

RELATÓRIO PARCIAL REFERENTE

À PROJETO STAR/1978.

Pj. 14.A1 - Determinar sub-bacias aéreas para a Região da Grande São Paulo utilizando sensoriamento remoto.

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

ARQUIVO TECNICO

Data: 17 / 11 / 78 .

DMT/GEE-AR.

Superintendência de Tecnologia do Ar
Diretoria de Saneamento do Ar e de
Controle das Fontes de Poluição.

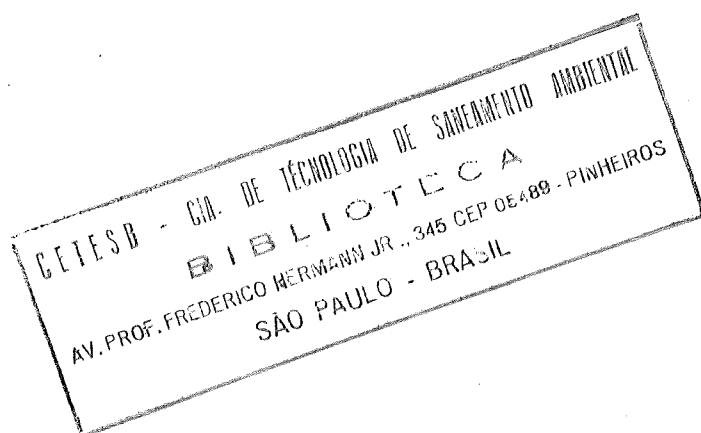
8700
C338d(RCET)
002185

CLASS	
c)	2185

THESE DOCUMENTS ARE THE PROPERTY OF THE
INSTITUTION AND ARE NOT TO BE
REPRODUCED OR TRANSMITTED IN ANY FORM
OR BY ANY MEANS, ELECTRONIC OR MECHANICAL,
INCLUDING PHOTOCOPYING, RECORDING, OR BY
ANY INFORMATION STORAGE AND RETRIEVAL SYSTEM.

Í N D I C E

1. INTRODUÇÃO
2. DEFINIÇÃO
3. TÉCNICA DE SENSOREAMENTO REMOTO
4. BREVE DESCRIÇÃO DOS COMPONENTES DE UM SISTEMA DE SENSOREAMENTO REMOTO
5. SENSOREAMENTO REMOTO DA ATMOSFERA
6. O EMPREGO DE SENSOREAMENTO REMOTO NA GRANDE SÃO PAULO PARA A DETERMINAÇÃO DE SUB-BACIAS AÉREAS - DISCUSSÃO E CONCLUSÃO
7. BIBLIOGRAFIA
8. ANEXOS
 - anexo I
 - anexo II



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

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos 15 anos, as pesquisas em sensoriamento remoto tem produzido ferramentas cada vez mais sofisticadas ampliando sua aplicabilidade a uma grande gama de problemas ecológicos, urbanos e de recursos naturais. Nesse intervalo de tempo o sensoriamento remoto demonstrou efetivamente e eficientemente sua habilidade em registrar significativamente uma grande quantidade de fenômenos do nosso ambiente. Entretanto, são bem recentemente algumas aplicações passaram do campo da pesquisa científica para um nível operacional.

O presente relatório se propõe a apresentar uma visão do que seja sensoriamento remoto, o estado da arte de sua tecnologia aplicada a poluição do ar e as dificuldades inerentes à execução do PJ 14 A-1 do plano de atividades STAR para 1978 que tem como título a determinação de sub-bacias aéreas para a Região da Grande São Paulo utilizando sensoriamento remoto.

2. DEFINIÇÃO

O sensoriamento remoto pode ser definido como a aplicação de determinados dispositivos, os quais, colocados em aviões ou satélites, permitem obter informações acerca de objetos ou fenômenos na superfície ou sub-superfície da terra.

O sensoriamento remoto mede as trocas energéticas entre aqueles fenômenos ou objetos com o meio ambiente. Essas trocas energéticas manifestam-se particularmente por emissão ou modificação de ondas eletromagnéticas e perturbações dos campos magnéticos e gravimétricos.

3. TÉCNICA DE SENSOREAMENTO REMOTO

O sensoriamento remoto envolve a observação e medida de energia no espaço e no tempo, essas observações podem ser agrupadas em quatro domínios:

- domínio espacial : tamanho, forma e distribuição
- domínio temporal : variações no decorrer do tempo
- domínio espectral : reflexão, emissão, luminescência, etc.
- domínio dos campos
de força : gravimetria e magnetometria

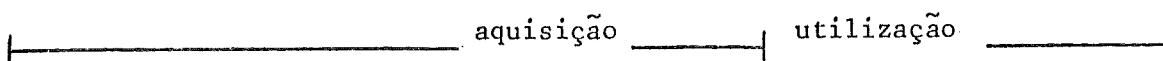
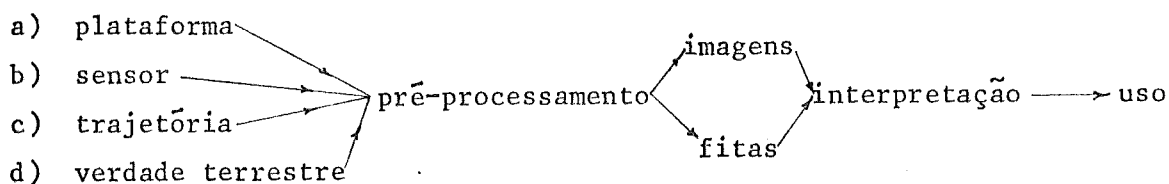
Esses domínios são normalmente apresentados sob a forma de imagens bidimensionais que mostram as distribuições espaciais de energia e suas variações temporais.

4. BREVE DESCRIÇÃO DOS COMPONENTES DE UM SISTEMA DE SENSOREAMENTO REMOTO

Qualquer sistema de sensoriamento remoto pode ser subdividido em duas partes:

1. aquisição de dados
2. utilização de dados

Essas duas partes estão intimamente relacionadas, o mesmo acontecendo com os elementos essenciais que as compõem:



a) As plataformas podem ser aéreas ou espaciais; a seleção da plataforma depende principalmente dos objetivos do programa, não existindo necessariamente competição entre os dois sistemas. Para várias aplicações a combinação entre os dois tipos de plataformas pode fornecer um excelente resultado, os principais problemas que devem ser levados em conta na seleção da plataforma são:

1. Custo de investimentos
2. Tamanho da área a ser levantada
3. Escala dos fenômenos a serem investigados
4. Características geométricas das imagens
5. Tamanho, peso, operação e características dos sensores
6. Necessidade de cobertura repetitiva

b) Os sensores de uma forma bem genérica podem ser encarados

como dispositivos e ou equipamentos capazes de direta ou indiretamente registrar ou indicar a magnitude das variações da grandeza física, físico-química ou química, cujo comportamento se deseja verificar.

c) Na trajetória devem ser levados em conta aspectos tais como:

1. Localização da área de interesse
2. Facilidades logísticas para operação da plataforma; necessidades de recobrimento espacial e temporal.

d) Para muitas aplicações de sensoriamento remoto a disponibilidade de dados de campo (verdade terrestre) constitui um fator vital. Todo dado de campo representa uma amostra da população de objetos ou fenômenos presentes nos critérios de avaliação.

CETESB - CIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA

5. SENSOREAMENTO REMOTO DA ATMOSFERA

Os métodos de sensoriamento remoto aplicados à atmosfera são baseados em técnicas espectrais decorrentes da interação entre as oscilações eletromagnéticas e as características particulares de emissão e absorção das moléculas dos diferentes constituintes da massa gasosa.

Dependendo da situação pode-se utilizar da radiação solar direta ou refletida (do ultra-violeta ao início do infravermelho) radiações térmicas da superfície (do infravermelho médio às micro-ondas) ou ainda radiação artificial (laser).

Irrefutáveis sucessos tem sido alcançados na aplicação do sensoriamento remoto à meteorologia; parâmetros tais como o vento, pressão, umidade e temperatura tem sido regularmente mapeados através de satélites artificiais desde o meio da década de sessenta. Entretanto, a aplicação específica à poluição do ar está ainda em termos dispersos quando comparada com o estado da arte do sensoriamento remoto aplicado à meteorologia e a prospecção de recursos naturais. A razão de tal fato repousa em dois aspectos:

- Não se conhece a "verdade" a respeito da distribuição dos gases e partículas ao longo da altitude e até que um modelo possa ser construído com razoável exatidão não poder-se-á calibrar corretamente os sistemas e mesmo interpretar resultados com segurança.
- A técnica espectral é ainda, apesar de sua contribuição efetiva a alguns campos, uma ferramenta em desenvolvimento.

