperatura foi de 5 C, o que define uma condição fortemente estável. Observamos também outra inversão em altitude, de 2350 à 3150 m, com 3 C de variação e associada a ela, uma extensa camada de ar seco (Fig. 15).

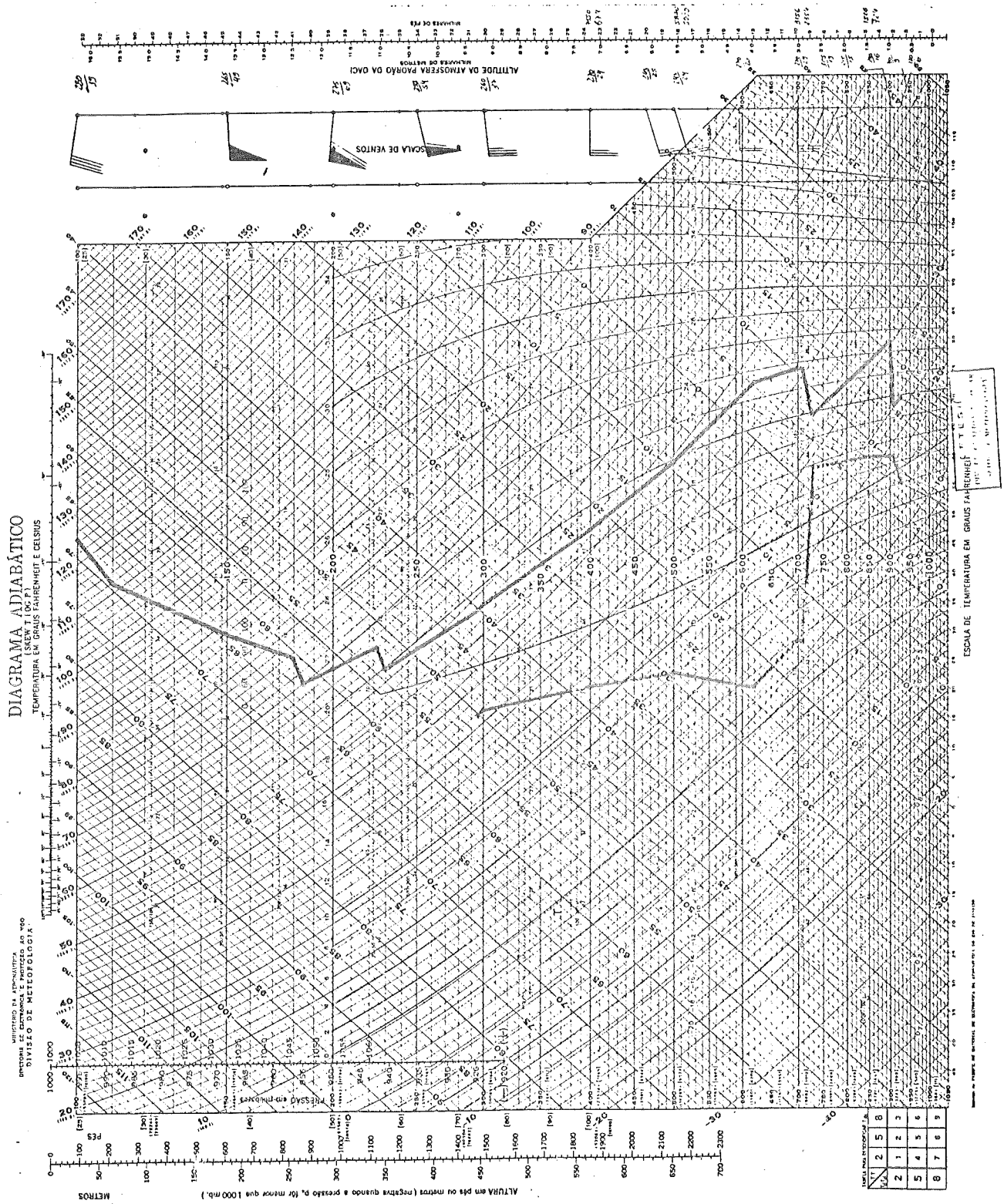
A condição de dispersão de poluentes foi avaliada como desfavorável estando 3 estações no nível MÁ, e 12 INADEQUADAS. A persistência desta condição estagnada da atmosfera favorece a ocorrência de episódios críticos de poluição do ar. O padrão de qualidade do ar foi ultrapassado durante 19 horas neste dia, sendo que em 15 esteve acima do nível de ATENÇÃO e 6 acima do nível de ALERTA. O nível de EMERGENCIA só deixou de ser atingido por 2 ppm, durante 3 horas consecutivas. A tendência das concentrações neste dia foi ascendente e o quadro geral foi semelhante ao de um episódio agudo de poluição do ar (Fig. 16).

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA

O modelo acompanhou a tendência de crescimento, mas subestimou o pico observado das 19:00 às 21:00 horas (Fig. 16). Este pico ocorreu devido a uma elevação súbita das médias horárias, das 17:00 às 19:00 h (Fig. 17). Um aumento desta ordem, observado em pouco tempo, poderia ter sido causado por uma emissão localizada. Entretanto, a verificação da concentração de CO nas mesmas horas no Parque D. Pedro II e Congonhas mostrou que seu valor médio horário também cresceu significativamente nas 3 estações (Fig. 18), demonstrando que o fenômeno foi generalizado. Sua causa pode ser atribuída a alguma turbulência de pequena escala não detectada pela falta de instrumentos adequados a este tipo de observação (CETESB 1990). O modelo não está capacitado para simular variações na concentração provocadas por turbulências meteorológicas de pequena escala, por isto, não reproduziu este pico. A média diária observada foi 20,6 e a calculada 16,2 ppm. A correlação foi de 94% e o desvio padrão foi 11 ppm (Fig. 16).

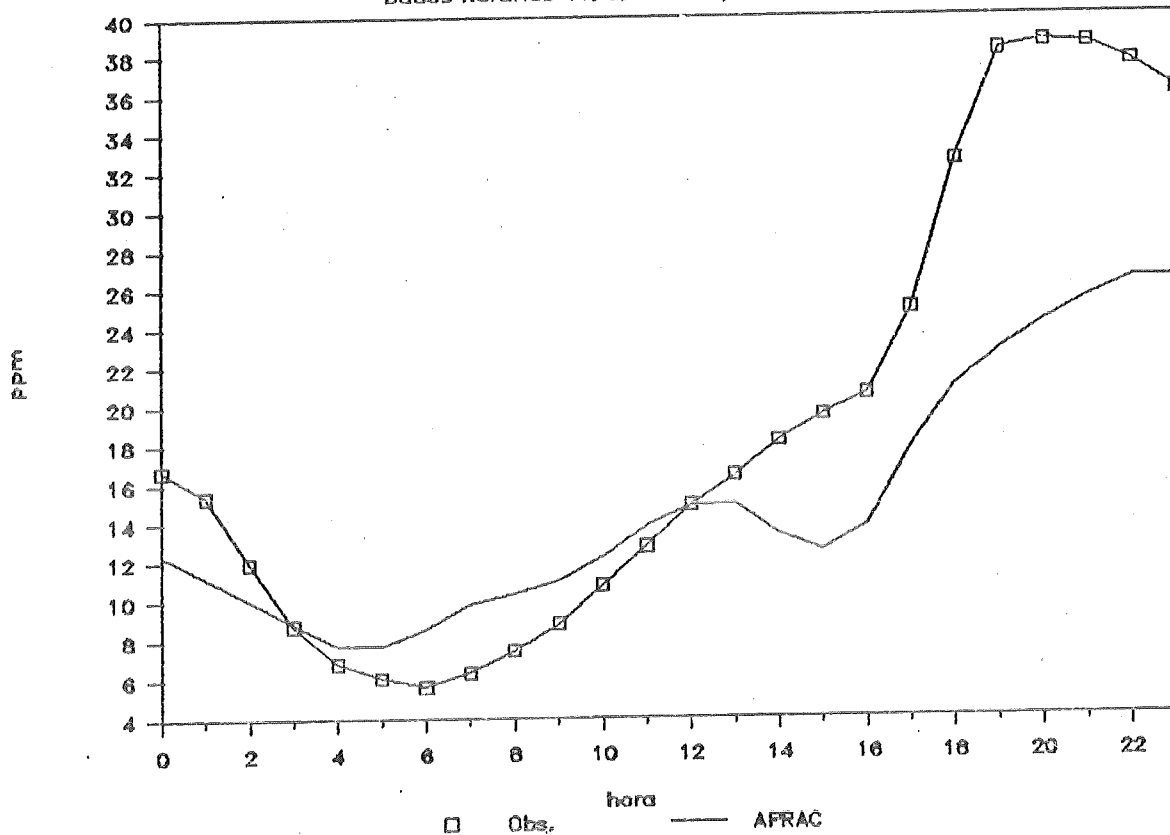
CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA

