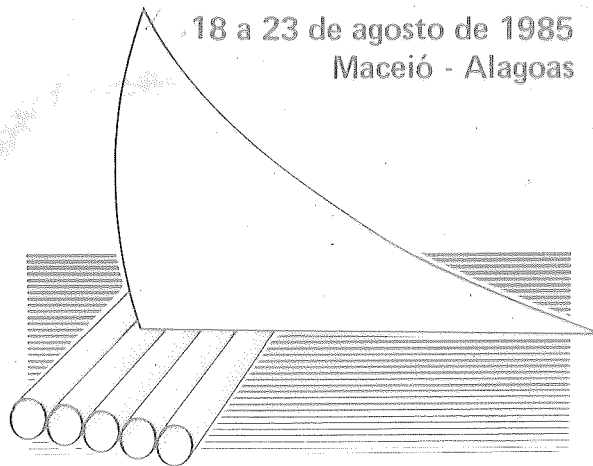


18 a 23 de agosto de 1985  
Maceió - Alagoas



ABES — ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA

# 13<sup>o</sup> Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária Ambiental

ARQUIVO TÉCNICO

103

## UM ESTUDO TEÓRICO E OBSERVACIONAL DO FLUXO DO VENTO EM CUBATÃO

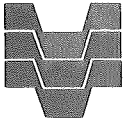
8402  
OL4e  
014321



04495

014321





**CETESB**

**Diretor Presidente:** Werner Eugênio Zulauf. **Diretor Financeiro:** Paulo Bezerril Junior. **Diretor Administrativo:** Antonio Alves de Almeida. **Diretor de Engenharia:** Nelson Mansour Nabhan. **Diretor de Controle:** Nelson Vieira de Vasconcelos. **Diretor de Planejamento Ambiental:** Fredmar Corrêa. **Diretor de Pesquisa:** Samuel Murgel Branco.

#### ESCRITÓRIO CENTRAL

Av. Prof. Frederico Hermann Jr., 345 - Alto de Pinheiros  
São Paulo - CEP 05459 - Telefone: (DDD 011) 210-1100  
Telex (011) 222-46 - CTS - BR