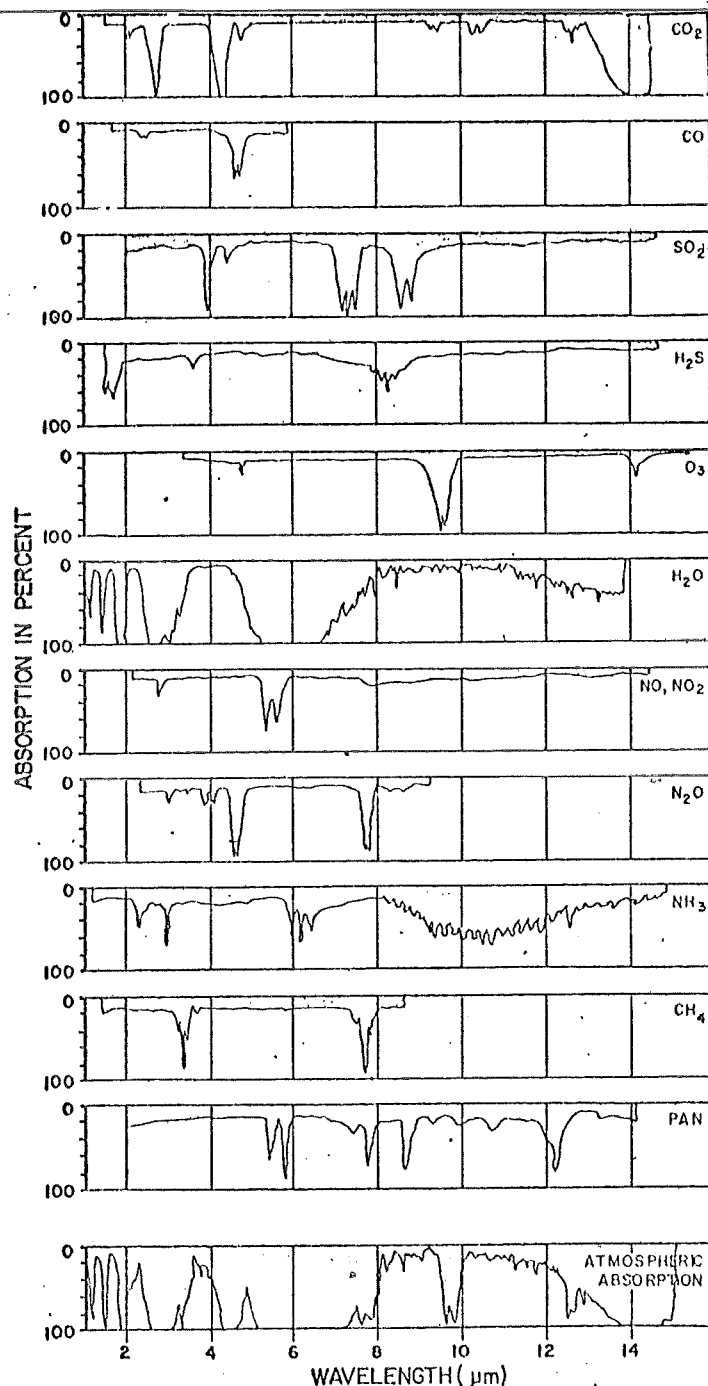
Para melhor apresentar o estado da arte do sensoriamento

remoto aplicado à poluição do ar, podemos verificar a tabela seguinte em termos de aplicações concretas e potenciais, ressaltando o fato de que a mesma traduz uma realidade referente ao ano de 1974.

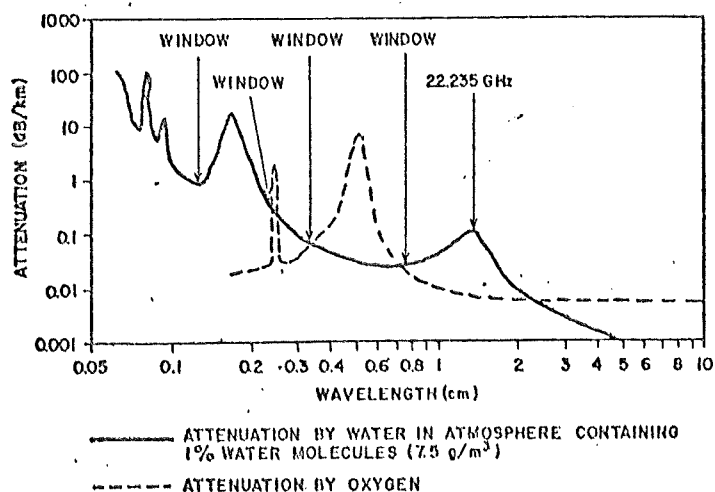
CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA

Constituent	Typical concentrations (ppm)		Required information		Required accuracy (ppm)		Possible measurement approach		Present capability of RS-method	
	City	Rural background	Troposphere	Stratosphere	Global	Regional/local	Total concentration	Vertical profile	Troposphere	Stratosphere
CO ₂		320	Total concentration	Total concentration	0.5		Solar IR		II	II
CO	5.0	0.1	Total concentration	Total concentration	0.01	0.01	Solar IR Thermal IR		I	I
SO ₂	0.2	0.0002	Total concentration	Vertical profile	0.0005	0.01	Solar UV Solar IR Thermal IR	Solar IR Thermal IR	I, II, G I, R, II, G	— II
H ₂ S	0.004	0.0002	Total concentration	—	—	0.0001			III	
O ₃	0.3	0.02	Total concentration Vertical profile	Total concentration Vertical profile	Str 1 %	0.01	Solar UV Thermal IR	Solar VIS Thermal IR	— —	— —
H ₂ O	≈ 1 000	≈ 1 000	Vertical profile	Vertical profile	Str 20 %			Thermal IR Solar IR	I	I
NO	0.2	0.001	Total concentration	Vertical profile	Str 0.01		Solar VIS Solar, Thermal IR	Solar VIS Thermal IR	I —	— II
NO ₂	0.1	0.001	Total concentration	Vertical profile	Str 0.01		Thermal IR	Thermal IR	I	I
N ₂ O	0.5	0.25	—	Vertical profile	Str 0.05			Solar IR Thermal IR	—	I
HNO ₃			—	Vertical profile	Str 0.001			Solar IR Thermal IR	—	I
NH ₃	0.01	0.006—0.02	Total concentration	Vertical profile	—	0.01	Solar IR	Thermal IR Solar IR	I	—
C ₂ H ₄	2.0	0.001	Vertical profile	Vertical profile	Tr 0.001	0.001		Thermal IR Solar IR	III III	I
CH ₄	3.0	1.4	Vertical profile	Vertical profile	Tr 0.5 Str 0.2	0.5		Thermal IR Solar IR	III III	I
PANs	0.03	0.001	Total concentration	—	—	0.001—0.01			III	—
Fluoro-carbons	0.05	0.001	Total concentration	—	—	10 ⁻⁶ —10 ⁻³			III	—
Halogens			Total concentration	—	—	0.001	Solar IR		I	—

Table 1. Feasibility of present day remote sensing developments for various applications on a regional and global scale (%). I = Feasible; II = Potentially feasible; III = Not currently feasible
R = Regional; G = Global



1A. Atmospheric absorption of radiation in the IR region by the atmospheric gases.



1B. Atmospheric attenuation of radiation in the microwave region, due to water vapor (black line) and oxygen (colored line).

Os gráficos da figura 1A à esquerda apresentam os espectros de absorção de alguns poluentes do ar na região de comprimento de onda do médio infravermelho (2,5 a 25 μm). Nesta faixa apresentam-se as bandas fundamentais de quase todos os poluentes e em que pese a similaridade estrutural entre as várias moléculas, as bandas de absorção desta região diferem sensivelmente uma da outra na forma, localização e distribuição das intensidades, a menos da faixa de 5,5 - 7,5 μm onde registra-se uma forte interferência entre CO_2 e H_2O .

O médio infravermelho é, presentemente, a mais utilizada das regiões do espectro em termos de sensoriamento remoto pois, aí se localizam as duas bandas de transmissão (janelas) da atmosfera, permitindo medições diurnas sem maiores problemas de interferência com espalhamento da luz solar.

A figura 1B, analogamente, registra a atenuação e as janelas existentes para a faixa das microondas (7 500 μm) para oxigênio e o vapor de água, mostrando ser uma faixa de difícil resolução devido a largura das bandas espectrais dos elementos comuns da atmosfera (H_2O e O_2).

Figure 2 A. Horizontal sensing using an artificial source. The path length obtained by using artificial sources is quite limited because of the spreading and absorption of the beam due to parameters indicated in the figure.