FIGURA 15



Monóxido de Carbono

Dados horários 11/8/87 - Pça da Correla

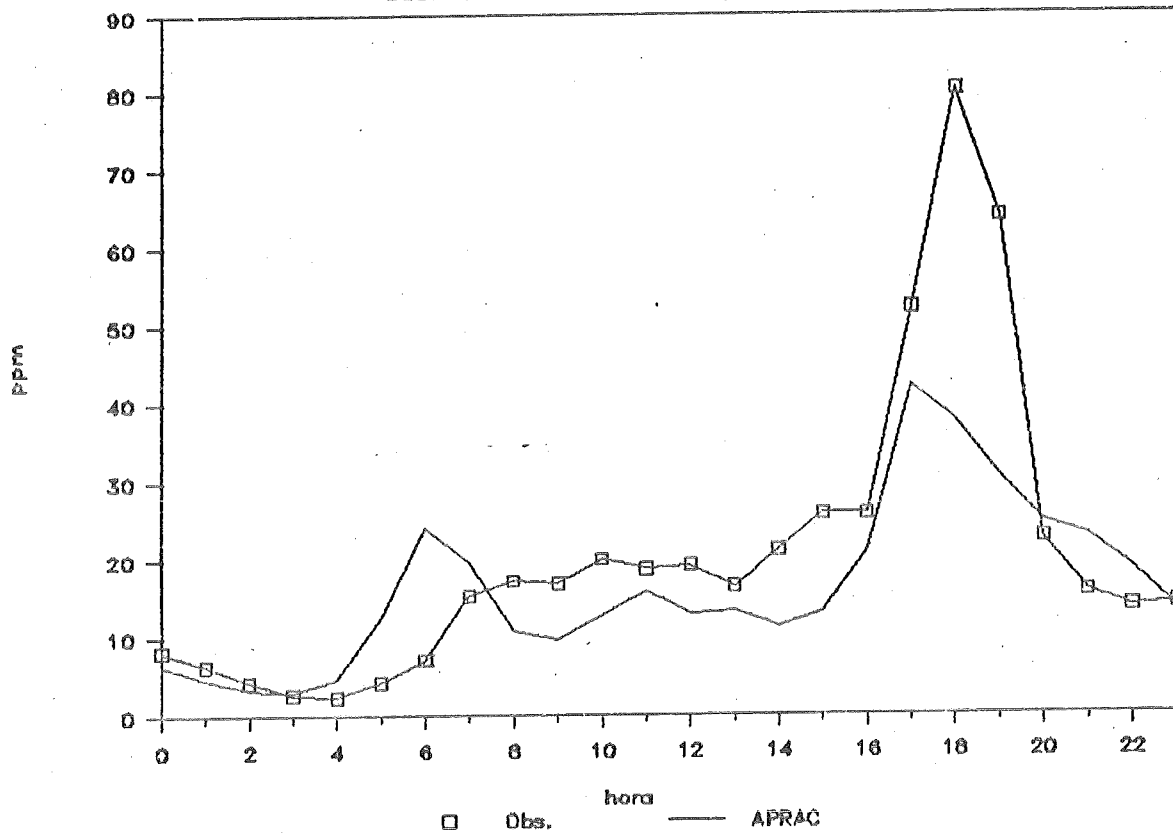


MÉDIA MÓVEL DE 08 HORAS

FIGURA 16

Monóxido de Carbono

Dados horários 11/8/87 - Pça do Correio



MÉDIA HORÁRIA

FIGURA 17

Monóxido de Carbono

Observações horárias 11/8/87

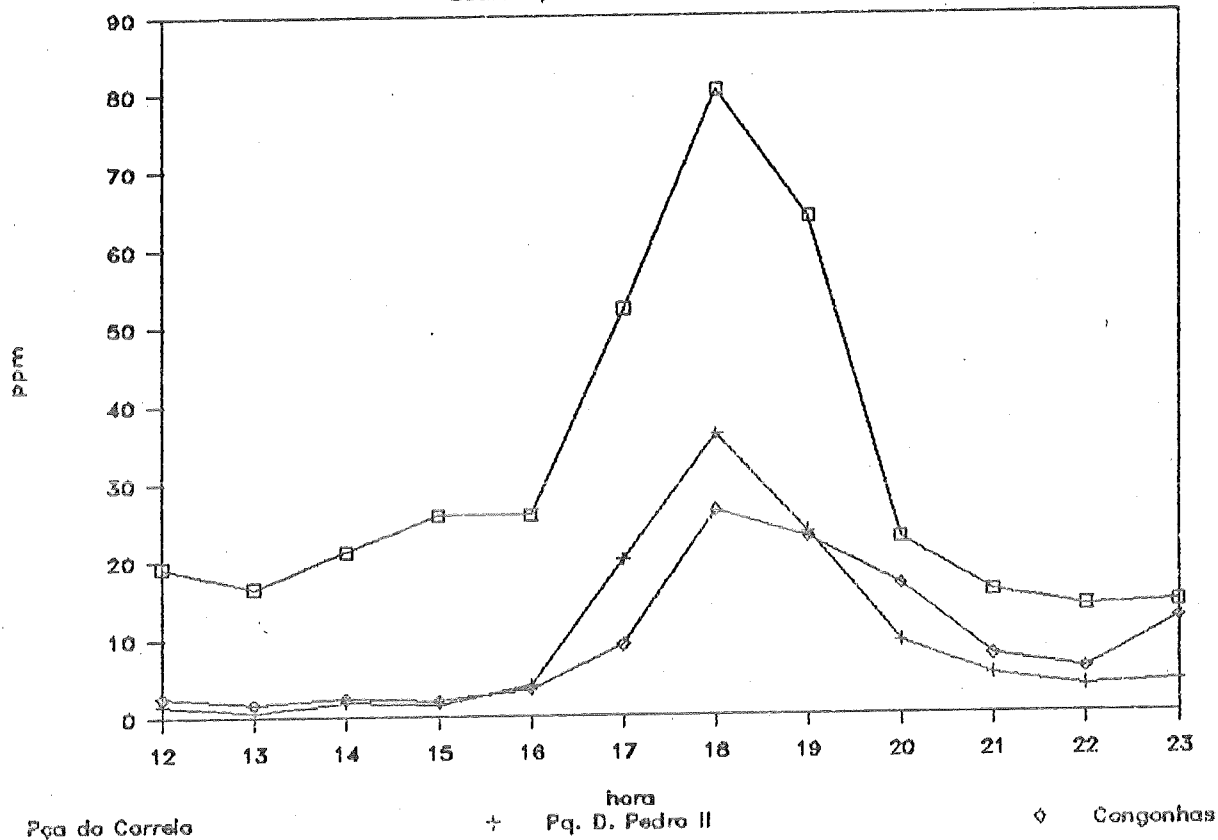


FIGURA 18

12 de Agosto

O anticiclone diminuiu um pouco de intensidade mantendo sua localização sobre o Atlântico e continente e, conseqüentemente, sua área de influência. Sobre SP este sistema atuou de forma a bloquear o avanço da frente (ora estacionada sobre o RS) e manter a condição termodinâmica estável dos dias anteriores repetindo a situação de estagnação atmosférica. Associado à estabilidade, a intensidade do vento se manteve fraca durante o dia permitindo a ocorrência de névoa seca (Fig. 19).

Observamos em altitude uma inversão de subsidência (reforçada pelo remanescente de uma inversão de radiação) de 130 à 430 m. A variação de temperatura nesta faixa foi de 5 C, caracterizando uma atmosfera estável. A condição de dispersão de poluentes foi avaliada como desfavorável. A qualidade do ar foi avaliada como MÁ em 5 estações e PESSIMA na Praça do Correio (Fig. 20).

A concentração baixou do elevado nível do dia anterior reduzindo-se até 7 ppm às 7:00 h. Daí em diante, a tendência foi crescente, ultrapassando o nível de ATENÇÃO durante 12 horários. O APRAC acompanhou o decréscimo acentuado na madrugada e a tendência de crescimento com leves superestimativas de manhã e subestimativas à tarde. Isto ocorreu devido à previsão de um máximo secundário com pico às 13:00 h, o que não se verificou. A média diária observada foi 17,4 e a calculada 18,3 ppm. A correlação foi de 71% e o desvio padrão foi 4,6 ppm (Fig. 21).

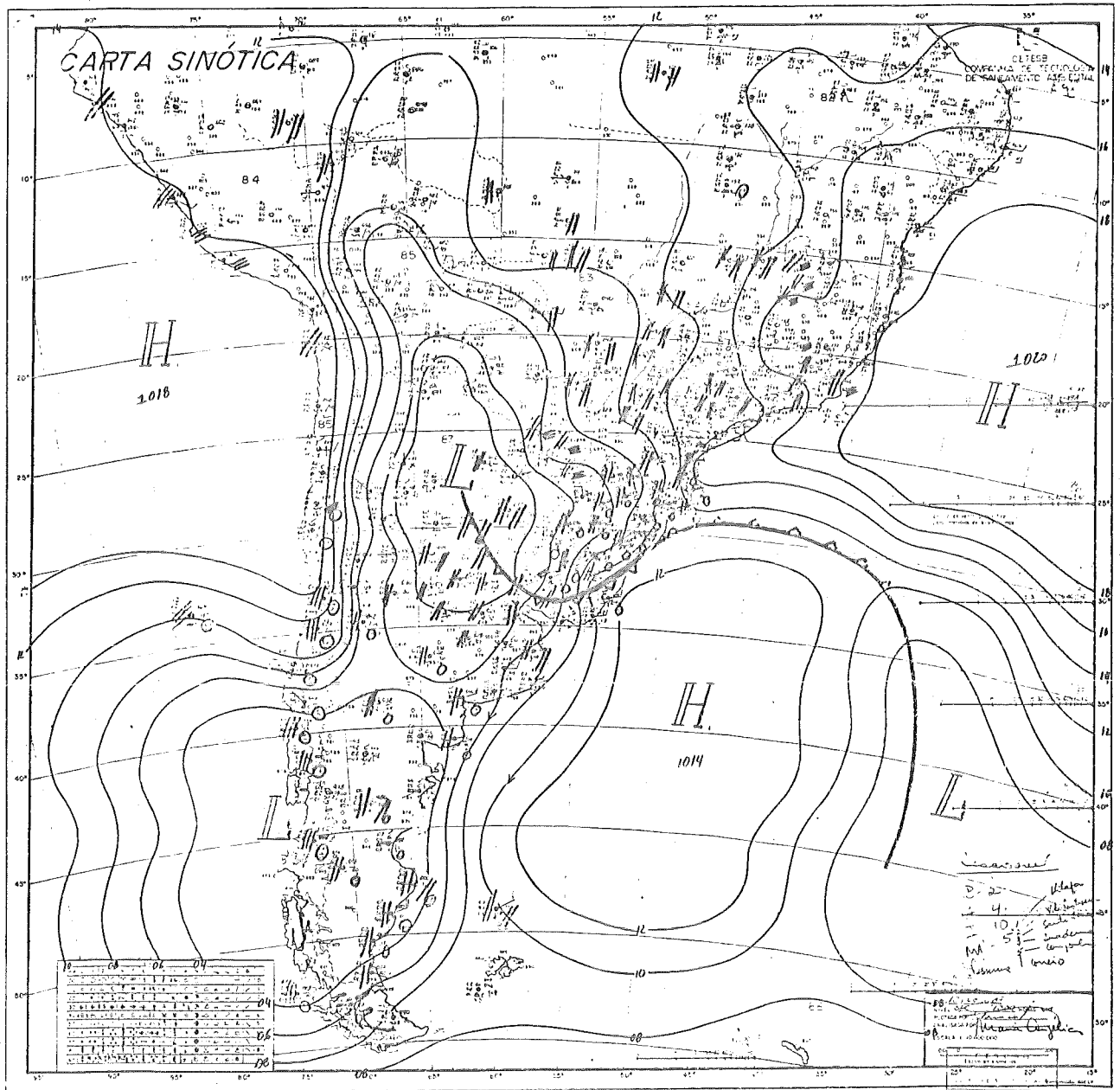
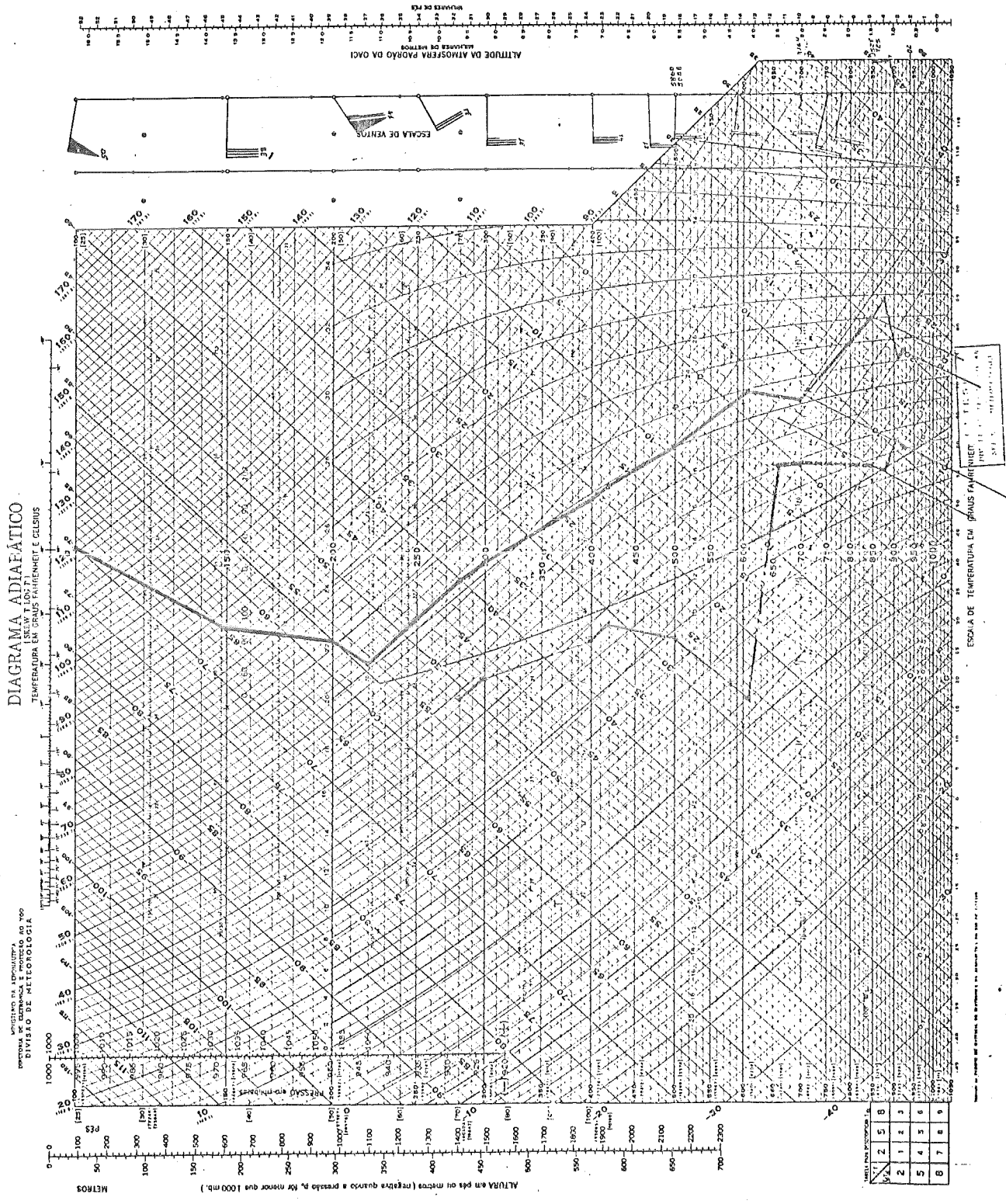


