

CETESB

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL

DIRETORIA DE NORMAS E PADRÕES AMBIENTAIS
DEPARTAMENTO DE QUALIDADE AMBIENTAL E PADRÕES
DIVISÃO DE QUALIDADE DO AR
SETOR DE INTERPRETAÇÃO DE DADOS
SETOR DE TELEMETRIA

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA
AV. PROF. FREDERICO HEILBRUNN J.R., 345 CEP 05458 - PINHEIROS
SÃO PAULO - BRASIL

OBSERVAÇÕES METEOROLÓGICAS NA CAMA
DA LIMITE PLANETÁRIA ENFOCANDO QUA
LIDADE DO AR

- Março/90 -

B401
C3380 (RCET)
003193

3193

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 de Carvalho Meneses

Diretor-Presidente

Eduardo San Martin

Diretor de Controle da Poluição

Frederico Pegler Neto

Diretor Administrativo e Financeiro

Jayme Gimenez

Diretor de Treinamento e Transferência de Tecnologia

Laura Maria Regina Tetti

Diretora de Desenvolvimento de Programas e Mobilização

Nelson Vieira de Vasconcelos

Diretor de Normas e Padrões Ambientais

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA

Observações Meteorológicas na Camada Limite Planetária
Enfocando Qualidade do Ar

CENTRO DE QUANTIFICAÇÃO DE RISCOS

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

INSTITUTO DE FÍSICA

1. Introdução

Em áreas urbanas e industriais, a qualidade do ar tem sido alterada devido a emissões gasosas e de material particulado. A concentração de poluentes varia, basicamente, em função das emissões, dispersão e remoção dos mesmos. Assumindo que as taxas de emissão e remoção sejam conhecidas, resta conhecer o campo da dispersividade atmosférica.

Resultado da combinação da difusão turbulenta e advecção, a dispersão atmosférica está associada aos gradientes de temperatura e de direção e intensidade do vento. O fenômeno dispersivo é tridimensional, por definição, contudo sob condições de homogeneidade horizontal nos campos de temperatura, umidade, rugosidade superficial etc. a dispersividade pode ser considerada como parâmetro unidimensional, variando somente no sentido vertical. Para analisar suas variáveis determinantes, são necessários dados do perfil vertical do vento e temperatura nos níveis de interesse.

Com o fim de adequar meios de observação de variáveis meteorológicas às necessidades específicas de cada aplicação, apresentamos este levantamento bibliográfico que indica soluções já adotadas internacionalmente à questão do monitoramento e estudo da atmosfera na camada limite planetária.

2. Meteorologia Aeronáutica

Sabe-se que aeronaves enfrentam maiores riscos de acidente durante operações de pouso e decolagem. Em grande parte, estes riscos são causados por cisalhamento do vento e intensas correntes de ar ascendentes ou descendentes.

O aeroporto de Nice, França localiza-se entre o mar e as montanhas, no eixo definido pelo vale do rio Var. A topografia propicia à complexidade do campo do vento e frequentemente à condições adversas ao pouso. Um exemplo típico do perfil do vento obtido com sodar no eixo da pista é dado na Fig. 1.

Nota: A palavra sodar deriva-se da expressão inglesa "sound radar", que significa radar acústico.

No caso apresentado, a aeronave em processo de pouso encontrará ventos de intensidade crescente no sentido do seu deslocamento até 100 m de altitude. Daí até a superfície, há um decréscimo acelerado na intensidade do vento, notadamente de 6 m/s de 80 à 30 m de altitude (Huguet et alii 1981). A ignorância de um cisalhamento desta ordem pode prejudicar a sustentação do aparelho representando sério risco a aeronave.

O estudo conclui, propondo a aquisição de equipamento para o monitoramento contínuo do vento em três dimensões, sendo o sodar Doppler aprovado a esta aplicação. Juntamente a anemômetros à superfície, torna-se possível a instalação de um sistema de previsão e monitoramento de cisalhamento do vento seguindo as recomendações da ICAO (International Civil Aviation Organization).

3. Estabilidade Atmosférica

Testes realizados na aeroporto de Satolas em Lyon, França, usando o sodar Doppler mostrou a relação entre a intensidade do eco, I_e , e o perfil de temperatura (Gland 1981). Um máximo no valor de I_e indica presença de uma camada estável. O problema deste método é que o máximo de I_e pode coincidir com o topo de um inversão de superfície (Fig. 2a) ou a base de uma inversão de altitude (Fig. 2b), indistintamente.