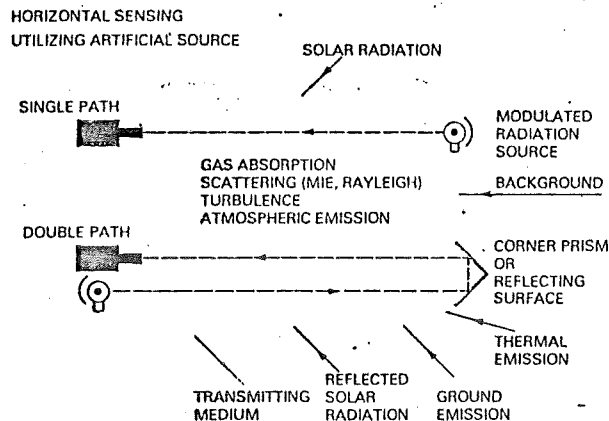


Figure 2 B. By stratospheric limb measurements from satellite a very long total air mass is transversed and the radiation is not attenuated by the strong water vapor bands and clouds in the lower atmosphere or disturbed by the thermal radiation from the earth. This technique will be used for measurement of stratospheric gases on the NIMBUS F and G satellites.

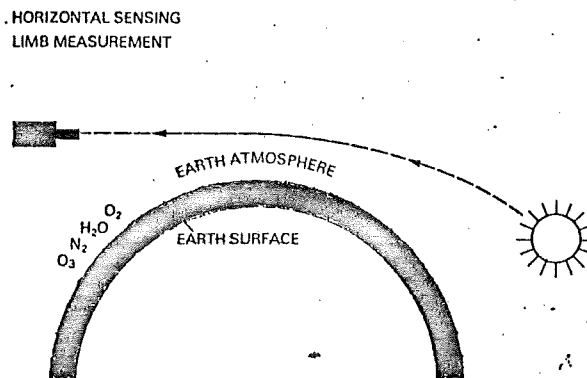
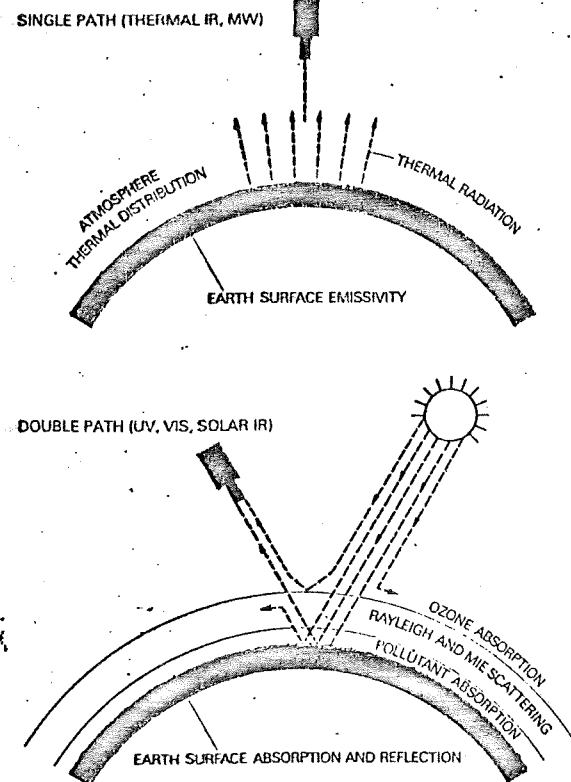


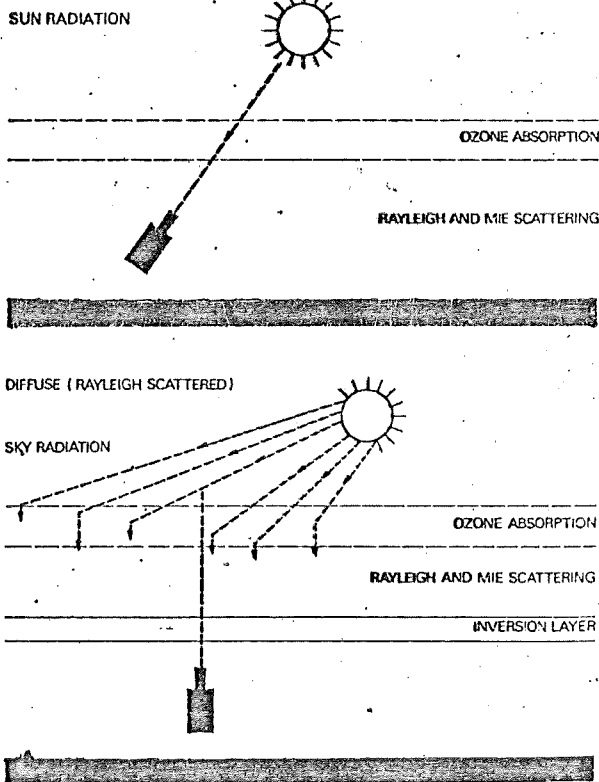
Figure 2 C.

I Downlooking sensing usually uses the thermal emission from the earth or reflected solar radiation as radiating sources. The fundamental requirement for using thermal sensing of the atmosphere is that the air is cooler than the earth surface (2). At satellite altitude the sensor will look through haze, aerosol layers, clouds and many regions of various temperatures, which affect the observed radiance and make the interpretation of data very complicated. The temperature profile and the earth surface temperature and emissivity must be accurately known at every measurement point.

VERTICAL SENSING DOWNLOOKING



VERTICAL SENSING UPWARDS LOOKING



II When using the scattered and the diffuse reflected radiation against the earth in UV and VIS regions the background is rapidly changing spectrally, spatially and directionally and only estimates of the pollutant amount, not quantitative measurements, can be done.

As configurações fonte-detetor, para a medição da atmosfera podem ser classificadas em horizontais e verticais conforme pode ser observado nos esquemas das figuras 2A a 2D, onde cada arranjo é comentado.

A principal qualidade de um instrumento de sensoriamento remoto de poluentes gasosos é a de produzir dados exatos, precisos e simultâneos sobre a concentração de cada gás co-existente em uma mistura. Para o atingimento destes predicados é requerido um conteúdo de alta velocidade e especificidade, o qual é esperado ser ampliado em futuro próximo, devido ao avanço tecnológico contínuo na área de detetores, filtros de interferência, lasers e sistemas criogênicos.

Os métodos atualmente em uso podem ser classificados em ativos e passivos. Os métodos passivos são aqueles baseados em radiometria e espectrometria enquanto os ativos se utilizam de espalhamento molecular e técnicas de absorção.

Os radiômetros são instrumentos para a medição da radiação eletromagnética dentro de um certo intervalo do espectro. Os espectrometros medem a distribuição de comprimentos de onda da radiação, isto é, a intensidade de radiação como uma função do comprimento de onda. Ambos os equipamentos podem retratar uma cena através do seu esquadrinhamento sistemático em pequenas bandas, medindo a radiação e construindo a imagem. Devido a superposição da radiação dos componentes normais da atmosfera ou mesmo de outros poluentes, tais equipamentos são utilizados em conjunção com outros equipamentos para a filtragem e rejeição das interferências existentes.

Dentre os métodos ativos a principal fonte de radiação utilizada é o laser por possuir a propriedade de conjugar radiação de alta intensidade em um feixe espectral bastante estreito. As técnicas que se utilizam do laser apresentam excelente resolução quando comparadas com a espectroscopia, entretanto não se prestam a cobertura de amplos intervalos do espectro. Para melhor ilustração, descrevemos a seguir o funcionamento do radar laser (LIDAR): um pulso de radiação é emitido em uma certa direção; ao propagar-se pela atmosfera, parte da radiação é absorvida ou dispersada por gases ou partícu-

las; uma pequena fração é dispersada para traz onde é recepta da, medida é separada da radiação de "backgrouand" fornecendo informações sobre a distância do objeto que provocou o espalhamento e a sua quantidade.

As técnicas baseadas em sensoriamento remoto com laser estão sendo utilizadas principalmente em estudos de superfície, concentrando-se em problemas locais de poluição do ar, tais como estimativa de emissão de fontes gravituais, calibração de modelos de dispersão e mapeamentos da distribuição superficial das emissões. Espera-se que em futuro próximo haja uma extensão de pesquisas para escalas regionais e globais.

Um exemplo esquemático de sensoriamento por dois métodos diversos (ativo e passivo) é abaixo ilustrado.

Figure 3. Model of an upwardslooking sensor measuring the total net outflow from a source when the upwards diffusion is trapped by an inversion layer. With data regarding wind velocity, wind structure and the height of the inversion layer, the dissipation and mass transfer of each pollutant could be deduced.