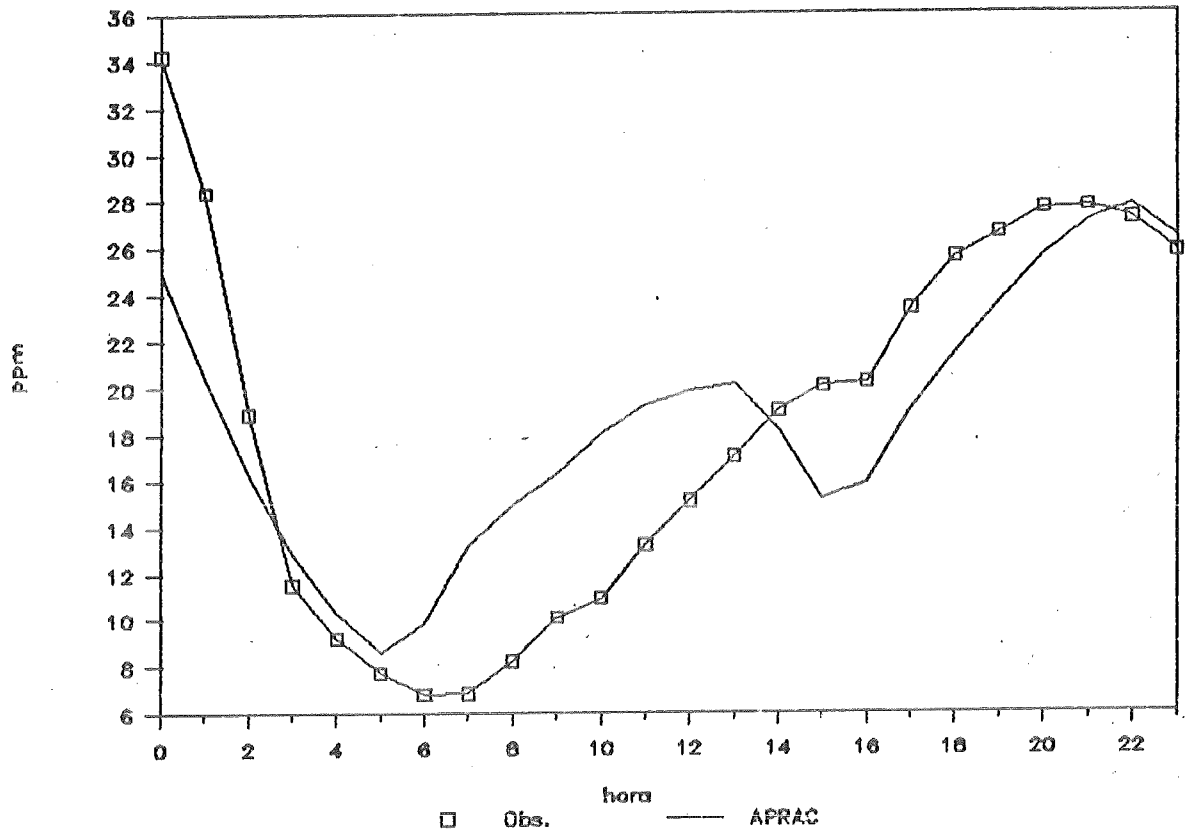
FIGURA 19

FIGURA 20



Monóxido de Carbono

Dados horários 12/8/87 - Pça do Correio



MÉDIA MÓVEL DE 08 HORAS

FIGURA 21

CETESB - CIA. DE PROTEÇÃO E SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA

13 de agosto

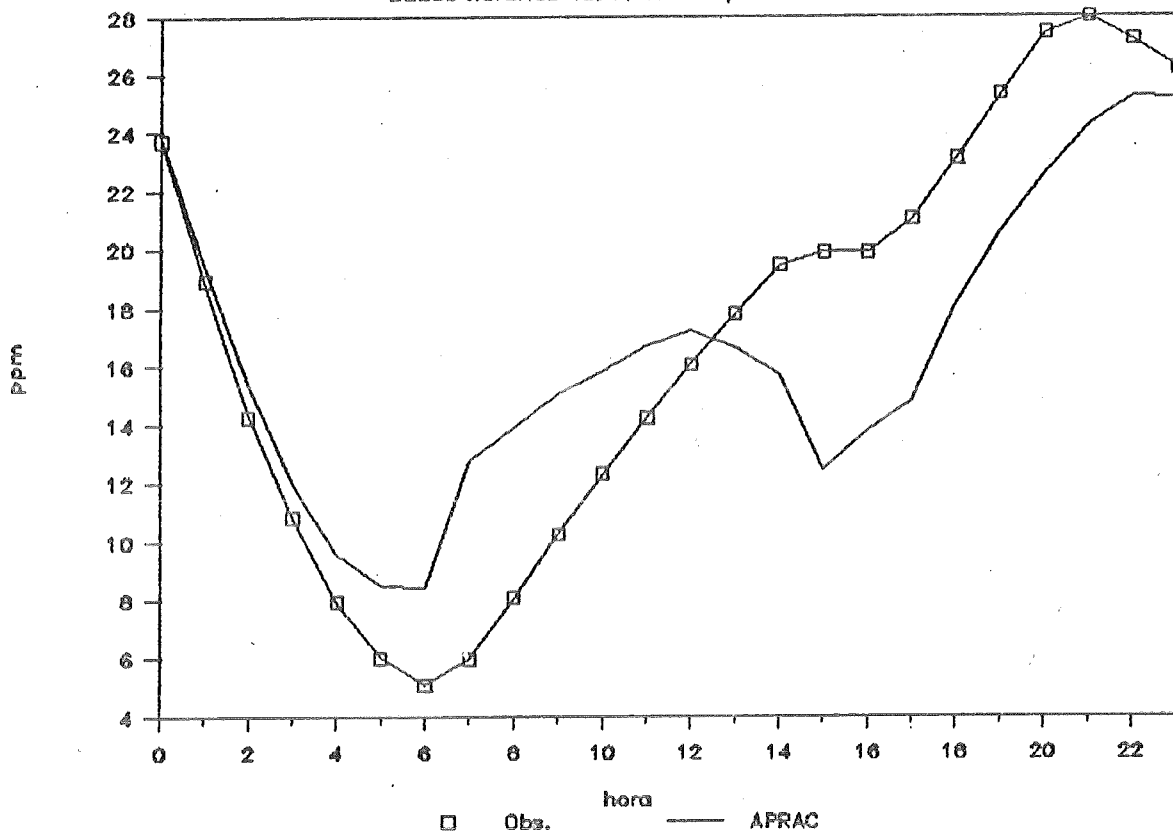
A situação sinótica deste dia foi, de maneira geral, uma repetição da do anterior. A alta pressão manteve sua localização sobre o oceano e continente. Embora decrescendo um pouco de intensidade, foi capaz de deter o avanço da frente fria sobre o RS. A condição de estabilidade termodinâmica persistiu e sua consequente estagnação atmosférica foi registrada pela intensidade do vento que esteve baixa permitindo a formação de névoa seca nas primeiras 12 horas do dia (Fig. 22).

Observamos em altitude, a persistência da inversão de subsidência de 360 à 550 m, com variação de 1,5 C. Uma inversão mais intensa foi observada no nível de 2900 à 3200 m com variação de 2,5 C e está associada a uma extensa camada de ar seco. A condição de dispersão de poluentes foi avaliada como desfavorável. A qualidade do ar esteve MÁ em 3 estações, incluindo a Praça do Correio (Fig. 23).

As concentrações também repetiram o padrão do dia anterior, decrescendo rapidamente até às 7:00 h e aumentando daí em diante. O nível de ATENÇÃO foi ultrapassado durante 14 horas. O APRAC acompanhou as variações observadas da mesma forma que no dia anterior, acompanhando a tendência de queda na madrugada e aumento das 7:00 h em diante. Também houve superestimação de manhã e subestimação à tarde. A média diária observada foi 17,3 e a calculada foi 16,8 ppm. A correlação foi de 74% e o desvio padrão foi 3,5 ppm (Fig. 24).

Monóxido de Carbono

Dados horários 13/8/87 - Pça do Correio



MÉDIA MÓVEL DE 08 HORAS

FIGURA 24

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL
 BIBLIOTECA
 AV. PROF. FREDERICO HERRMANN, 45 CEP 05489-7 PINHEIROS
 SÃO PAULO - BRASIL

14 de Agosto

A alta pressão persiste sobre SP mantendo a frente fria estacionária (e a instabilidade associada) e sem influência sobre o Estado. A intensidade do vento continuou fraca, como no dia anterior, e houve uma persistente névoa seca que se dissipou à noite (Fig. 25).

Em altitude observamos a inversão de subsidência de 150 m até 350 m com variação de 3 C. A qualidade do ar se deteriorou na região apresentando 19 estações (de um total de 25) acima do padrão de qualidade do ar. Além disto, 6 estações estiveram MÁS (incluindo a da Praça do Correio) e uma PÉSSIMA. A condição de dispersão de poluentes foi avaliada como desfavorável (Fig. 26).

As concentrações decresceram até às 7:00 h, crescendo daí em diante, sendo que com pequenas variações a partir do meio dia. O padrão de qualidade do ar foi ultrapassado durante 19 horas e o nível de ATENÇÃO durante 16 horas. O APRAC acompanhou a tendência das observações exceto à tarde quando houve um mínimo secundário previsto (com ponto de mínimo às 17:00 hs) que não foi observado. As médias diárias observada e calculada coincidiram em 15,8 ppm. A correlação foi de 63% e o desvio padrão foi 1,7 ppm (Fig. 27).