Outra maneira para determinação da estabilidade atmosférica, dividida por Gland (1981), é relaciona-la diretamente ao valor do desvio padrão de intensidade do vento vertical, σ_w , obtido pelo sodar. Ao comparar as categorias obtidas usando o método às medidas através do balão, verificou-se equivalência em 63 à 72 % dos casos. Os melhores índices de acerto foram encontrados, geralmente, mais próximo à superfície.

Gaynor e Korrell (1981) demonstraram que valores de σ_w obtidos pelo sodar são capazes de incluir somente 60 à 70 % da variância total. Isto se deve às médias temporais e volumétricas envolvidas em sua computação. Esta constatação pode ser o motivo dos desvios encontrados por Gland (1981) entre a estabilidade estimada pelo sodar e pelo balão.

No intuito de determinar estabilidade atmosférica como variável contínua com o uso do sodar, Neff (1981) relacionou a razão das intensidades da onda refletida pela emitida, σ , e o número de fluxo de Richardson, R_f , ao gradiente térmico vertical, $d\theta/dz$, obtendo a Eq. 1. O valor de R_f foi avaliada diretamente pelo sodar e é proporcional a razão do gradiente térmico, $d\theta/dz$, pelo gradiente da intensidade do vento, ambos na vertical.

$$d\theta/dz = 0.0074 (1-R_f)/R_f \sigma / (1.3-\sigma). \quad (1)$$

Esta equação foi obtida em condições de turbulência isotrópica e superfície homogênea.

4. Qualidade do Ar

As aplicações do sodar ao estudo e controle da qualidade do ar são muitas. Com objetivo de estudar o fluxo sobre terreno complexo no Norte da Califórnia, EUA, usou-se uma rede de sodares (Dickerson 1980). A natureza cíclica dos fluxos ficou evidenciada pelo estudo que demonstrou a importância do monitoramento contínuo necessário a determinação da frequência do fenômeno. A CIA Syncrude do Canadá tem utilizado intensivamente o sodar em seus estudos (Netterville 1981). A pesquisa coincide com monitoramento de qualidade do ar e tem objetivo prognóstico.

O sodar é utilizado intensivamente ao Norte do Lago Ontário no Canadá (Clarke 1982) com objetivo de relacionar os campos do vento e temperatura a eventos de alta concentração de poluentes. Uma lista de sodares aplicados ao estudo e monitoramento de eventos de poluição é dada na Tabela 1.

Um sistema de monitoramento e alerta para altas concentrações de poluentes é descrito por Moussafir (1981). O sistema utiliza o sodar como elemento chave e a partir dele obtém-se o campo do vento em três dimensões e infere-se a estratificação térmica. Logan e Thomson (1981) discutem um sistema de controle denominado: Controle Dinâmico de Emissões (CDE). Sua esquematização é dada na Fig. 3, e inclui considerações sobre altura da camada de mistura, subida de plumas e a execução de modelos numéricos de dispersão de poluentes. Recomenda-se o uso do sodar para avaliação do fluxo à altura das chaminés e estabilidade atmosférica. O sodar pode ser usado para monitorar as variações na camada de mistura. Os modelos prognósticos poderão ser executados repetidamente, a medida que os dados meteorológicos apresentem mudanças significativas.

INSTITUTO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO AMBIENTAL
 IPT/SP

Tabela 1. Aplicações do Sodar em Monitoramento e Previsão de Episódios de Poluição (*).

Filiação/uso	Localização	Sodares
1. Usinas Geradoras de Energia Elétrica.	Japão	XonTech Bilestáticos (5 unid.)
2. EPRI, pesquisa	Illinois, EUA	Aerovironment monostático Doppler
3. Phelps Dodge Corp., Siderurgia	Arizona, EUA	Aerovironment monostático Doppler
4. Cia. de Utilidade Pública	Four Corners México	Radian bilestático Doppler
5. EPA, Região 3 Qualidade do Ar	Pittsburgh Penn., EUA	Radian bilestático Doppler
6. Texas Air Control Board, Controle	Houston Texas, EUA	Radian bilestático Doppler (2 unid.)
7. Battelle Pacific Northwest Laboratory Estudo de Plumias	Georgia EUA	Radian monostático não - Doppler
8. California State Univ. Queimadas em campos de cultivo de arroz	Chico California EUA	Radian bilestático Doppler (2 unid.)
9. Cia. de Energia Elét. Espanhola, Controle	Balboa Espanha	Bertin monostático Doppler (2 unid.)
10. Cia. de Energia Elét. Italiana, Controle	Milão Itália	Bertin monostático Doppler
11. Cia. de Energia Elét. Francesa, Controle	Normandia França	Bertin monostático Doppler
12. Instituto Meteorológico Alemão	Karlsruhe Alemanha Oc.	Bertin monostático Doppler
13. Cia. de Utilidade Pública	Ringhals Suécia	Sensitron monostático Doppler
14. Cia. de Saúde Pública Sueca	Stockholm Suécia	Sensitron monostático Doppler

* Adaptado de Gaynor (1982).