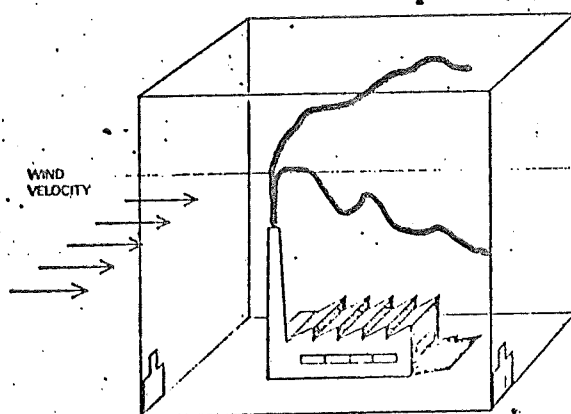
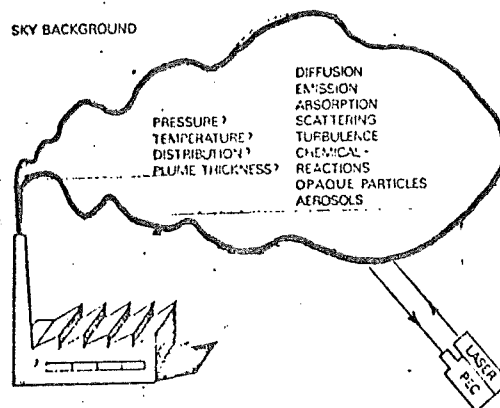


Figure 4. Measuring the effluents from a chimney with laser methods. The atmosphere does not only absorb but also emits radiation. If the pollutant is at a higher temperature than the background, it will emit the characteristic spectral lines of its molecular constituents. The interpretation of the optical emission spectrum must separate the factors of temperature, emissivity, background variations and spatial distribution of emitted gases in order to obtain the concentration measure.



AMBIO, VOL. 3 NO. 5

6. O EMPREGO DE SENSOREAMENTO REMOTO NA GRANDE SÃO PAULO, PARA A DETERMINAÇÃO DE SUB-BACIAS AÉREAS

Considerando-se o exposto em itens anteriores devemos ressaltar os seguintes pontos:

- a) O sensoriamento remoto através de plataformas aéreas ou espaciais tem como elemento vital a verdade terrestre. Aliás, a falta de informações ao longo da altitude em termos de composição de gases e distribuição de tamanho de partículas é considerado como fator da não aceleração do sensoriamento remoto aplicado à poluição do ar, quando comparado com outros campos onde já se encontra quase totalmente desenvolvido.
- b) A verdade terrestre disponível no presente, no que concerne a poluição do ar para a área da Grande São Paulo, são dados de 24(vinte e quatro) horas para material particulado e dióxido de enxofre, incompatíveis com a calibração de qualquer sistema mesmo que o problema de conhecimento do que se passa ao longo da altura fosse desprezado.
- c) Em adendo ao item b, o número de informações disponíveis é pequeno (13 estações para SO_2 e MP é apenas 1 para CO) quando se pretende sub-dividir uma área de 8.053 km^2 . Não tendo sido aplicado o critério de graticulamento e sim o de proteção à saúde pública para a localização das estações medidoras de qualidade do ar, é lícito que esta situação se apresente.
- d) Na opinião de Consultor Internacional ligado à modelagem para estabelecimento de Regiões de Controle de Qualidade do Ar (Dr. R.I. Larsen - U.S.E.P.A.) dificil

mente existirão grandes sub-divisões na área da Grande São Paulo.

Para não deixar de incluir no raciocínio das considerações o sistema de monitoramento automático que estará operando na Grande São Paulo em 1979 e que praticamente eliminará o problema da verdade terrestre, passamos a considerar:

- e) Dados de alcance meteorológico quase instantâneo do tipo radiação refletida, absorvida, incidente e ocorrência de outros poluentes do ar que incidam na mesma faixa do espectro à luz do conhecimento do comportamento meteorológico médio qualitativo e quantitativo do clima da área sensoreada, são indispensáveis e não totalmente disponíveis para área da Grande São Paulo.
- f) Mesmo no caso em que se procedesse a um contrato do tipo "Turn Key Job" seria indispensável a constituição de uma equipe de nível superior, com pessoal especializado nas matérias envolvidas no processo de sensoramento, para que uma supervisão, ainda que pequena, pudesse ser realizada sobre a qualidade dos serviços da contratada. A formação de tal equipe seria por certo onerosa.
- g) Da literatura e de contatos mantidos com empresas que já vem fornecendo serviços de sensoreamento remoto a outros campos de atividades, depreende-se que embora o intento seja considerado possível, a CETESB arcaria com o custo do desenvolvimento da técnica específica para cada poluente a ser sensoreado. Isto equivale a dizer que pagaremos para o desenvolvimento de um "know how", independentemente dos custos dos serviços propriamente ditos.
- h) Como sabemos, o método de sensoreamento é contínuo na sua aplicação sobre um trecho da superfície, mas discreto em relação ao tempo, isto é, a cada passada do satélite ou do avião, recolhe-se o material tanto na fase de calibração como na do serviço propriamente dito. Isto implica que sendo a poluição do ar de comportamento

estacional pronunciado na região da Grande São Paulo, um grande volume de informações será necessário para o conhecimento das possíveis sub-bacias aéreas existentes. O custo para cada poluente, para cada 1200 km², é de aproximadamente Cr\$ 500.000,00 segundo informações da firma EQUIPLAN, constantes do anexo 1.

Face aos n itens acima apresentados, concluímos pela impossibilidade prática de nos utilizarmos de sensoriamento remoto baseado em plataformas aéreas ou espaciais, no momento, para a determinação de sub-bacias aéreas na Grande São Paulo. Em contrapartida, acreditamos na necessidade técnica de descentralizar as atividades de controle da poluição do ar nessa região e propomos que tal tarefa seja levada a cabo, segundo os enfoques abaixo:

1. Tornar operacional o sistema de inventário das fontes de poluição do ar existente, dinamizando-o de forma a permitir a sua atualização imediata e constante em qualquer ponto do futuro através da atividade programada de levantamentos de campo e pela introdução de mecanismos de retro alimentação do sistema preventivo.
2. Introduzir condições de graticulamento sobre referencial móvel em qualquer ponto da área inventariada a fim de conhecer a densidade superficial de concentração de dióxido de enxofre ou material particulado.
3. Após cumprir um programa de correção das categorias de estabilidade para a dispersão dos poluentes atmosféricos no que concerne às particularidades da nossa latitude, tornar operacional um dos modelos de dispersão de largo termo tipo AQDM ou CDM mediante a vinda de um consultor especializado no momento que se considere estarmos prontos para a aplicação. Calibrar o modelo e opera-lo em base anual visando o traçado de isolinhas de concentração e daí, por arbitrio da maioria, estabelecer as fronteiras desejadas para as sub-regiões.
4. Acreditamos que a utilização paralela de sensoriamento remoto de superfície pela técnica do radar laser, obti

da pela aquisição de uma ou duas unidades móveis de equipamentos do tipo dos descritos no anexo 2, irá acelerar e facilitar sobremaneira os passos necessários à consolidação da proposição.

Para melhor fundamentar o presente enfoque será apresentado um segundo relatório parcial contendo observações sobre os serviços de sensoriamento disponíveis no INPE, não referentes à detecção de poluentes na atmosfera, mas de grande valia no planejamento das ações da CETESB.

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA

7. BIBLIOGRAFIA

ALMOVIST, Ebbe - Remote sensing of gaseous air pollution.
Journal AMBIO, 1974. vol. 3 nº 5. p. 168 - 76.

BARNES, C.M. et alli. Applications of remote sensing in
public health. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM IN REMOTE
SENSING OF ENVIRONMENTAL, Michigan, Out. 2-6, 1972.
Proceedings. Ann Arbor, ERIM, 1972. p.677 - 84.

CRANE, R.B. - Preprocessing techiques to reduce atmospheric
and sensor variability in multispectral scanner data.
In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF
ENVIRONMENTAL, 7, Michigan, 1971. Proceedings. Ann
Arbor, University Michigan. vol. I, p. 1345 - 55.

GRIGGS, M. et alli. Remote sensing of air pollution in
urban atmospheric. In: INTERNATIONAL CLEAN AIR CONGRESS,
2, Washington, Dec. 6 - 11, 1970. Proceedings
New York, Academic Press, 1971. p. 500 - 2.

GRIGGS, M. - Determination of the aerosol content in the
atmosphere from ERTS-1 DATA. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM
IN REMOTE SENSING FO ENVIRONMENTAL, Michigan, 1974.
Proceedings. Ann Arbor, ERIM, 1974. p. 471 - 81.

HIRSCHFELD, Thomas et alli. Remote spectroscopic analysis
of ppm-level air pollutants by Raman spectroscopy, 1973.
p. 38 - 40.

MANUAL REMOTE SENSING, 1975 - American Soc. of Photogrammetry
Ed. Robert Reeves. p. 1407 - 11.

MC LELLAN, A. - Atmospheric pollution detection by satellite remote sensing. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENTAL, 7, Michigan, 1971. Proceedings. Ann Arbor, University Michigan. vol. I, p. 563 - 84.

MAUGH, Thomas H. - Air pollution instrumentation: A trend toward physical methods. Journal Science, Set. 1972.