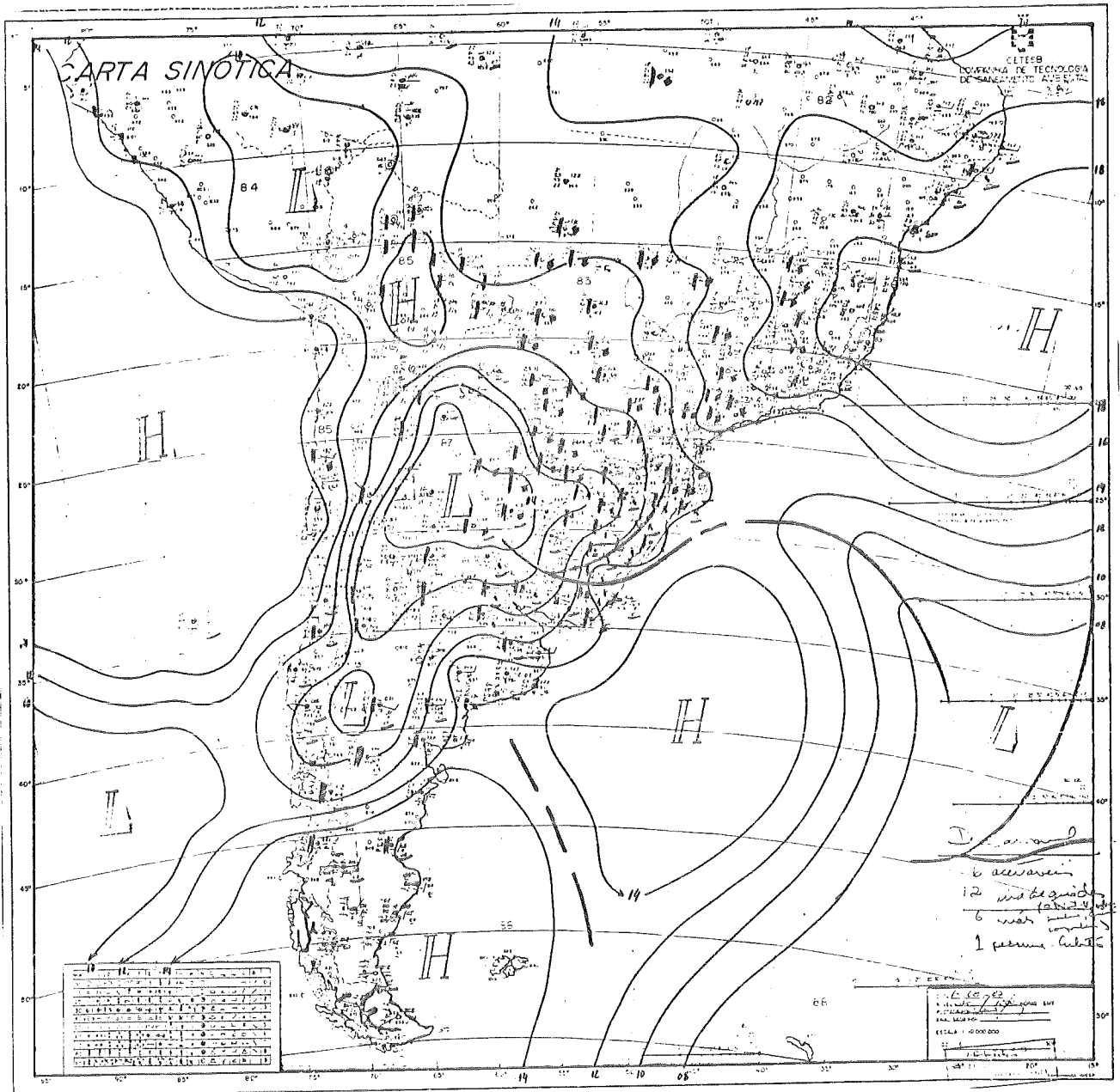
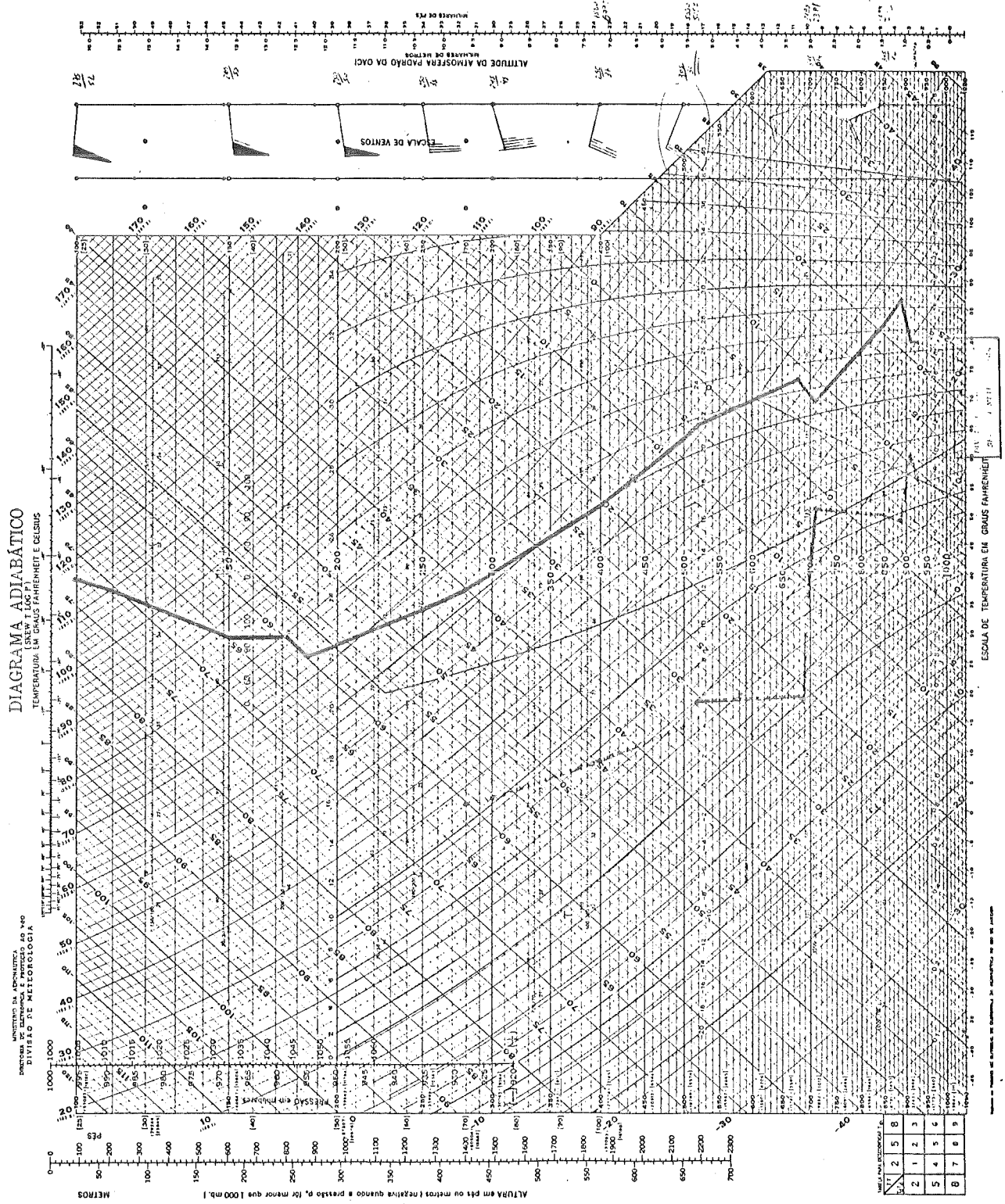


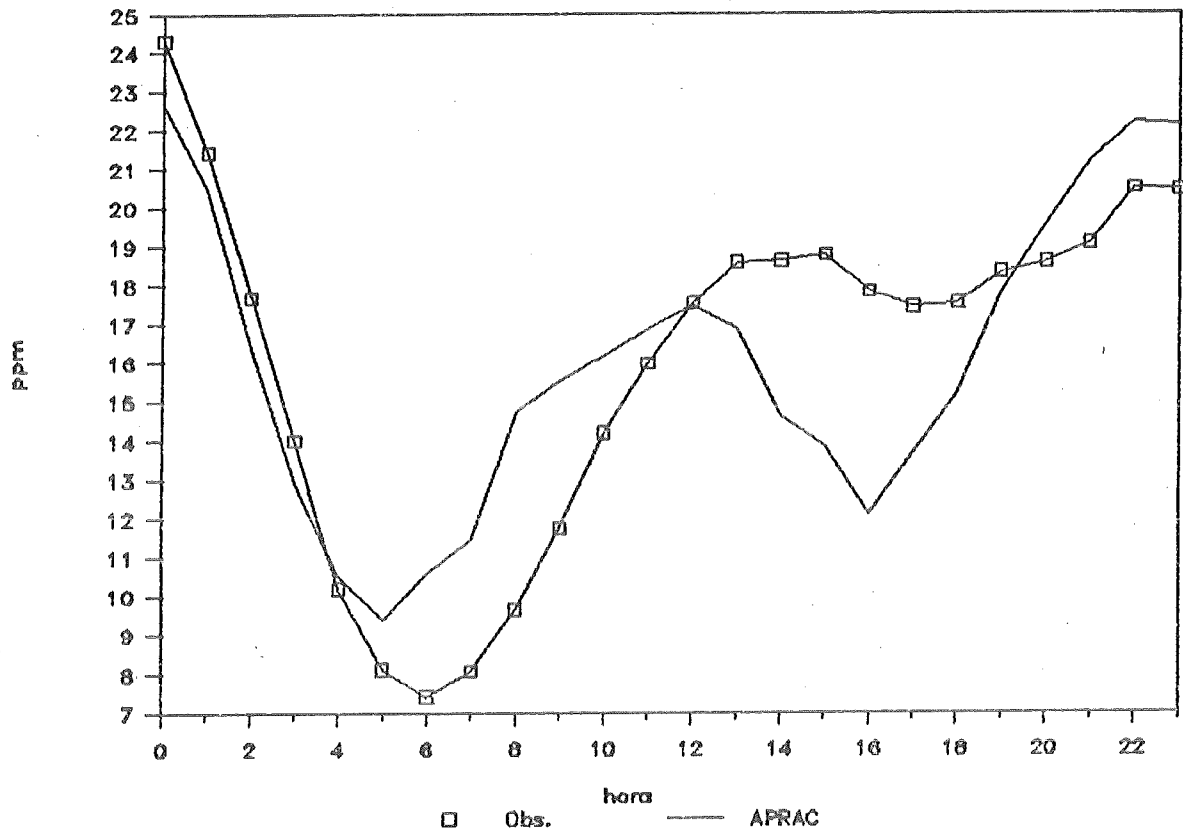
FIGURA 25

FIGURA 26



Monóxido de Carbono

Dados horários 14/8/87 - Pça do Carrelo



MÉDIA MÓVEL DE 08 HORAS

FIGURA 27

15 de Agosto

A situação sinótica ainda persiste com a alta pressão do Atlântico atuante sobre SP, bloqueando a entrada da frente fria. A intensidade do vento esteve fraca no início e fim do dia, aumentando durante o período. Houve névoa seca durante todo dia até a noite. Uma constante melhoria na visibilidade foi observada no decorrer do dia e, possivelmente, indica mudança no sistema sinótico predominante sobre a região (Fig. 28).

Em altitude observamos uma inversão baixa de 130 à 530 m com variação de 2 C. Uma inversão (de subsidência) mais alta foi observada de 3020 à 3130 m com variação de 2 C (Fig. 29).

A tendência das concentrações foi de leve decréscimo, estando no entanto acima do padrão de qualidade do ar durante todo o dia. O nível de ATENÇÃO foi ultrapassado durante 6 horas. O modelo acompanhou a tendência de queda até às 16:00 h, quando previu uma subida acentuada nas concentrações que ocorreu de forma menos acentuada. A média diária observada foi de 14,1 e a calculada de 17,0 ppm. A correlação foi de 6% e o desvio padrão foi 6 ppm (Fig. 30).