#### UNIDADES REGIONAIS E ESCRITÓRIOS

##### ● Estado de São Paulo

**Araçatuba:** Rua Silva Jardim, 906  
Fone: (0186) 23.6838 - CEP 16.100

**Araraquara:** Av. Espanha, 188  
Fone (0162) 32.2211 - CEP 14.800

**Bauru:** Rua Gerson França, 11-60  
Fone: (0142) 23.8466 - CEP 17.100

**Campinas:** Rua São Carlos, 287  
Fone: (0192) 32.3366 - CEP 13.100

**Cubatão:** Rua Assembléia de Deus, 39 Salas 405 e 407  
Fone: (0132) 61.1660 e 611301 - CEP 11.500

**Franca:** Av. Champagnat, 1808  
Fone: (016) 723.9700 - CEP 14.400

**Guarulhos:** Rua Brás Cubas, 95  
Fone: (011) 209.8413 - CEP 07.000

**Ipiranga:** Rua Caramuru, 573  
Fone: (011) 275.7102 - CEP 04138

**Marília:** Av. Sampaio Vidal, 106  
Fone: (0144) 33.8879, 33.8521, 33.8733 - CEP 17.500

**Mogi das Cruzes:** Rua Prof. Floriano de Melo, 330  
Fone: (011) 469.3490 - CEP 08.700

**Novo Horizonte:** Av. da Saudade, s/n  
Fone: (0175) 42.1950 - CEP 14.960

**Osasco:** Rua Nathanael Titto Salmon, 268  
Fone: (011) 801.9736 - CEP 06.000

**Piracicaba:** Rua Moraes Barros, 264  
Fone: (0194) 34.5132 - CEP 13.400

**Presidente Prudente:** Rua Siqueira Campos, 699  
Fone: (0182) 22.1044 - CEP: 19.100

**Ribeirão Preto:** Rua Amador Bueno, 1294/1302  
Fone: (016) 634.6044, 634.4536, 625.9500  
- CEP 14.100

**Santana:** Av. Gal. Ataliba Leonel, 379  
Fone: (011) 267.7562 - CEP 02.033

**Santos:** Rua Itapura de Miranda, 158  
Fone: (0132) 33.7127, 32.9550 - CEP 11.100

**Santo André:** Rua Juquiá, 555  
Fone: (011) 444.3519, 444.5767 - CEP.: 09.000

**São Bernardo do Campo:** Av. Brig. Faria Lima, 360  
Fone: (011) 443.4188 - CEP 09700

**Sorocaba:** Av. Dr. Eugênio Salerno, 157  
Fone: (0152) 31.4877, 312065 - CEP 12.100

**Tatuapé:** Rua Henrique Setorio, 221  
Fone: (011) 217.7505 - CEP 03.066

**Taubaté:** Rua Itambé, 38  
Fone: (0122) 32.4829, 324900, 32.4867 - CEP 12.100

##### ● Outros Estados

###### Florianópolis - SC

Rua João Pinto, 6 - 2º andar - s/203  
Fone: (0482) 22.7690 - CEP 88.000

###### Recife - PE

Rua das Fronteiras, 160  
Fone: (081) 222.1013 - CEP 50.000

8402  
DL4e  
014321

# UM ESTUDO TEÓRICO E OBSERVACIONAL DO FLUXO DO VENTO EM CUBATÃO

Silvio de Oliveira  
*Meteorologista*

Maria Angélica L. A. Sagula  
*Geógrafa*

GERÊNCIA DE PESQUISAS DE AR E RUÍDO



## INTRODUÇÃO

No estudo do transporte da poluição dentro da camada limite superficial atmosférica, o vento é um dos parâmetros meteorológicos mais importante para se determinar a distribuição da poluição do ar. Na camada limite de superfície plana, o movimento médio do ar pode ser determinado com boa precisão pelas forças da pressão, Coriolis, atrito e flutuabilidade. No entanto, em regiões de terreno irregular o fluxo é complexo e resulta no escoamento do vento bastante caótico. Lykosov and Gutman (1972).

Em regiões costeiras, o fluxo de ar e a sua estratificação mudam significativamente devido as variações bruscas da temperatura superficial e da rugosidade entre o continente e o oceano. Adicione-se também a ocorrência das brisas marítimas e terrestre, quando o vento geostrofico é fraco, tal situação causa sérios problemas de poluição do ar (Ozoe et alii, (1983)).

Observações realizadas nos trabalhos de Fisher (1960), Staley (1957) e outros indicaram que a topografia é essencialmente crucial para determinar a trajetória individual de parcelas de poluente.

Considerando estes fatores físicos, a topografia de Cubatão domina o microclima local o qual é totalmente diferenciado do que se observa no prolongamento de toda Baixada. Este microclima reúne um conjunto de condições micrometeorológicas desfavoráveis à dispersão de poluentes em certas épocas do ano, principalmente no Inverno.

Dada a expansão industrial cada vez maior e o crescente aumento da carga poluidora em Cubatão, o órgão ambiental do Estado, a CETESB, em 1984, implantou um rigoroso programa especial de controle da poluição, que reuniu diversos projetos objetivando de modo racional, reduzir a emissão de poluentes e conseqüentemente minimizar os efeitos da degradação ambiental, tendo como meta principal a proteção da saúde da população.

Dentro deste programa foi criado o "estado de Vigilância Permanente" às ações de controle de Cubatão da qual, a meteorologia assume um papel importante e decisivo nas declarações dos estados de "atenção", "alerta" e "emergência". Desencadeou-se então uma série de estu-

CLASS	8402
A	024
FIG. NO	14324

dos de vários parâmetros meteorológicos na região, onde entre eles, o vento mereceu maior atenção, não só por se dispor de uma razoável série temporal de dados, mas por ser o responsável direto pelo transporte, dispersão e a acumulação dos poluentes.

Portanto, o propósito deste trabalho é mostrar o comportamento do fluxo do vento dentro da bacia de Cubatão, o efeito dos sistemas sinóticos de larga e pequena escala, sobre a circulação local. O resultado deste estudo fornecerá insumos básicos às ações a serem desencadeadas pelo controle nos eventos de episódios agudos de poluição do ar.

#### CONFIGURAÇÃO DO TERRENO E REDE DE OBSERVAÇÕES

Cubatão está localizado no Estado de São Paulo, compreendido entre o sistema de coordenadas de 23°50' e 24' de latitude sul e 46°20' e 30' de longitude oeste. A região é delimitada entre a serra do mar e o litoral.

A serra do mar no trecho do município alcança altitudes que atingem à 1000 metros; sendo que a área urbanizada e a industrializada se situam numa planície onde se encontram alguns morros cujas altitudes em média não ultrapassam a 200m.

O município está a 57 quilômetros da Capital no planalto e a 16km da cidade de Santos, com uma área aproximada de 160 km<sup>2</sup>, Figura 1.

A Figura 1 mostra o quão é complexa a topografia do local e que em diversas épocas do ano propicia condições desfavoráveis à dispersão de poluentes.

Em meio a estas condições encontram-se ali instaladas 25 indústrias, onde se incluem uma siderúrgica, uma refinaria petroquímica, indústrias químicas e de fertilizantes. Para monitorar a qualidade do ar foram instaladas três estações de medição automática fixas com transmissão remota para São Paulo nos seguintes pontos: Vila Nova (VN), Cubatão Residencial (CR) e na Vila Parisi (VP). E uma estação móvel o laboratório volante no Vale do Mogi (VM).

As estações possuem monitores de qualidade do ar e de meteorologia, vide Tabela I.