ZAROMB, S. et alli. LIDAR spectroscopy system for the remote sensing of gaseous air pollutants. In: INTERNATIONAL CLEAN AIR CONGRESS, 2, Washington, Dec. 6 - 11, 1970. Proceedings. New York, Academic Press, 1971. p. 503 - 8.

ZAVOS, B. - Application of remote sensing to the world weather watch and the global atmospheric research program. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENTAL, 7, Michigan, 1971. Proceedings. Ann Arbor, University Michigan. vol. I, p. 207 - 19.

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA

ANEXO I

ANEXO I

RELATÓRIO SOBRE O PROBLEMA DE DETECÇÃO DE BACIAS DE POLUIÇÃO ATRAVÉS DA ANÁLISE DE FOTOS OBTIDAS POR SENSOREAMENTO REMOTO

1. Não existe nos satélites - que fazem o trabalho de sensoramento remoto - equipamentos capazes de detectar - diretamente - o SO_2 existente na atmosfera, pois este gás não apresenta condições favoráveis de reflexão de luz;
2. No entanto, é possível se estabelecer a correlação entre concentração de SO_2 e de outras partículas sulfurosas detectáveis em imagem (por reflexão de luz), para cuja detecção os satélites estão aparelhados;
3. Entre os sistemas de interpretação de imagens mais conhecidos, encontra-se o "Landsat Digital Data" (LDA), da empresa Earth Satellite Corp. dos EUA. Outro sistema é o "Telepims" da Matra, capazes de interpretação em tempo real. Acredita-se, no entanto, que a detecção de SO_2 através da correlação indicada no item 2, acima - nunca tenha sido feita;
4. Os sistemas do tipo LDA dão um grau de precisão muito melhor que observações de terra, se a correlação for bem construída. No entanto, as análises finais são muito mais precisas se o trabalho de interpretação de fotos for feito com o conhecimento prévio dos dados colhidos de terra;
5. Seria interessante saber previamente as partículas (e sua quantidade) prováveis no SO_2 das bacias de poluição em São Paulo, ou os prováveis tipos de fontes geradoras deste SO_2 ;
6. Poderia ser feito um teste experimental, num determinado ano, com três observações definidas (ano escolhido de 1973 a 1977), ao custo aproximado de Cr\$ 500.000,00;
7. A obtenção dos dados para alimentar o "SOFTWARE PACCKAGE" é feito por um equipamento de interpretação ótica não

existente no Brasil. Sabe-se que a Matra francesa dispõe desse tipo de equipamento para fornecimento.

Tais equipamentos são capazes de:

- Restituição em "Écran" de TV das imagens,
- Mescla ou projeção alternada de imagens de uma mesma zona, tomadas em tempos diferentes ou por captadores diferentes.
- Restituição em equidensidades coloridas.
- Reconhecimento de formas.
- Difusão dos resultados em tempo real.

CETESB - CIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL

ANEXO II

Laser radar tunes in air pollutants

Pollution is just about everywhere, but for organizations trying to do something about it, the hard part is finding out exactly how much there is. Enter Stanford University, which has developed a new kind of laser radar that accurately measures average air pollution over a distance of eight miles or pinpoints the location of a cloud or source of pollution up to two miles away.

The development is attracting the interest of the Environmental Protection Administration, as well as industrial groups such as the electric utility industry, according to physics professor Robert L. Byer, who heads the project at Stanford, which is located in Palo Alto, Calif. The EPA would be able to check pollution coming out of tall smokestacks with equipment on the ground, and that includes keeping tabs on clandestine polluters who might be discharging wastes at night. Among the pollutants that can be detected are sulfur dioxide, freon, carbon dioxide, ethylene, carbon monoxide, and water vapor.

Compared with other laser techniques, such as ultraviolet tunable dye lasers or low-power diode lasers that need a fixed retroreflector, the Stanford system has several advantages, Byer says. It operates in the infrared, where it can detect most of the air pollutants, and it is also safe for eyes. It needs no fixed retroreflector and can operate in daylight. Also, the laser radar is much easier to use than wet-chemistry methods, which rely on air samples.

Problems. To get the system's performance, Stanford turned to on-campus expertise in crystal growing, nonlinear optics, and laser sources to solve two major problems, Byer says. It designed a new kind of neodymium-doped yttrium-aluminum-garnet laser with an unstable resonator to achieve a higher output power of 70 millijoules, 1,000 times better than earlier infrared lasers, he says. To tune it in the infrared range, the designers improved the crystal for better line-width control.

The system operates by firing the laser light at the pollutant molecules and then measuring the absorption in the path along which the light travels as it is reflected back to a 16-inch telescope at the laser. Each pollutant absorbs coherent light at a different frequency within the 1.4-to-4-micrometer range of the infrared laser, and the laser is tuned sequentially to each of the absorption frequencies characteristic of the expected pollutants.

PDP-11 analysis. From the light reflected back to the telescope, the system, built around a PDP-11 minicomputer, analyzes which frequencies are absorbed, gauged against a nonabsorbed reference frequency. For sulphur dioxide, for example, concentrations can be determined to 1 part in 1 million over a 1-kilometer path; for methane, 1 part per billion over a 100-meter path.

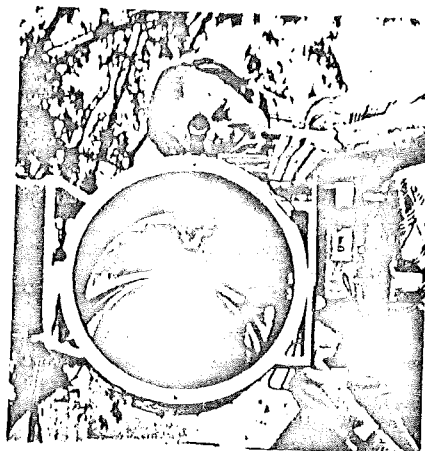
Topographic reflections. Instead of special reflectors, the system relies on reflections from "topographic targets like grass, hillsides, buildings, or aerosols suspended in the atmosphere," explains Max Garbuny, a consultant at Westinghouse Electric Co.'s Research and Development Center, Pittsburgh. He asserts that Westinghouse made the first experiments on this "differential absorption spectroscopy" using an infrared tunable laser in 1973. Westinghouse has worked closely with Stanford, he points out, and is in putting together a similar laser system for the National Aeronautics and Space Administration's Langley Research Center.

Stanford's system is tuned by rotating lithium-niobate crystals in front of the neodymium-doped YAG 1.06- μ m pump source. The reflected light is received by a liquid-nitrogen-cooled standard IR photodetector at the telescope. After preamplification, the signals are fed to a Computer Laboratories Inc. 12-bit, 5-megahertz analog-to-digital converter, and the digital data goes to a 1,024-by-16-bit, 10-megahertz discrete buffer memory.

The tunable laser is going to be offered commercially by Quanta-Ray, Mountain View, Calif., and the high-speed buffer memory is due out from Total Technology Inc., Santa Clara, Calif., according to Byer.

Stanford is receiving support from the National Science Foundation and the utility industries' Electric Power Research Institute and it expects the EPA to support further measurement studies. Next, Byer says, his group will work on a laser radar to spot carcinogens being emitted from coal-burning plants. □