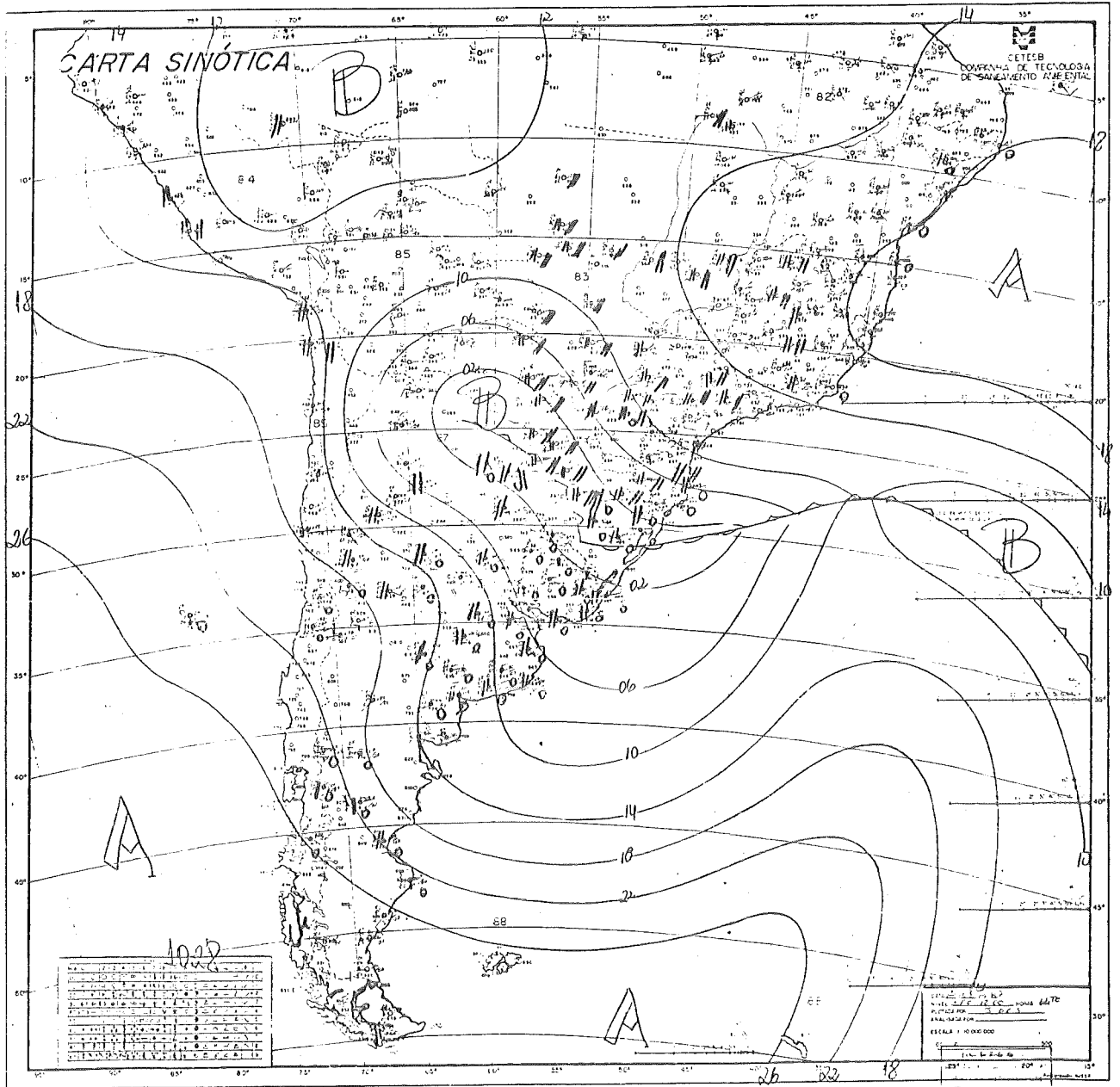
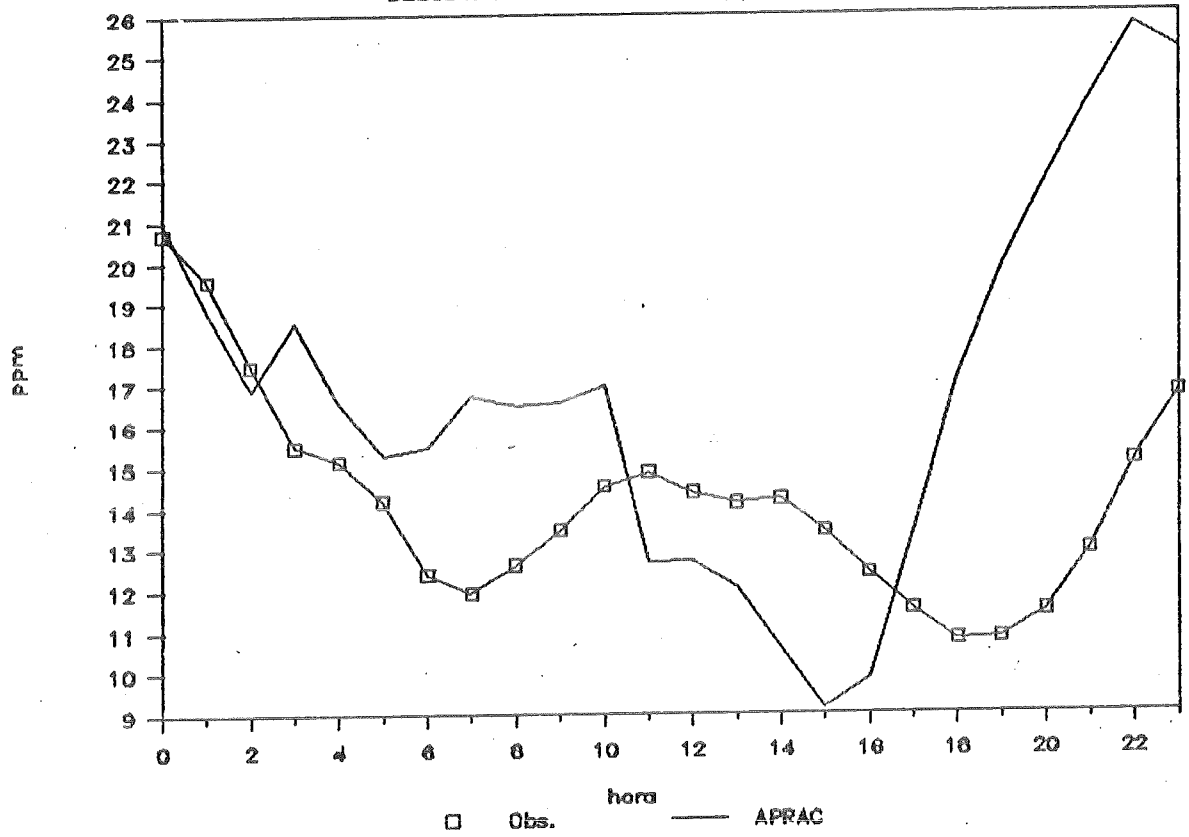


FIGURA 28

Monóxido de Carbono

Dados horários 15/8/87 - Pça do Correio



MÉDIA MÓVEL DE 08 HORAS

FIGURA 30

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA

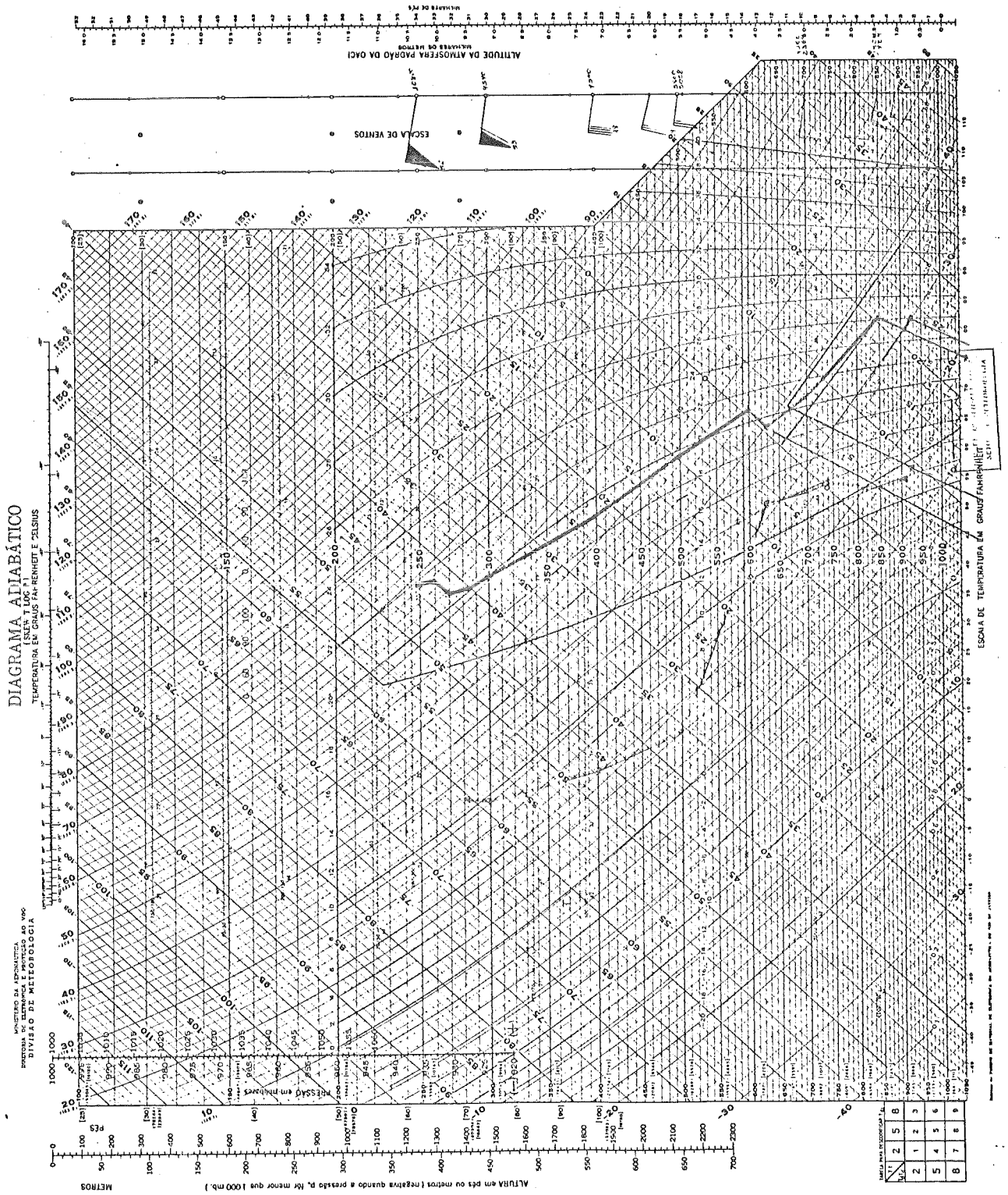
16 de Agosto

A alta pressão reduziu de intensidade, deslocou-se à Nordeste, deixando de exercer o bloqueio sobre SP. Sua influência restringiu-se ao Atlântico e, sobre o continente, à Norte de SP. A frente fria passou a deslocar-se rapidamente chegando a atingir a região central do PR. Esta mudança de quadro sinótico deveu-se ao aumento da intensidade da alta pressão polar, ao Sul da Argentina, que no dia anterior esteve em 1026 mb e no presente atingiu 1030 mb, 'empurrando' os demais sistemas para Nordeste. Associado à mudança de situação sinótica, a intensidade do vento esteve, em média, mais alta que nos dias anteriores. A nebulosidade aumentou significativamente atingindo 7 décimos das 18:00 h em diante. Observou-se névoa seca de manhã (remanescente da situação sinótica estagnada anterior) e ventania às 12:00 h (indicando a entrada do sistema frontal, Fig. 31).

Em altitude observamos uma inversão frontal de 230 à 730 m e aumento da instabilidade. A condição de dispersão de poluentes foi avaliada como favorável (Fig. 32).

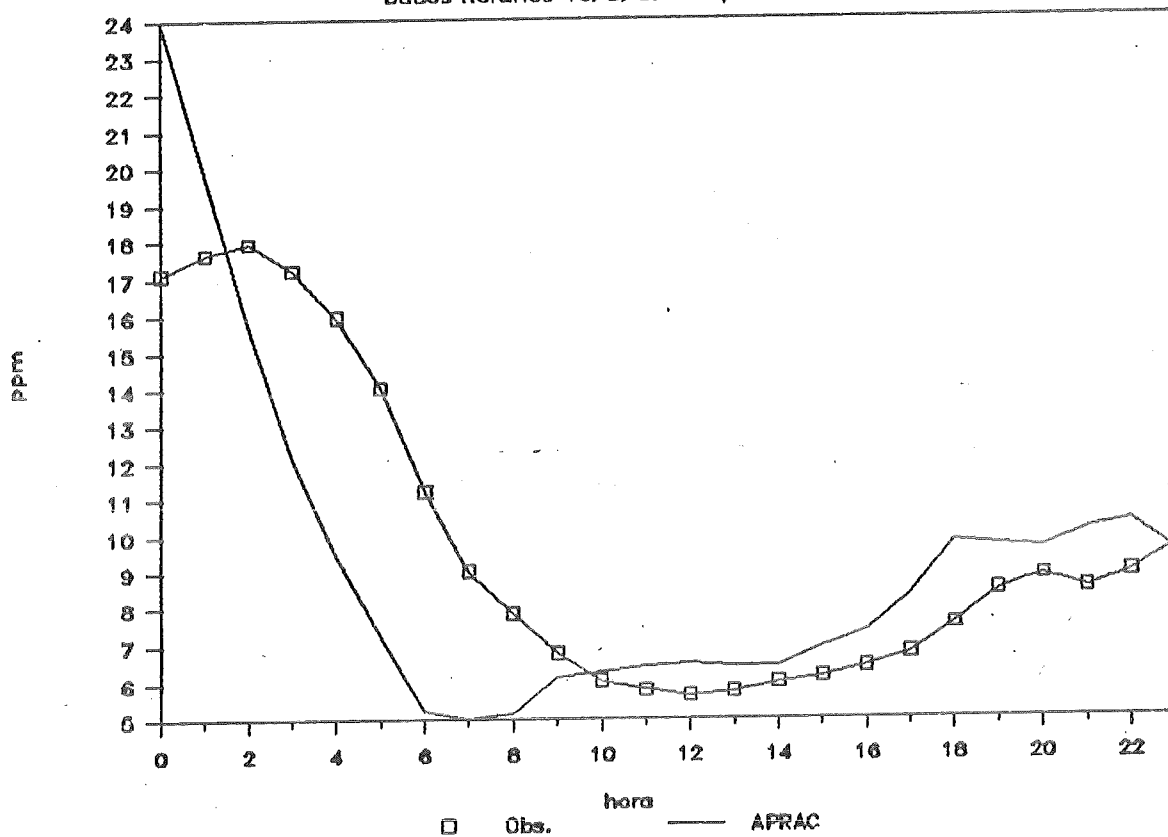
As concentrações observadas tiveram uma nítida tendência de declínio. O leve acréscimo observado das 14 hs em diante se deve ao aumento rotineiro do fluxo de veículos a partir deste horário, não indicando uma nova tendência de alta nos níveis de concentração. O APRAC apresentou a mesma tendência de queda de forma bastante satisfatória. Houve, entretanto atraso na previsão de 3 a 4 horas. A média diária observada foi de 8,3 e a calculada de 7,1. A correlação foi de 55% e o desvio padrão foi 2,2 ppm. Curiosamente, na última hora, deste último dia estudado, o valor calculado e observado coincidiu (Fig. 33).