5. Torre Meteorológica

Visando observar a dinâmica da estrutura vertical da camada limite marítima na região da Baía de São Francisco (costa do Oceano Pacífico dos EUA), uma torre equipada de instrumentos em vários níveis é utilizada (Lester 1978). A torre localiza-se sobre o Monte Sutro, de 250 m de altura (Fig. 4), à 5 km do litoral. Sua função é servir à televisão e sua altura é de 298 m. O fato da interface entre a camada limite estável, abaixo, e a atmosfera livre, acima, frequentemente passar pela torre, mostrou que este instrumento adequa-se ao estudo a que se propõe.

O experimento abarcou observações de parâmetros meteorológicos e de qualidade do ar. Os instrumentos utilizados nas observações são dados na Tabela 2.

Tabela 2. Instrumentação e Observações na Torre de Monte Sutro (*).

Parâmetro	Instrumento	Altura na torre (m)
Temperatura do ar	Termometro Eletronico	5, 24, 43, 66, 87, 111, 134, 154, 177, 198, 218, 232
Temperatura do bulbo úmido	Termometro Eletronico	5, 43, 87, 134, 177, 218
Vento horizontal e vertical	Anemometro UVW	5, 43, 87, 134, 177, 218
Pressão	Transdutor de Pressão	5, 43, 87, 134, 177, 218
Ozônio	Monitor UV	87, 177
Visibilidade	Transmissometro	43
Aerossóis	Contador de Núcleos	5, 218

* Adaptado de Lester (1978).

O objetivo principal do estudo, criação de amplo banco de dados para análise posterior, foi atingido. Além da torre foram utilizados sodares, balões, navios, aviões instrumentados, e uma rede de observações em uma ilha próximo à costa. Vários estudos foram feitos no Departamento de Meteorologia da Universidade de San Jose utilizando estes dados.

Em Caubauw, Holanda, um mastro de 213 m de altura é utilizado para observações meteorológicas e de gases na atmosfera (Driedonks et alii 1978). A topografia é plana e a rugosidade superficial quase homogênea, variando segundo a direção do vento e a estação do ano de 5 à 35 cm. Diversos parâmetros meteorológicos e gases são medidos à vários níveis. Elementos observados, alturas de observação e instrumentos utilizados são dados na Tabela 3.

Tabela 3. Parâmetros Medidos Continuamente na Torre de Cabauw (*).

Parâmetro	Instrumento ou Método	Altura (m)
Intens. do vento	Anemometro de copo	1.5, 5, 10; 20, 40, 80, 120, 160, 200
Direção do vento	Biruta	20, 40, 80, 120, 160, 200
Temperatura do ar	Termometro eletrônico ventilado	0.5, 1.5, 5, 10, 20, 40, 80, 120, 160, 200
Visibilidade	Transmissometro	1.5, 10, 20, 40, 60, 100, 140, 180
Radiação global e incidente	Kipp Radiometro Suomi	2, 213 2
Umidade	Termometro de Bulbo úmido	2, 213
Precipitação	Pluviometro	Superfície
03, NO, NO2, SO2	Phillips	3, 108, 208
Altura da Camada de Mistura	Sodar Acústico	0 à 1000
Balço de Energia à Superf.	Razão de Bowen	Superfície

* Adaptado de Driedonks et alii 1978.

Para avaliar estabilidade atmosférica a noite, R_f (definido anteriormente) é utilizado (Fig. 6). Seus valores indicam condição estável. Valores de um componente de poluição do ar, o ozônio (O3), é medido em 3 alturas. Nota-se claramente o máximo vespertino associado à produção fotoquímica do gás nos 3 níveis (Fig. 7). O autor conclui que a torre em questão é um

Instrumento poderoso ao estudo da estrutura da camada limite e sua dinâmica podendo ser utilizado em programas de controle de poluição.

Outra torre utilizada para acompanhamento meteorológico e de qualidade do ar é a torre Eiffel (Paris, França) de 300 m de altura (Fage et alii 1980). Através dos dados obtidos, foi possível prognosticar na véspera, condições desfavoráveis à dispersão de poluentes, como no caso abaixo (Fig. 8). A figura mostra um máximo nos valores de concentração de SO₂ associado a presença de uma intensa inversão térmica (+20°C de 200 à 250 m). A inversão térmica impede a dispersão do gás, aprisionando-o numa estreita camada de ar. Devido a persistência da situação de larga escala, a nuvem (observada) de SO₂ se associou às emissões do dia seguinte alcançando níveis de concentração característicos de um episódio.