Electronics review



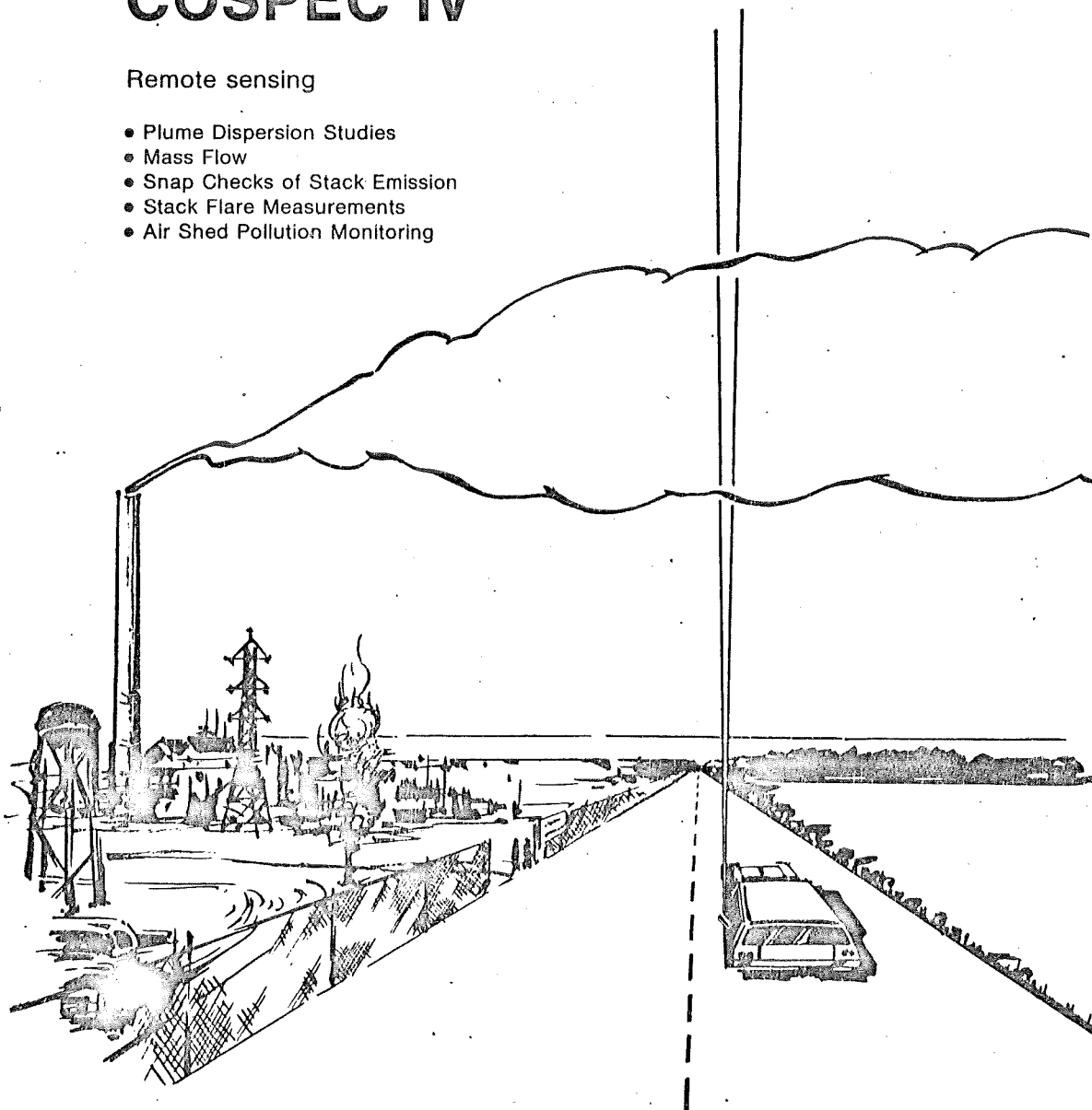
Taking aim. Laser radar developed at Stanford relies on 16-inch telescope, infrared-light source to detect pollutants in the air.



COSPEC IV

Remote sensing

- Plume Dispersion Studies
- Mass Flow
- Snap Checks of Stack Emission
- Stack Flare Measurements
- Air Shed Pollution Monitoring



INTRODUCTION

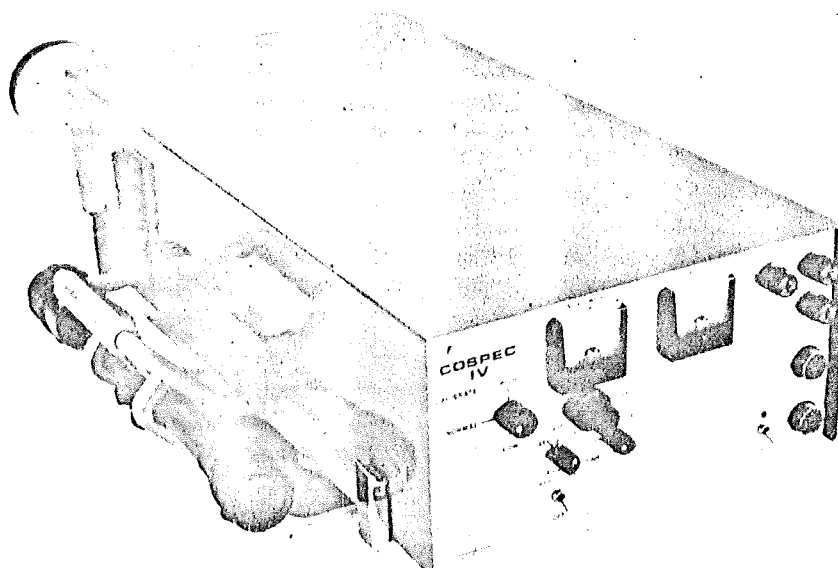
The COSPEC IV provides a unique solution to three of the basic problems of pollution monitoring, namely; how much pollutant is passing overhead? where has it come from? and where is it going?

In-stack monitors are expensive to put on every stack, difficult to move from stack to stack, useless on stacks with flare burners and give no information of subsequent dispersion of the plume.

Ambient monitors in fixed ground locations are outside the plume most of the time or require an extensive network to give adequate representative data. Mobile groundbased ambient monitors have difficulty locating areas of fumigation and in relating the measurements made to the plume characteristics.

Airborne ambient monitor sampling may also have difficulty locating an invisible plume. The time required to sample one complete cross-section is sufficient for the plume position and characteristics to change dramatically. It also provides time for an offending polluter to reduce emissions below legal limits. Total air shed measurements are not possible with ambient samplers.

The COSPEC by contrast, on an airborne or groundbased mobile platform gives a synoptic horizontal profile of the total SO_2 or NO_2 cross-section of a plume or air shed from one pass with the instrument. This, with wind velocity measurements, provides the data required.



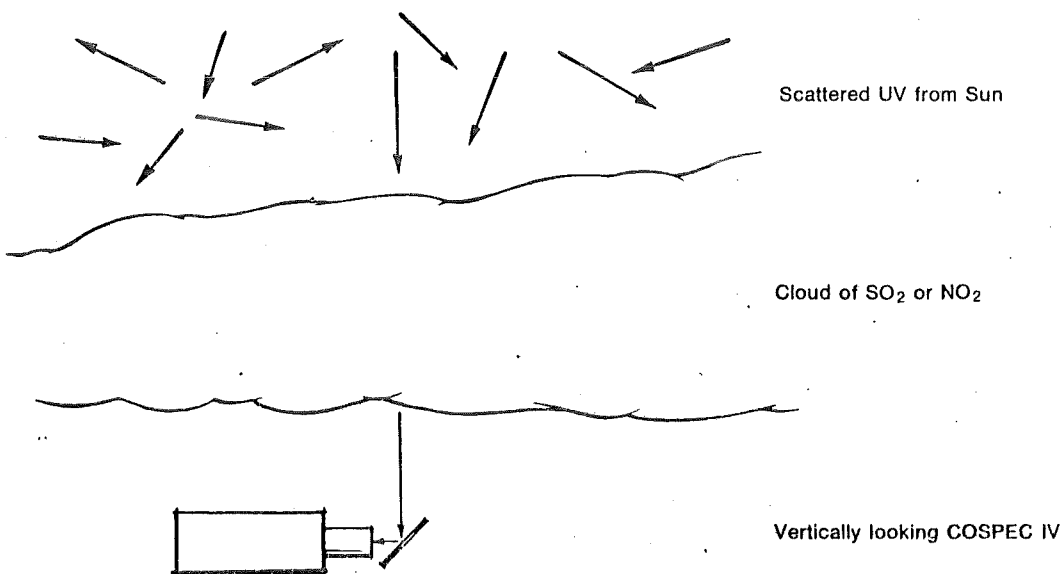
The SO_2 and NO_2 measurements are analogue outputs directly recordable on strip chart recorders. Thus immediate interpretation gives vertical burden of gas, the mass cross section, and O_3 . When the wind velocity is added, mass flow is obtainable directly in the field. All of this information may be collected and processed with a simple inexpensive installation in any vehicle.

The analogue records can be digitized for more sophisticated data processing and many COSPEC installations have complete digital data loggers. Such systems are generally used in dedicated mobile installations in combination with other sensors and navigational equipment.

PRINCIPLE OF OPERATION

Near ultra-violet and blue light from solar radiation is scattered downwards from high altitudes giving the characteristic blue sky. In addition to the solar produced Fraunhofer absorption lines, gases in the atmosphere absorb selectively. SO_2 and NO_2 have particularly characteristic absorption spectra in the blue and near ultra-violet, hence by spectroscopic measurements in this special absorption region, SO_2 and NO_2 can be measured remotely.

The COSPEC when looking vertically along a very narrow pencil beam correlates the received spectrum against a stored spectrum of SO_2 or NO_2 physically etched on a disc. This enables the instrument to measure the total burden of SO_2 or NO_2 along the line of sight, independently of other potentially interfering gases. Changes in ambient light levels or changes in the spectrum of scattered radiation as from blue sky to cloud or mid-day to evening are monitored and compensated for in the instrument.



DEFINITIONS, UNITS & CONVERSION FACTORS

The COSPEC measures the total burden of SO_2 or NO_2 along the line of sight. In the vertically upward looking mode, this is the total vertical burden. The mean concentration in a plume is the total burden divided by the vertical thickness of the plume. If the concentration is in ppm, the vertical burden is in $\text{ppm}\cdot\text{m}$. If the concentration is in $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, the vertical burden is in $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$. The instrument output is calibrated in $\text{ppm}\cdot\text{m}$.