FIGURA 32



Monóxido de Carbono

Dados horários 16/8/87 - Pça do Correio



MÉDIA MÓVEL DE 08 HORAS

FIGURA 33

CETESB DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA

5.2 Sumário da modelagem

A comparação entre valores observados e calculados durante todo o experimento mostrou que houve acordo geral entre ambos. As maiores discrepâncias ocorreram nos dias 8, 11 e 16, e nas manhãs quando houve superestimação sistemática. No dia 11 os valores observados foram os mais elevados, sendo que durante 7 horas o nível de alerta foi ultrapassado, chegando próximo do nível de emergência. Houve subestimação em 3 horas. Alguns picos do APRAC não se verificaram, principalmente de manhã, quando houve sistemática superestimação (Fig. 34).

Analisando as médias diárias, notamos acompanhamento da tendência das observações pelo APRAC. O caso mais discrepante foi o do dia 15 quando o modelo previu uma tendência inversa da observada, corrigindo seu erro no dia seguinte (Fig. 35).

Os valores das médias móveis de 8 horas e das médias diárias durante os 9 dias ilustra claramente o grau de acerto obtido pelo APRAC. As curvas da concentração calculada e observada foram aproximadamente coincidentes. O gráfico de correlação mostra que todos valores estão na faixa de tolerância de fator 2. Para valores observados acima de 25 ppm houve consistente subestimação, estando no entanto, sempre acima da metade do valor observado, e portanto dentro da faixa de tolerância comumente aceita para modelos gaussianos (Fig. 36).

A análise de correlação mostra 2 dias em que o modelo esteve abaixo de 50%; 34% em 10/8 e 6% em 15/8 (Tab. 7). Em ambos casos a correlação foi ruim pois o modelo superestimou de manhã e subestimou à tarde, prejudicando a correlação linear entre valores observados e calculados. O dia 11 apresentou excelente correlação com 94%, pois neste caso o APRAC subestimou

Monóxido de Carbono

Dados horários 8-16/8 - Pça do Correio

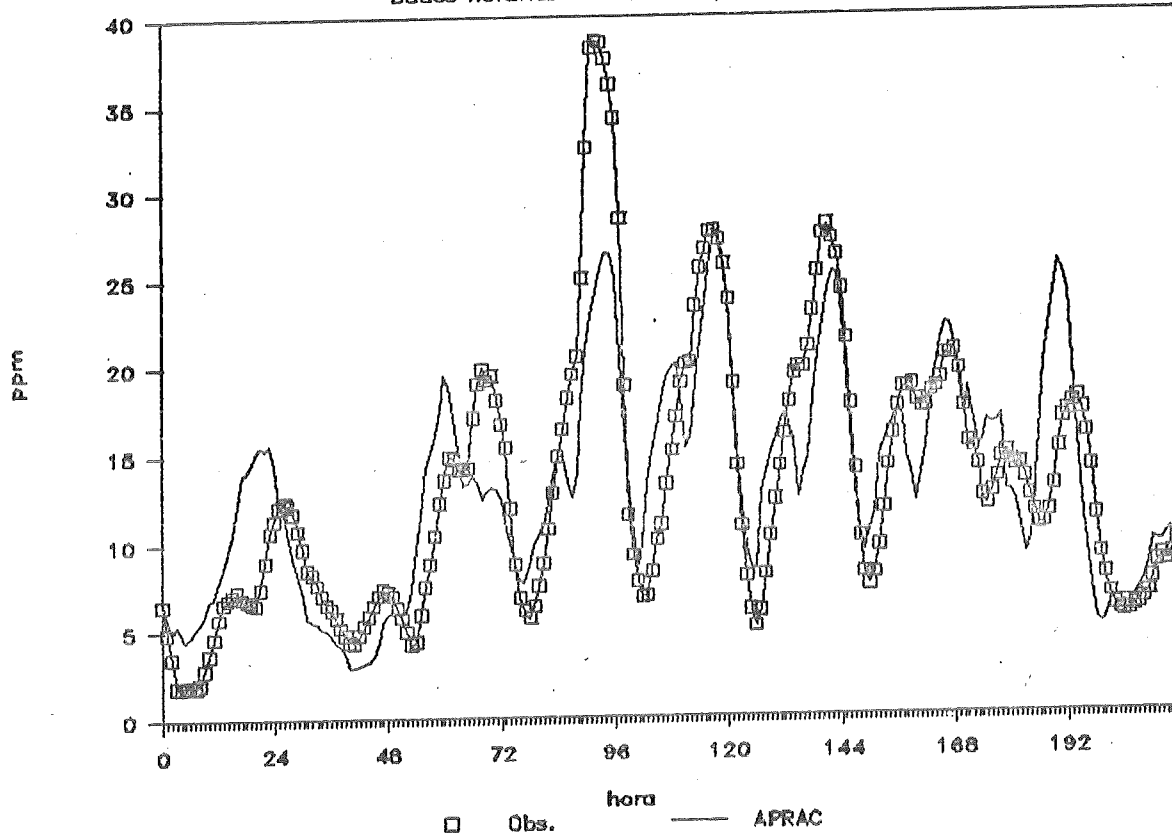


FIGURA 34

Monóxido de Carbono

8-16/8/87 Média Diária

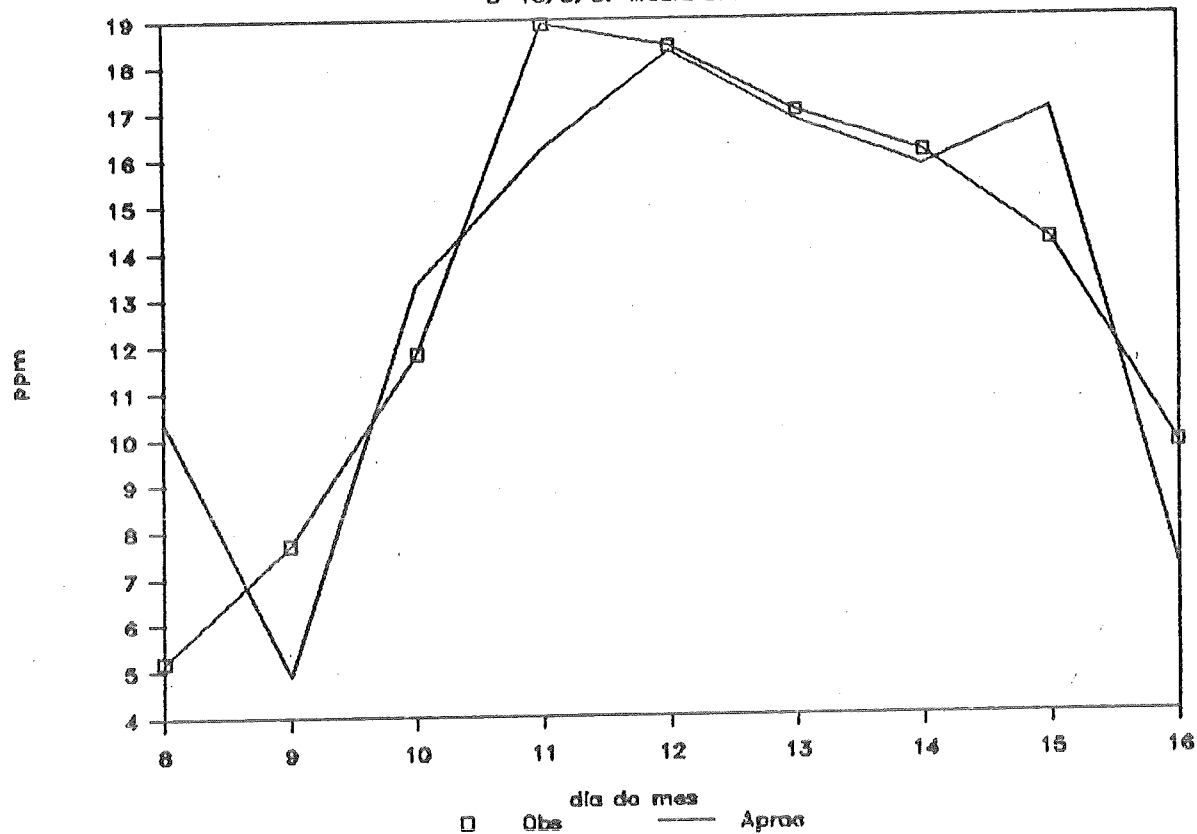


FIGURA 35

Monóxido de Carbono

Dados horários 8-16/8 - Pça do Correio

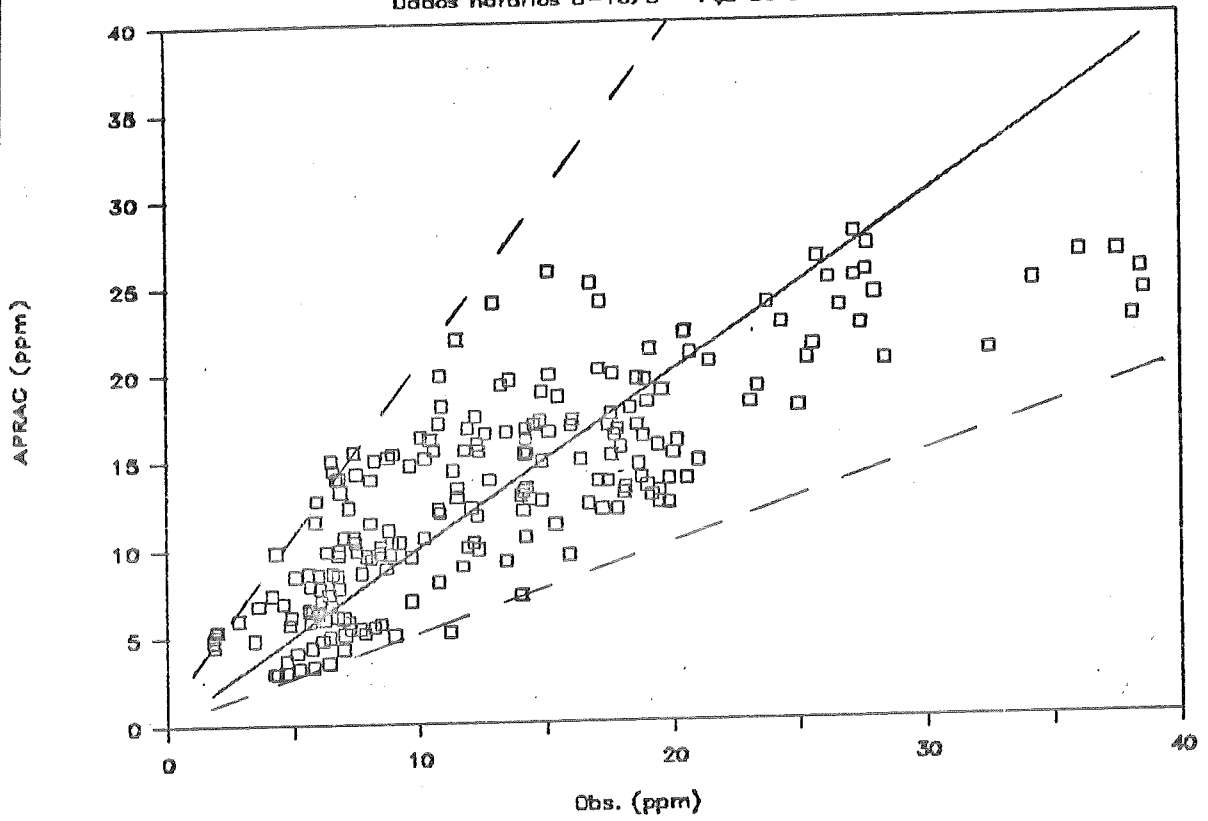


FIGURA 36

consistentemente. Dos 9 dias simulados, 7 estiveram acima de 60% e 5 acima de 74%. A correlação total foi 66%, sendo que a correlação obtida das 6 às 18 nos 9 dias é 84% e das 18 às 6 é 88% indicando a confiabilidade do modelo e mostrando a necessidade de se corrigir erros sistemáticos da noite (superestimação) e do dia (subestimação).