Em Belo Horizonte, a UFMG (Universidade Federal de Minas Gerais) e a Nuclebrás firmaram convenio para instalação de uma torre meteorológica que terá 45 m de altura e 2 níveis de observação (Bol. Soc. Br. de Meteor. 1988). Na torre serão observados direção e intensidade do vento, temperatura, umidade. Precipitação, pressão e radiação solar incidente são medidos à superfície.

6. Observações Verticais por Meio de Balão

Observações de altitude em toda troposfera, e frequentemente baixa estratosfera, tem sido feitas em todo mundo utilizando radiosondagens. Este instrumento também se presta ao estudo na Camada Limite Planetária. Oliveira e Silva Dias (1982) utilizaram radiosondagens do Aeroporto de Congonhas (São Paulo, SP) para estudar a evolução diária em altitude e até que nível na vertical se fazem sentir os efeitos da circulação local. A baixa frequência das observações contudo, prejudicou o estudo impedindo que se observasse o estabelecimento de circulações locais.

Ha balões desenhados especificamente para o estudo na Camada Limite Planetária. Seu uso se limita a pesquisa meteorológica e da poluição do ar, sendo frequentemente usado em campanhas ou estudos específicos. Devido a complexidade em sua operação, a operacionalização deste instrumento torna-se inviável.

7. Conclusão

Apresentamos, 3 meios para observações meteorológicas de altitude na camada limite planetária: o Sodar, a torre meteorológica e o balão. As diferenças entre estes instrumentos os torna mutuamente complementares possibilitando uma compreensão abrangente da dinâmica dos campos na Camada Limite

Planetária (GLP).

Em casos de aplicações específicas, é possível determinar o instrumento mais apropriado. Com a torre, obtemos maior qualidade nos dados e melhor resolução na parte inferior da GLP. Sua aplicação portanto é menos completa no sentido de um diagnóstico amplo, em toda camada limite planetária. O balão oferece diagnóstico instantâneo, em faixa mais extensa, é de operação mais difícil e, por isso, tende a ser inviável ao monitoramento contínuo.

O sodar tem alcance intermediário em relação aos dois métodos citados e seu monitoramento é contínuo, como o da torre. Suas medidas necessitam de interpretação posterior. Contudo sua maleabilidade e relativa facilidade de uso o torna operacionalmente viável para monitoramento contínuo, visando a avaliação da condição atmosférica associada à qualidade do ar. Exemplificamos anteriormente uma aplicação bem sucedida nesta área, utilizando-se observações meteorológicas em altitude feitas por instrumentos instalados ao longo da torre Eiffel.

No caso da Região Metropolitana de São Paulo, a CETESB já realiza o monitoramento, com medidas de minuto à minuto, em 22 estações automáticas formando uma rede que está telemetricamente ligada a uma central computadorizada, localizada em sua sede. Concomitantemente, observações meteorológicas de altitude, necessárias ao conhecimento do estado e da dinâmica do campo atmosférico em suas três dimensões, se fazem diariamente através da radiosondagem do aeroporto de Congonhas. Esta sondagem visa atender às necessidades da meteorologia "tradicional" (previsão do tempo), por esta razão há um pequeno número de amostragens junto a superfície e as observações se estendem verticalmente até a baixa estratosfera. Concluímos ressaltando a necessidade de um instrumento (torre ou radar) dedicado às observações meteorológicas em altitude que esteja tecnicamente a altura da rede telemétrica na sua atual concepção, fornecendo informações decisivas no prognóstico e diagnóstico das condições atmosféricas associadas diretamente a qualidade do ar.

B. Referências

Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia (1988) Agosto
Vol.2, No. 2.

Dickerson M.H. (1980) A collection of papers based on drainage wind studies in the geyser area of Northern Calif., Lawrence Livermore Laboratories, Univ. of Calif, Livermore CA USA.