Definitions

ppm = parts per million = number of cubic metres of target gas in one million cubic metres of air.

$\text{ppm}\cdot\text{m}$ = parts per million x metres = 10^6 times the number of cubic metres of target gas in a column one square metre in cross section and extending the length of the line of sight or, in the vertical looking mode, up to the cloud base or to above the exchange layer.

$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ = micrograms of target gas in one cubic metre.

$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ = micrograms of target gas in a column one square metre in cross section and extending the length of the line of sight or in the total vertical column.

Conversion Factors

For measurements made at 20°C

SO_2 concentration in $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3} \approx 2.7 \times 10^3 \times \text{ppm}$

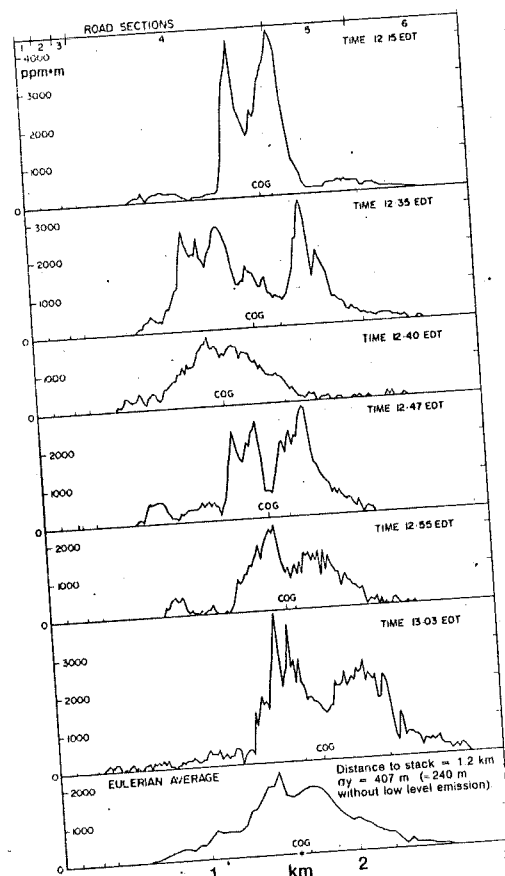
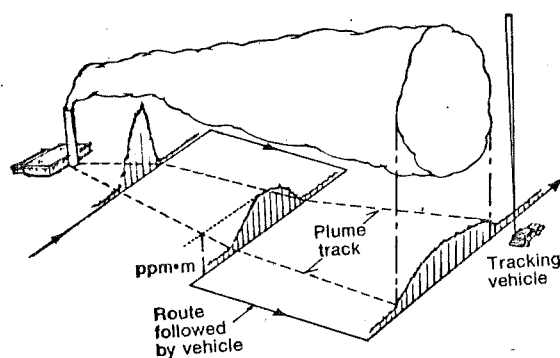
NO_2 concentration in $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3} \approx 1.9 \times 10^3 \times \text{ppm}$

CALIBRATION

Cells containing gas burdens of the order of 300 ppm•m and 1000 ppm•m contained within the instrument may be introduced into the optical path singly or together. In addition, a full calibration curve is provided for each instrument. The sensitivity may be verified at any time by interposing the calibration cells into the light beam. In plume traversing, this is normally done before and after each traverse.

PLUME DISPERSION STUDIES

The unique synoptic detail provided by a COSPEC IV permits the study of bifurcation of the plume, asymmetry, long distance transportation, small scale irregularities together with plume spreading, mass flow and other parameters necessary for an understanding of plume dispersion but not available from other instrumentation. Plume geometry can be measured using the COSPEC in the vertical looking mode, making mobile traverses under the plume. Plume tracking, plume location and tracing back to source can be undertaken, along with plume rise height and buoyancy measurements. Plume tracking over considerable distances is possible. The rate of depletion of SO_2 can be followed by measuring the variation of SO_2 mass flux downwind with time and distance.



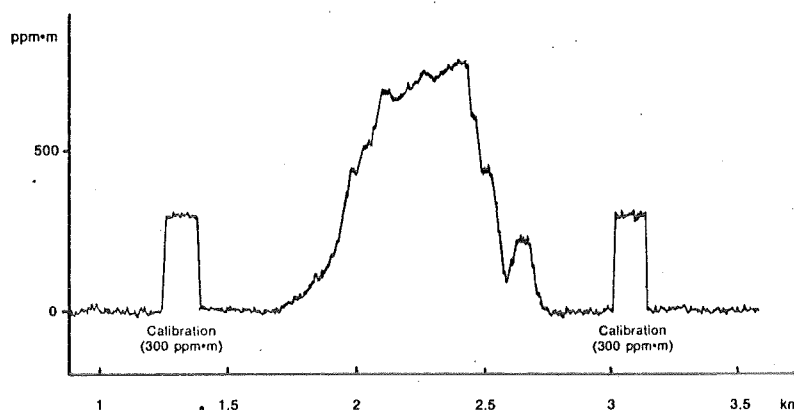
A family of profiles showing intermittent plume bifurcation and plume meander.*

*M. Millan, 1976.

MASS FLOW

Method

One or more traverses beneath the plume and at right angles to it are made with the COSPEC. Base line and calibration readings are taken either side of the plume to establish the background level and verify the sensitivity. The record looks like this:—



The area under the curve is the total SO_2 content in a plume cross section. (In this example it is about $600 \times 700 \text{ ppm}\cdot\text{m}^2 = 4.2 \times 10^5 \text{ ppm}\cdot\text{m}^2 = 1.15 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}$).

The wind velocity may be measured by any convenient method. One simple way is to track a balloon of known rate of rise with a theodolite.

The wind velocity times the SO_2 cross section gives the mass flow. In this example, if the wind velocity is $15 \text{ m}\cdot\text{sec}^{-1}$, the mass flow will be $1.15 \times 15 = 17.2 \text{ kg}\cdot\text{sec}^{-1}$ of SO_2 .

Accuracy

The COSPEC IV calibration cells are accurate to within $\pm 2\%$. The base line noise is better than 5 $\text{ppm}\cdot\text{m}$ in normal daylight. If the distance measurement is better than 5% and integration errors in calculating the area under the curve are minimized, the SO_2 cross section will be accurate and reproducible to within 5%.

The mass flow determination will be limited in its accuracy by the wind speed measurement. Accurate tracking of a balloon should give values of wind speed to within 15%, which may, therefore, be taken as the overall accuracy.

Snap Checks

To traverse a plume, even by land vehicle would typically take no more than one or two minutes. This one pass gives all the SO_2 data for a stack emission calculation. No offender, even if he saw the COSPEC IV mobile laboratory coming could adjust the factory operating conditions to comply with legislation before the measurement was completed. The wind speed can be measured after the SO_2 data is collected.

Stack Flare Measurements

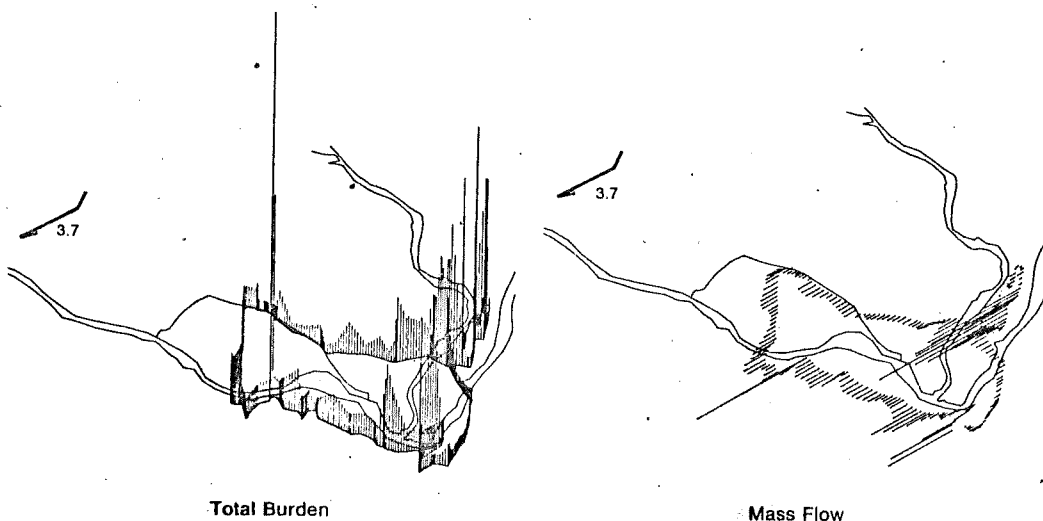
Total SO_2 or NO_2 emission from stack flares is measured with a COSPEC IV as simply as the emission from any other stack. The traverses are made up to one or two kilometres downwind of the stack where the plume behaves as a normal gaseous plume.