TABELA 7 Avaliação diária da qualidade da modelagem

| Dias | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | Total |
|----------------|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| Correlação(%) | 75 | 85 | 34 | 94 | 71 | 74 | 63 | 6 | 55 | 66 |
| D. Padrão(ppm) | 4,6 | 1,0 | 4,4 | 11,0 | 4,6 | 3,5 | 1,7 | 6,0 | 2,2 | 1,4 |

A análise de variância aponta maiores desvios do modelo nos dias 8, 11 e 15, quando houve maiores divergências. No dia 8 houve superestimação, no 11 subestimação e no 15 ambos alternadamente. A razão dos elevados desvios do dia 11 se deve a um fenômeno meteorológico de pequena escala que atuou durante 3 horas elevando rapidamente a concentração. Embora os dados de entrada do APRAC estivessem favoráveis a uma alta nas concentrações, ela ocorreu sem a intensidade devida, e mostrou que o modelo é incapaz de simular elevações bruscas na concentração. Acreditamos que a origem da limitação está na concepção do APRAC que utiliza somente uma observação vertical da atmosfera durante 24 horas de simulação, apesar dos ajustes horários baseados nos dados de superfície. Há fenômenos meteorológicos cuja origem está no topo da camada de mistura e que portanto não terão reflexo imediato na superfície. Um exemplo são as ondas de gravidade (Holton 1979) que se formam no topo desta camada na condição de estabilidade termodinâmica. Eventualmente estas ondas se quebram (como as ondas do mar) provocando súbita turbulência nas camadas inferiores, causando rápida elevação na concentração em superfície e posterior declínio. O padrão da concentração observada no dia 11 sugere

que este fenômeno tenha ocorrido (Figs. 17 e 18). No dia 15 os dados de entrada acusaram calmaria, o que causou elevadas concentrações no APRAC. Observações de vento em outro local (mais distante) não confirmaram a calmaria. Esta divergência nos dados de vento demonstra a dificuldade na observação representativa deste dado, pois sua distribuição espacial é bastante heterogênea. O desvio padrão total, de 8 à 16/8, do modelo foi 1,4 ppm, que é um valor baixo, traduzindo o baixo grau de incerteza do APRAC.

5.3. Outros experimentos

As taxas de emissão e distribuição horária do tráfego pelas vias foram avaliadas empiricamente pelos autores. A fim de testar a validade das hipóteses assumidas, outros experimentos foram realizados. São eles o de tráfego-homogêneo, isto é, supor que o tráfego é o mesmo em todas horas do dia. Tráfego-pico, isto é, aumentar o volume de tráfego nas horas de pico reduzindo-o nas demais. E o terceiro experimento que adiciona 50% ao total de emissões. Para avaliar os resultados, comparamos as médias móveis de 8 horas do dia 11 ao dia 13 destes 3 experimentos aos valores obtidos pelos dados em uso (Fig. 37).

Os resultados do "modelo homogêneo" foram mais elevados nas regiões de mínimo e menos elevados na região de máximo, sendo que a tendência da curva foi a mesma do modelo em uso. As divergências nos experimentos mostrou a importância da distribuição horária diferenciada dos veículos, pois no caso homogêneo a curva das concentrações foi incorretamente suavizada (Fig. 38).

O "modelo pico" é uma tentativa inversa do homogêneo, pois nele a distribuição horária de veículos é mais acentuada.

Monóxido de Carbono

Dados horários 11-13/8 - Pça da Cornéio

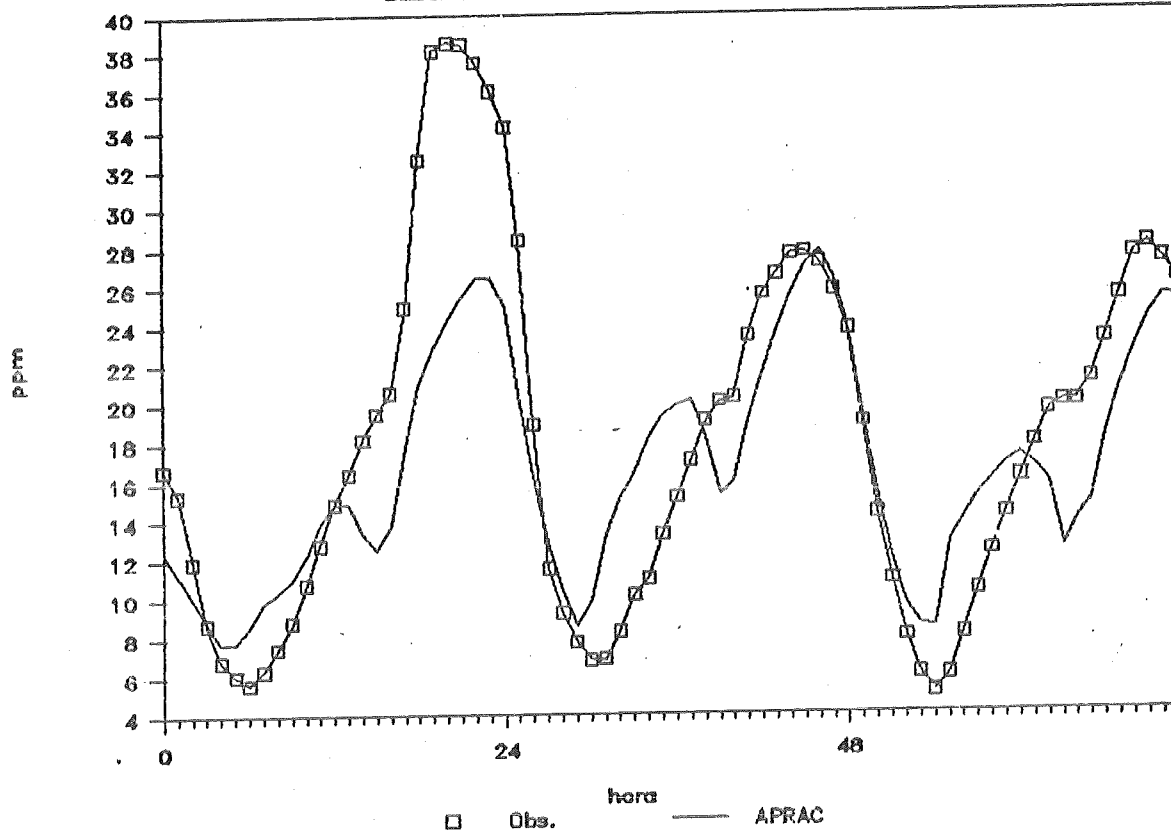


FIGURA 37

Monóxido de Carbono

Dados horários 11-13/8 - Pça do Correio

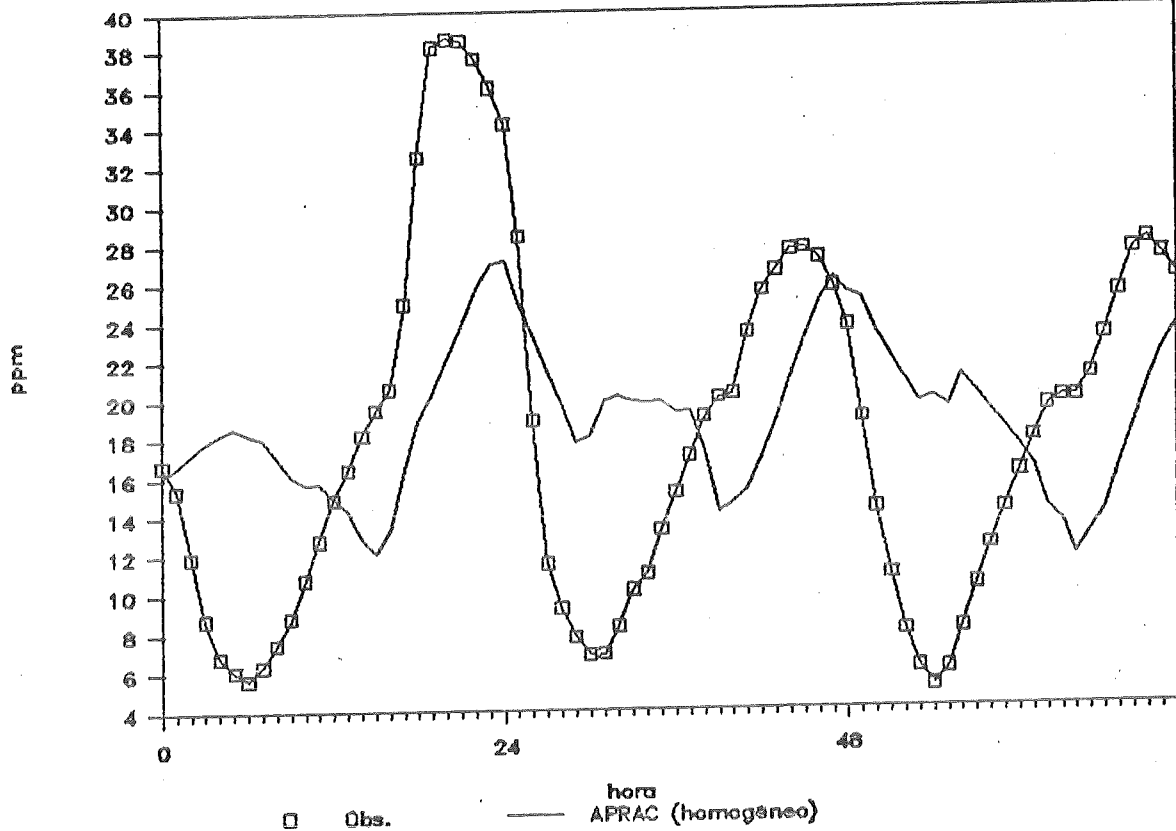


FIGURA 38

Conseqüentemente seus resultados divergem entre si de forma inversa, havendo declínio nos valores mínimos a acréscimo nos máximos. Nos dias 11 à 13 (em que os valores foram mais elevados que os demais), houve mais acerto que no modelo em uso, entretanto isto não se verifica nos outros dias. Além disto, estes dados são hipotéticos, não devendo ser usados na modelagem. O resultado demonstra contudo, a necessidade de uma avaliação objetiva da distribuição horária do tráfego nas vias inclusas no modelo como condição necessária ao aprimoramento da modelagem (Fig. 39).

No "modelo +50%", adicionou-se este percentual à intensidade das emissões. Realizamos este experimento pois os veículos utilizados nos testes que forneceram dados para obtenção dos fatores de emissão eram novos e foram devidamente regulados. O resultado é uma amplificação, de mesmo padrão, da curva obtida no modelo em uso. O pico máximo observado do dia 11, que havia sido subestimado nos demais experimentos, foi corretamente reproduzido. Contudo, em todas as outras horas houve superestimação. Avaliamos que as hipóteses utilizadas na obtenção do fator de emissão estão produzindo resultados satisfatórios (Fig. 40).