- Driedonks A.G.M., H. van Dop and W.H. Kohsiek (1978) Meteorol. obs. on the 213m mast at cabauw in the Netherlands, Reprintsourth Symp. Meteorol. Obs. and Instrumentation, Denver, Am. Meteorol. Soc., 41-46.
- Gaynor J.E. (1982) Present and future uses of sodars in air quality studies by industry and government, NOAA ERL Wave Prop. Lab. Boulder CO USA.
- Gaynor J.E. and Korrell (1981) Instrument intercomparisons at the Boulder atmospheric observatory during 1980., Tech Memo ERL WPL 69 NOAA Env. Res. Lab. 38pp. Boulder CO USA.
- Gland (1981) Qualifying test on a three dimensional Doppler sodar, Satolas: July-December 1980, French Electricity Board: Office of studies and research applications of electricity and environment.
- Huguet (1981) Low level shear detection system for airport landing approach areas, based on the Bertin Doppler acoustic sounder (Sodaf), Internatinal Conf. on the aviation weather system of the American Meteorol. Soc. Montreal, Canada.
- Lester(1978) Marine atmospheric boundary layer experiments, West Coast (MABLES WC): July 31 - August 17, 1978. Department of Meteorology, San Jose State Univ., San Jose CA USA.
- Logan and Thomson (1981) Applications of the sodar to dynamic emission control strategies at the coal power plants, Extended Abstracts from the 5th Symposium on Turbulence Diffusion and Air Pollution. American Meteorol. Soc. pp 270-271 Boston Mass. USA.
- Moussafir (1981) Pre-alarm and prevision aid system for ambient air monitoring networks, Rep. 61 DT 81.111 8pp. Bertin & Cie Paris France.
- Neff W.D. (1981) An observational and numerical study of the atmospheric boundary layer overlying the East Antarctic ice sheet, Tech. Memo ERL WPL 67 NOAA Env. Res. Lab. 272pp Bolder CO USA.
- Netterville (1981) User experiences with a comercial acoutic Doppler remote wind sensor, Syncrude Canada Ltd. (Internal report). Edmonton Alberta Canada.
- Oliveira A.P. e P.L. Silva Dias (1982) Aspectos observacionais a briza maritma em São Paulo. Dept. de Meterologia, Inet. Agron. e Geofis, Univ. de São Paulo.

INSTITUTO BRASILEIRO DE PESQUISA TECNOLÓGICA
 INSTITUTO DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL
 BIBLIOTECA