AIR SHED MONITORING

A complete horizontal profile around any complex or larger air shed gives a full perimeter profile of total vertical burden. Incoming and outgoing plumes are readily identified.

Combined with wind velocity measurements, the data give the total air shed mass flux of SO_2 . Measurements of this nature have enabled some States to trace plumes of pollution crossing their borders to towns and industrial complexes up-wind in neighboring States. Furthermore, this technique allows individual sites to check their emissions and separate their own emissions from the contributions entering their area from neighborhood sources. This remote sensing perimeter monitoring is unique to COSPEC.

Verification of air pollution mathematical models is extremely difficult and expensive. Source Inventory Surveys, backed by an extensive network of ambient monitors have been used in the past. The COSPEC provides complete vertical burden measurements in real time from mobile platforms thus enabling critical soundings of the airshed, and hence true isopleths of SO_2 and NO_2 to be obtained to validate the model. Large area coverage in short time frames is possible so that the model is validated under a static meteorological condition. Mobile measurements up to 60 m.p.h. are regularly made.



Sulfur Dioxide Air Shed profile around Metropolitan Region.

COSPEC USERS

The COSPEC is in use in many countries throughout the world. There are some 60 COSPECS operational in North America, Europe, the Orient and Australasia.

COSPECS are used by Government, National & State Environmental Protection Agencies; Monitoring and Regulating Agencies; Meteorological Units, Weather Bureaus; Electric Power Utilities; Atmospheric Research Institutes and Universities; Industrial Concerns; Environmental Service Contractors and Consultants.

TECHNICAL DATA

FEATURES

- Rugged lightweight construction
- High stability components
- High noise rejection
- Low diurnal drift characteristics
- Low power consumption
- Vertical or long path modes
- Variable integration times
- Ease of installation into mobile monitoring systems
- High sensitivity and specificity to SO₂ and NO₂.
- Simplicity in operation and calibration
- Full experienced technical back-up
- Evaluated by U.S. Environmental Protection Agency (report # EPA-600/Z-75-077, October 1976)
- Field proven world wide (users list available on request)

SPECIFICATIONS

- | | |
|---|---|
| 1. Target Gases | SO ₂ or NO ₂ |
| 2. Light Source | Skylight |
| 3. Operational Modes | Vertical look or long path |
| 4. Sensitivity | SO ₂ : 1 ppm•m ; NO ₂ : 1 ppm•m |
| 5. Dynamic Range | Normally 1 - 1000 ppm•m; larger ranges on request. |
| 6. Base Line Temperature Stability | 1 ppm•m/°C |
| 7. Operating Temperature Range | 0 - 50°C |
| 8. Diurnal Sensitivity Change | SO ₂ ±6% ; NO ₂ : ±14% |
| 9. Response Time (Integration Time) | 1 - 32 seconds in 5 switch selectable steps |
| 10. Output | Nominally: 0 - 10V; Signal Output Impedance - 10KΩ |
| | AGC Output Impedance - 220Ω |
| 11. Calibration | Two fused silica cells of known SO ₂ (or NO ₂) burden, Internal reference quartz-iodine light, micrometer screw grating adjuster |
| 12. Optical System | Direct reading Cassegrain telescope |
| 13. Field of View | 10 mR x 3 mR |
| 14. Spectrometer | 0.25 m f/4 Ebert-Fastie |
| 15. Power Requirements | 12V DC 8W or 115/230V AC 23W |
| 16. Weights and Dimensions - Instrument | 19.3 kg; 78.1 x 37.5 x 22.2 cm |
| - Carrying case | 20.5 kg; 101.6 x 53.3 x 28' cm |

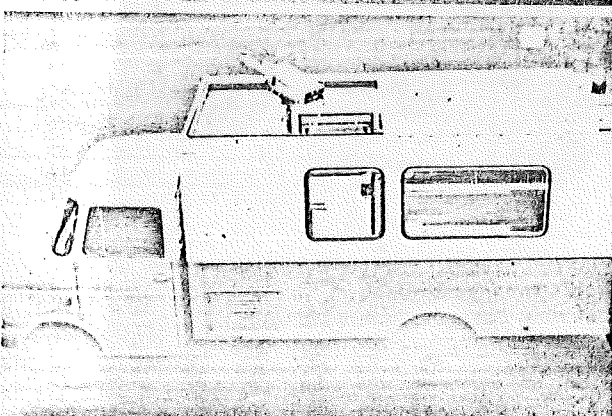
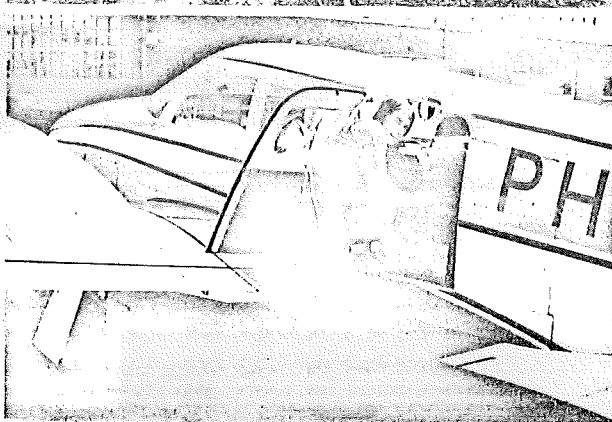
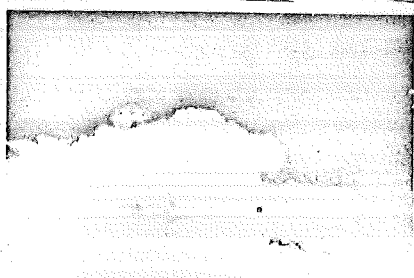
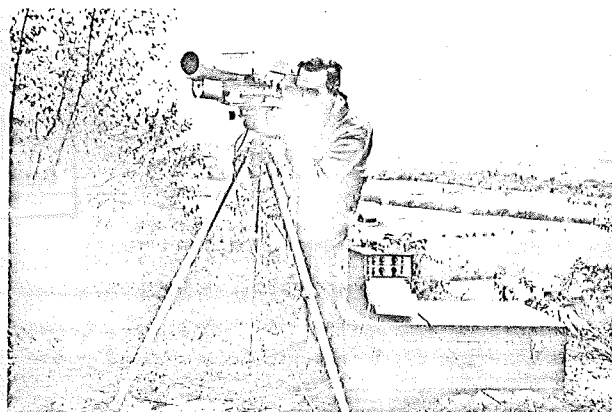
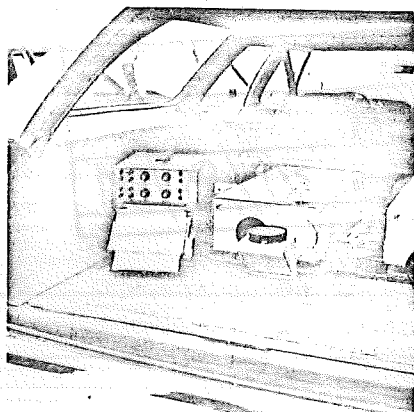
OPTIONS AND ACCESSORIES

- 28V DC Operating
- Field conversion kit from SO₂ to NO₂ or NO₂ to SO₂
- Major Spare Parts kit
- Analogue Recorder
- Maxwellian Cassegrain Telescope, field of view 21 mR
- High concentration SO₂ Burden Correlation Disc Assembly
- Movable 45° Mirror for Plane Scanning
- Tripod with tilt and/or pan head
- Man-portable harness system for field operation
- Vibration insulators (MIL-STD 810) for helicopter installation
- Technical training available
- Airborne installation
- Contract surveys and test programs available

TYPICAL SYSTEM COMPONENTS

- Electro-optical Console
- Vertical-look Attachment
- Internal Lamp Reference Source
- Calibration Cells
- Carrying Case
- Maintenance Kit
- Operators Manual

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA



For further details please contact:

BARRINGER RESEARCH LIMITED,

304 Carlingview Drive,
Metropolitan Toronto,
Rexdale, Ontario,
Canada M9W 5G2
Telex: 06-989-183
Telephone: (416) 675-3870

BARRINGER RESEARCH INC.

1536 Cole Blvd.,
Suite 330,
Golden, Colorado,
U.S.A., 80401
Telex: 45810
Telephone: (303) 232-8811

BIBLIOTECA	
DEVOLVER EM	DEVOLVER EM

Data requis.: 20/8/91
Endereço:
Telefone:
Data devolução: 20/8/91

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA
DE SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA



FICHA DE EMPRÉSTIMO I

8700/C338d(RCET)/002185

12856

Determinar sub-bacias aereas para a Regiao...

DATA

REGISTRO

EMPRESTADO A

Se este livro não for devolvido dentro
do prazo regulamentar, o leitor ficará sujeito
às penalidades do regulamento da biblioteca.

O prazo poderá ser prorrogado se
não houver pedido para este livro.