6. Conclusão e sugestões

O APRAC reproduziu qualitativamente toda variação de CO no período em estudo, conforme comparação com os dados observados. Quantitativamente, o modelo mostrou-se uma ferramenta confiável para pesquisa, planejamento ambiental e controle de poluição. O presente estudo incluiu situações onde a tendência foi de acréscimo, estabilidade e decréscimo, e os dados observados (e calculados) ultrapassaram o nível de alerta. Resultados em geral foram superestimativas leves para valores baixos observados e subestimativas leves para valores altos observados. Houve

Monóxido de Carbono

Dados horários 11-13/8 - Pça do Correio

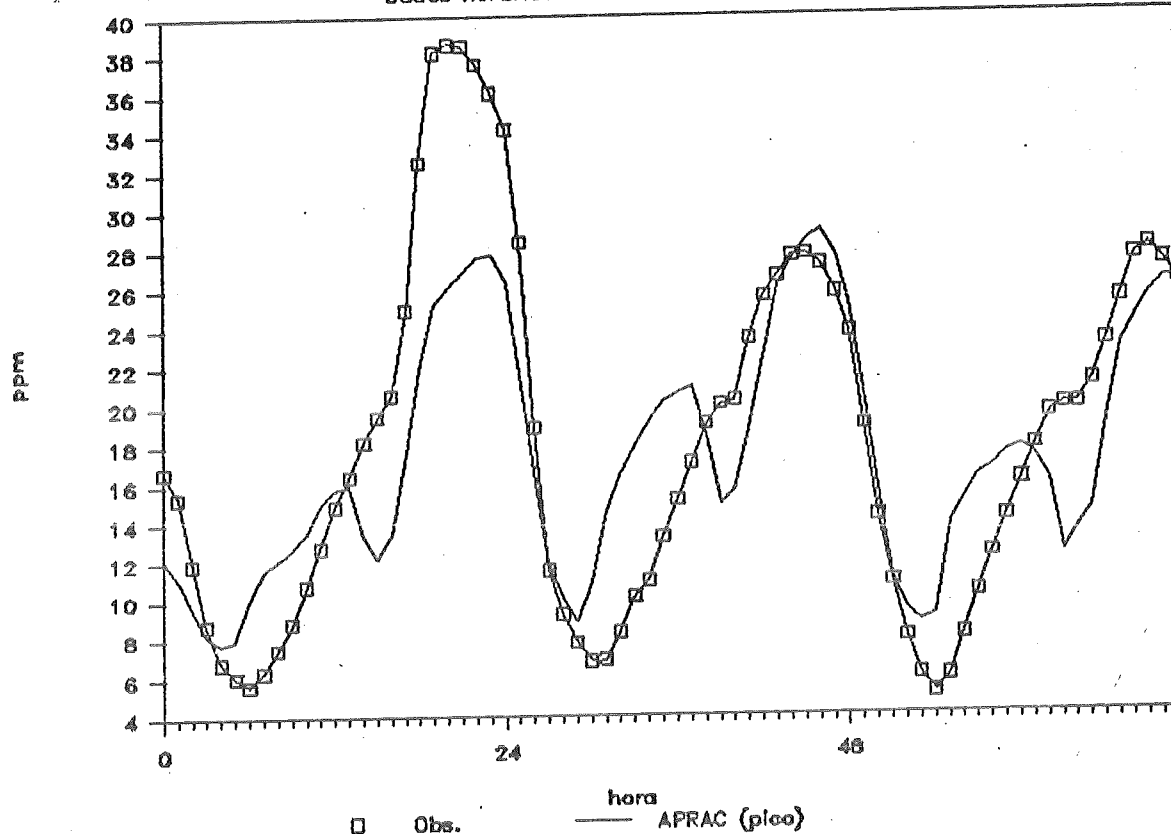


FIGURA 39

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA

Monóxido de Carbono

Dados horários 11-13/8 - Pça do Correio

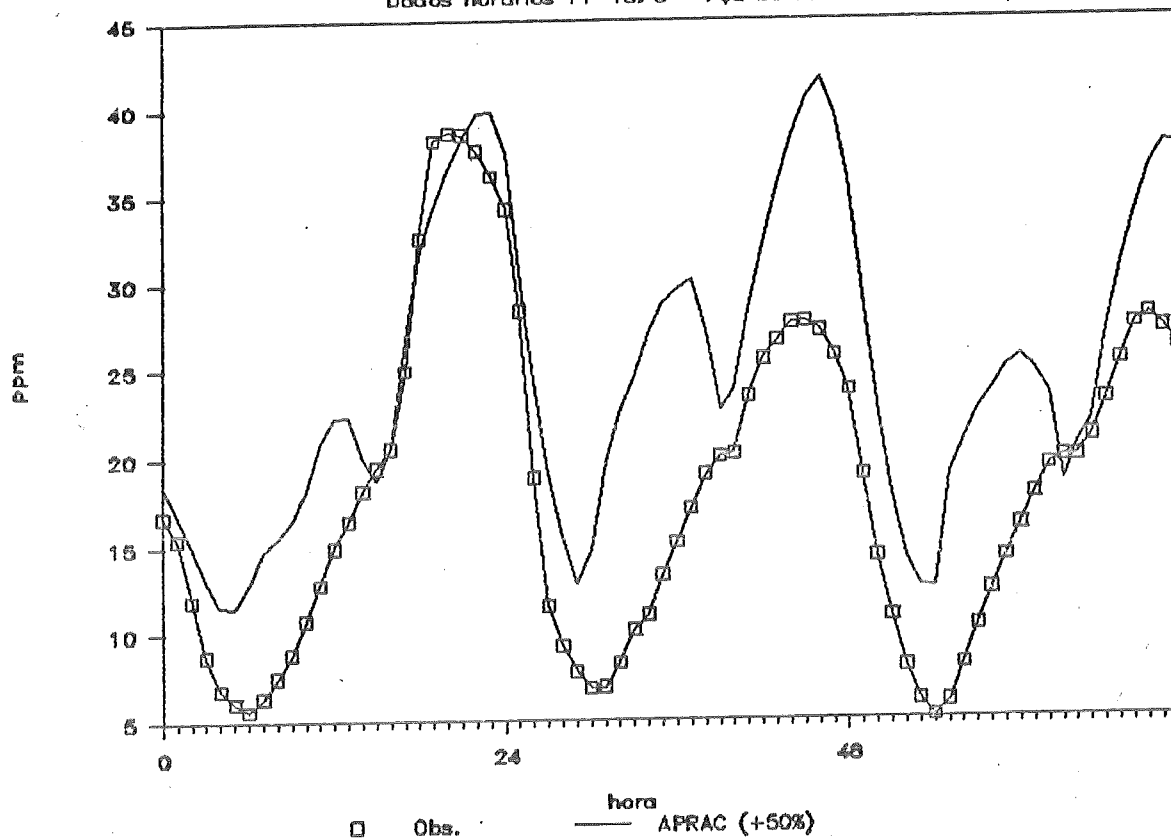


FIGURA 40

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA

sempre acompanhamento da curva dos dados observados, algumas vezes com atraso. Para aplicação voltada ao controle de poluição, sugerimos que se adotem medidas preventivas sempre um nível acima daquele previsto pelo modelo, no caso de haver expectativa de ultrapassagem do padrão de qualidade do ar para o CO. Por exemplo, se a concentração calculada para um dia determinado atingir ou ultrapassar o nível de ATENÇÃO, se as condições meteorológicas se mostrarem desfavoráveis para a dispersão de poluentes e se não houver previsão de declínio no número de veículos em circulação (por exemplo, feriados ou domingos), sugerimos que medidas preventivas sejam tomadas para evitar que o nível de ALERTA seja atingido.

A análise favorável dos resultados e as potencialidades do APRAC, motivam novos estudos. Acreditamos que um estudo mais prolongado na mesma região incluindo mais receptores e uma melhoria nos dados de entrada através da inclusão de novas vias e a reavaliação das existentes deva ser feito. Principalmente porque, devido às obras de reurbanização do Vale do Anhangabaú, houve uma mudança nas características do local de monitoramento.

Outras localidades também poderão ser estudadas, necessitando-se, para isto, dos dados de entrada para o modelo e observações de concentração de CO, para verificação de resultados. Em São Paulo, uma possibilidade é a região do Aeroporto de Congonhas devido a presença da estação de amostragem de qualidade do ar da CETESB, e o fato da topografia ser plana. Uma análise da relativa contribuição das difusões local, interurbana e extraurbana poderia ser feita visando avaliar a necessidade de se atribuir pesos diferentes a estes fatores difusivos, no sentido de minimizar as fontes de erro sistemático devido a deficiências nos dados de entrada.

Para aplicação do APRAC visando a previsão de concentrações horárias durante o dia, necessita-se de previsão de dados meteorológicos utilizados durante a simulação. Estes dados são: a radiossondagem das 12:00 TMG, temperatura máxima e mínima e valores horários de temperatura, direção e intensidade do vento e cobertura de nuvens. Havendo disponibilidade de um modelo meteorológico prognóstico de mesoescala (Pielke et alii 1983, por exemplo), estes valores seriam objetivamente calculados, permitindo simulações de vários dias no APRAC a partir destes resultados.

Na falta desta ferramenta, estes dados poderão ser avaliados empiricamente da forma que se segue. O modelo só seria utilizado quando a condição de dispersão de poluentes estivesse desfavorável, com domínio da alta pressão sobre SP. Sua execução só seria realizada após a recepção da radiossondagem das 12:00 TMG, que ocorre em torno das 12:00 h (locais). Neste caso, para simulação diária, estariam faltando os dados horários das 13:00 h em diante e o valor da temperatura máxima. Para este último, o valor rotineiramente previsto pelo INEMET poderia ser utilizado, a critério do meteorologista responsável pela execução do modelo. Os demais valores de temperatura poderiam ser interpolados a partir da temperatura máxima e da previsão da mínima na próxima madrugada, utilizando-se para isto uma equação matemática apropriada, que deve ser obtida estatisticamente. Os valores horários de direção, intensidade do vento e cobertura de nuvens seriam avaliados empiricamente pelo meteorologista. Para uma aplicação mais precisa, são necessários estudos específicos destes parâmetros no Centro de São Paulo.

7. Referências

CET 1989; Comunicação Externa nº 066/89.

CETESB 1990; Observações meteorológicas na camada limite planetária enfocando qualidade do ar.

Holton, J.R. 1979; An introduction to dynamic meteorology, International Geophysics Series Vol. 23, 2nd Edition, Academic Press 389 pp.

Johnson, W.B., W.F. Dabberdt, F.L. Ludwig e R.J. Allen, 1971; Field study for initial evaluation of an urban diffusion model, Stanford Research Institute, Menlo Park, California, 240 pp.

Ludwig, F.L., W.B. Johnson, A.E. Moon e R.L. Mancuso, 1970; A practical multipurpose diffusion model for carbon monoxide, Stanford Research Institute, Menlo Park, California, 184 pp.

Ludwig, F.L. e W.F. Dabberdt 1972; Evaluation of APRAC-1A urban diffusion model for carbon monoxide, Stanford Research Institute, Menlo Park, California, 167 pp.

Mancuso R.L. e F.L. Ludwig 1972; User's manual for the APRAC-1A urban diffusion model computer program, Stanford Research Institute, Menlo Park, California, 119 pp.

Murgel E.M., et alii 1987; Inventário de emissão veicular - metodologia de cálculo, Revista Engenharia Sanitária, Vol. 26, nº3, pag 292-296, Rio de Janeiro, Jul-Set.

Murgel E.M. e A. Szwarc 1989; *Condições de tráfego e a emissão de poluentes*, Revista Ambiente, Vol. 3, nº1, pag. 59-64, São Paulo

Pielke R.A., R.T McNider, M. Segal e Y. Mahrer 1983; *The use of a mesoscale numerical model for evaluation of pollutant transport and diffusion in coastal regions and over irregular terrain*, Bull. Am. Meteorol. Soc. 64, 243-249.

8. Agradecimentos

Os autores agradecem ao Dr. Alberto Setzer do I.N.P.E. por ter cedido o código em FORTRAN do modelo APRAC-1A. Agradecemos a assistência do Departamento de Informática da CETESB no uso do computador IBM 4341 utilizado neste trabalho, ao Setor de Meteorologia da CETESB pelas cartas sinóticas e diagramas adiabáticos e à CET pelos dados de tráfego que nos forneceram. Agradecemos também à Mariza Curi por ter desenhado o mapa de fontes lineares e ao Est. Antônio de Castro Bruni pelos cometários e sugestões.

| | |
|-------------|-----------------|
| Data Akuis: | 27/8/90 |
| Instansi: | Instansi NPIA I |
| Proyek: | |
| Data Lomba: | 27/8/90 |