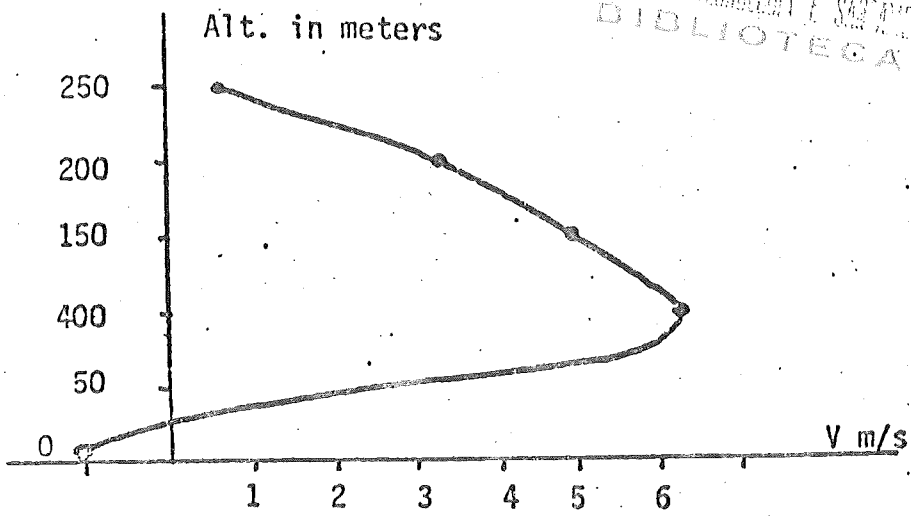


FIGURA 01

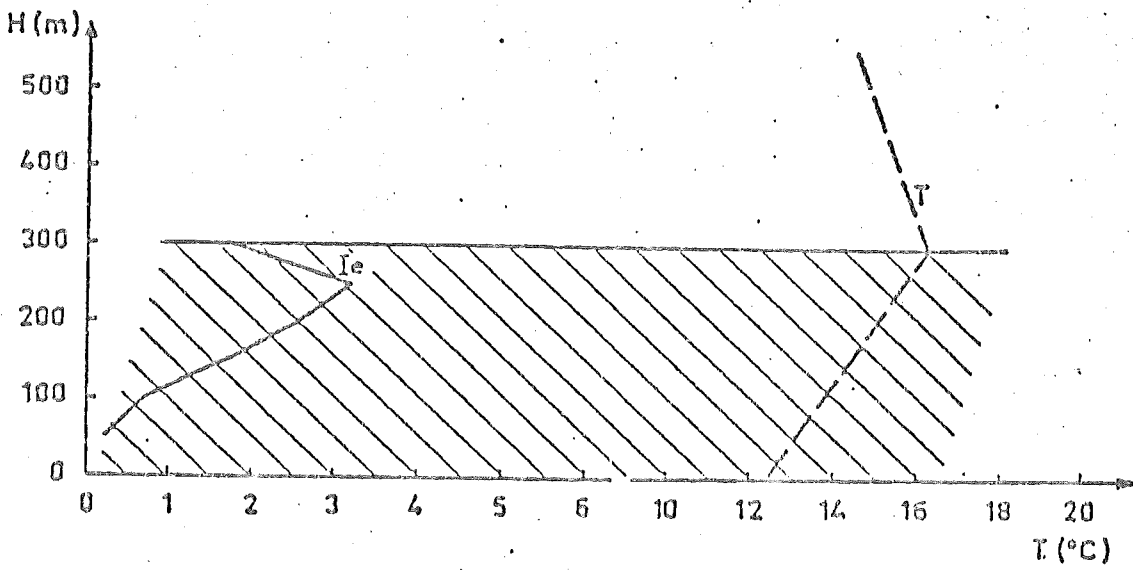


FIGURA 2.a

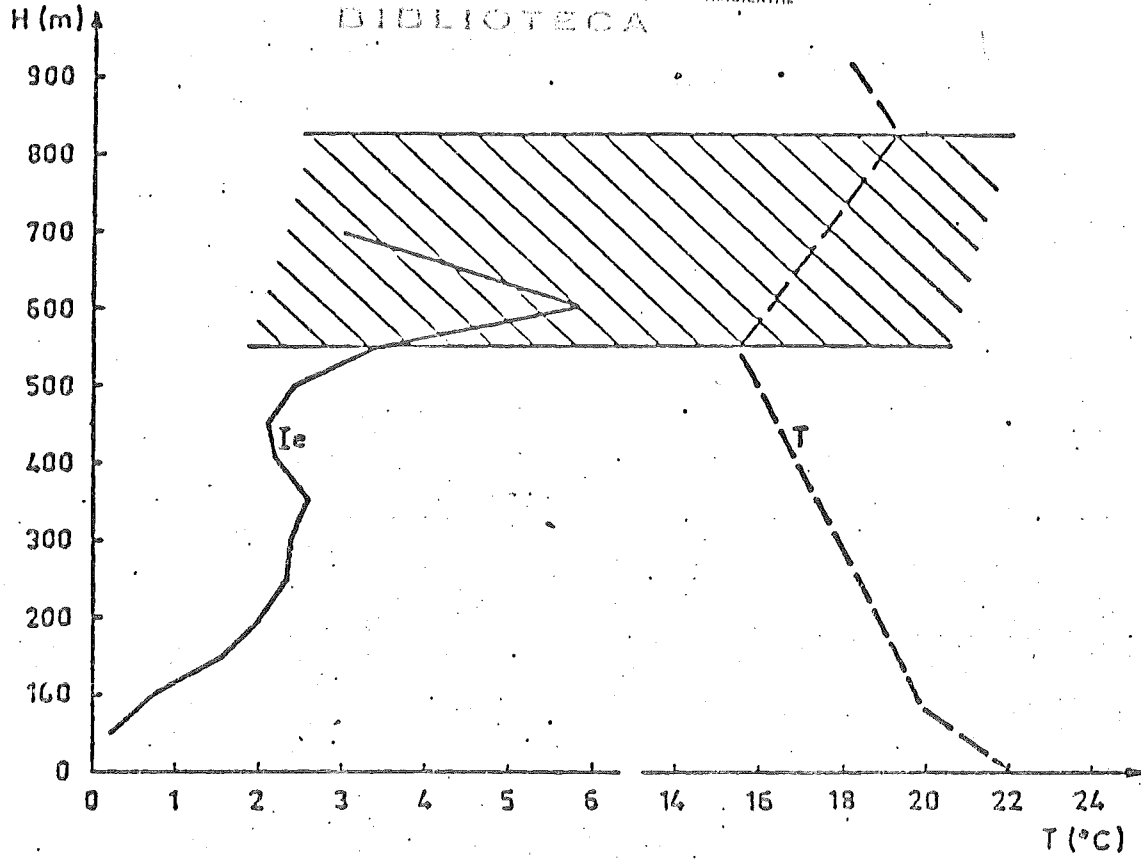


FIGURA 2.b

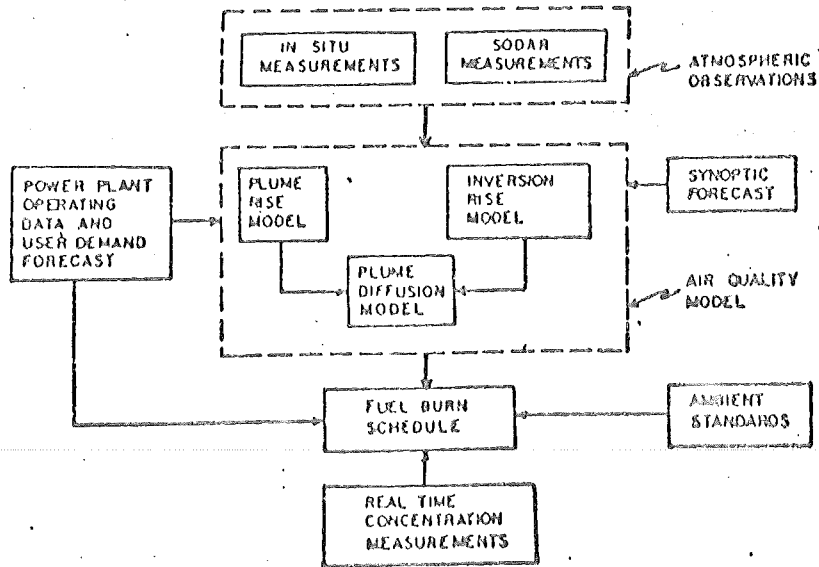


FIGURA 03

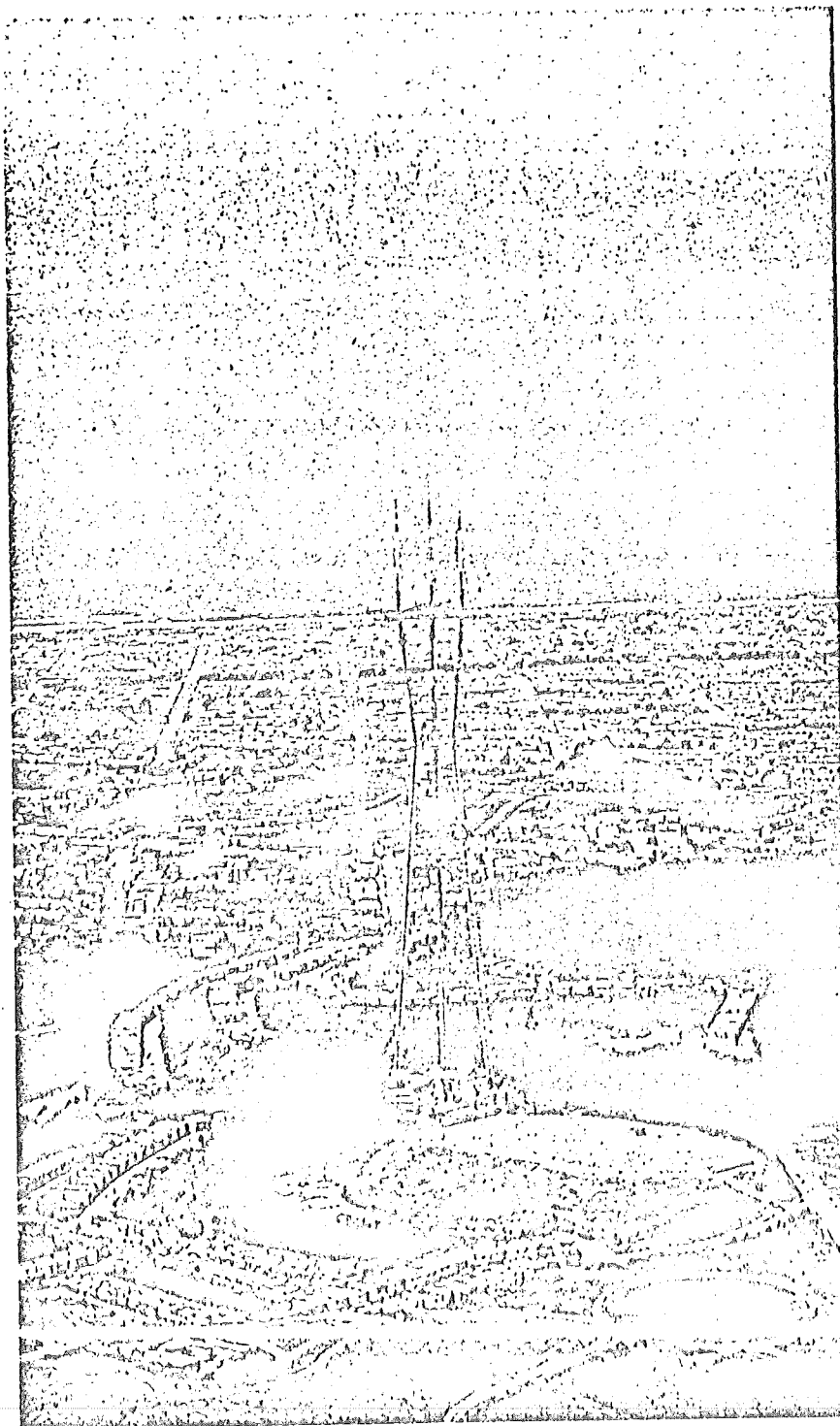


FIG. 4: VISTA AÉREA DO LESTE DA TORRE DE MONTE SUTRO

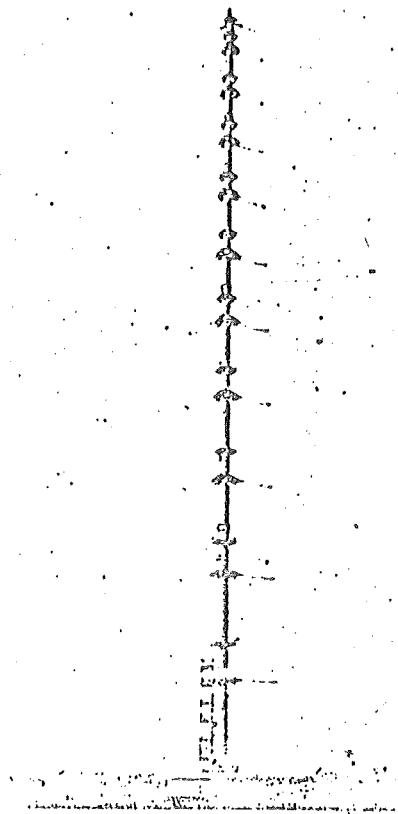


FIGURA 05

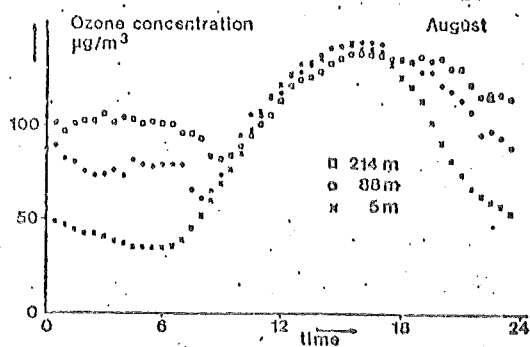


FIGURA 07

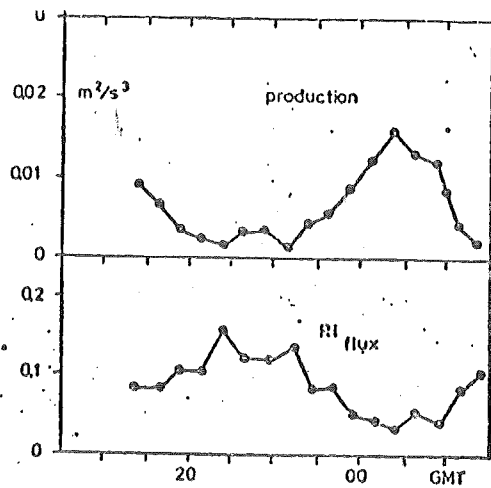


FIGURA 06

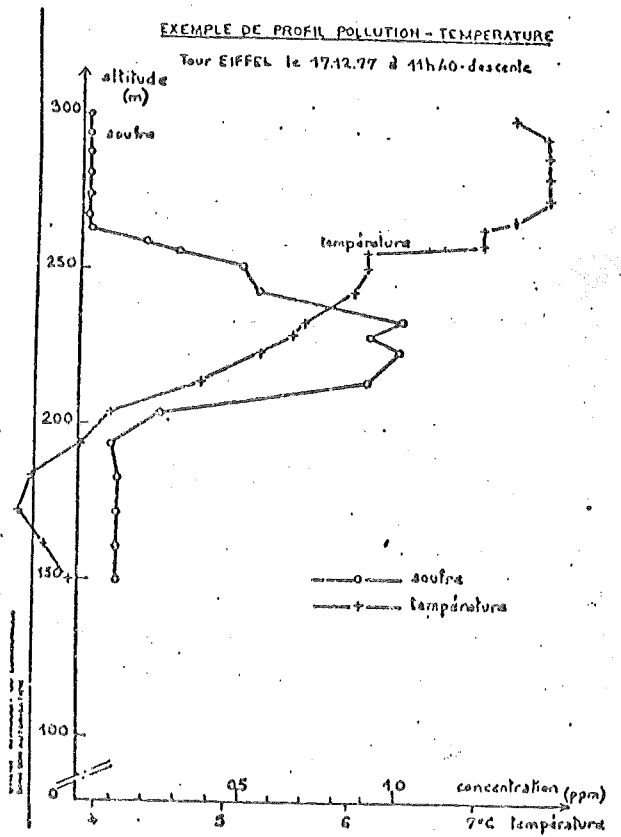


FIGURA 08

Data Akuis.: 21/3/90
Lokasi: doc CP NPI 01
Proses: GIS
Data Lambat: 21/3/90