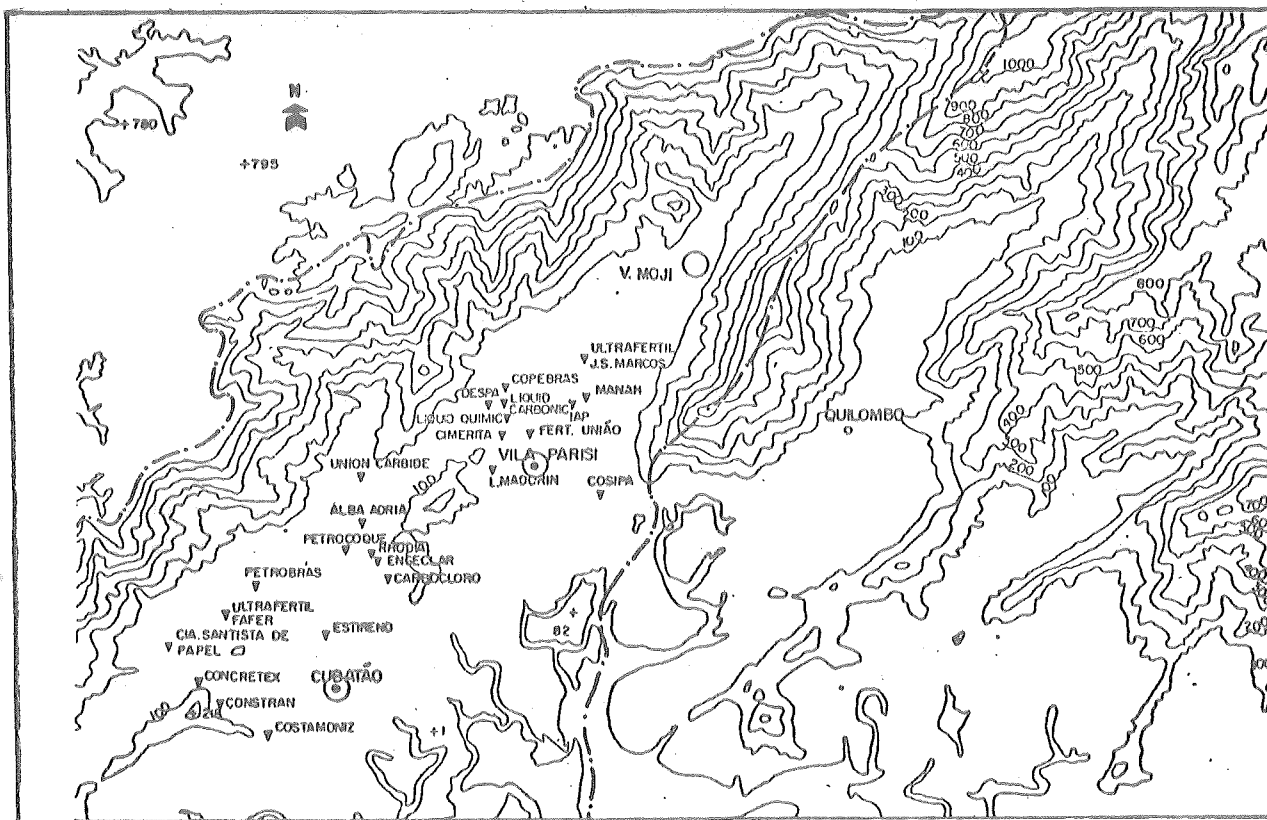


FIGURA 1 - Mapa esquemático da região de Cubatão mostrando a localização das indústrias e das estações medidoras

TABELA 1 - ESTAÇÕES DE AMOSTRAGEM DE QUALIDADE DO AR E METEOROLOGIA, CUBATÃO 1984

PARÂMETROS ESTAÇÕES	METEOROLOGIA				POLUENTES						
	V (m/s)	T (°)	U (%)	P (mm)	SO <sub>2</sub>	MP	O <sub>3</sub>	CH <sub>4</sub>	CO	NMHC	NO <sub>x</sub>
Vila Nova (23)	-	-	-	-	X	X	X	-	-	X	-
Cubatão Residencial (24)	X	X	X	X	X	X	X	-	X	-	X
Vila Parisi (25)	X	X	-	X	X	X	-	-	-	-	-
Vale do Mogi (LV)	X	X	X	X	X	X	X	-	X	-	X
Vale do Quilombo (LV)											

#### DADOS

Neste estudo selecionou-se os dados dos meses de inverno de maio a agosto referente ao período de 1981 a 1983.

Estes dados são medidos a cada minuto, enviados remotamente para a central do sistema telemétrico e no final de cada hora imprime um relatório. Para complementação da análise, usou-se dados dos laboratórios volante instalados no Vale do Mogi e do Quilombo.

#### MÉTODO

Calculou-se as médias vetoriais e escalares e o vetor resultante do vento médio. O método de cálculo estatístico utilizado foi o desenvolvido por Brooks e Carruthers (1953), através do conjunto de equações:

$$\text{velocidade média, } \bar{S} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i}{N} \quad (1)$$

$$\text{velor médio, } \bar{V} = \sqrt{\bar{x}^2 + \bar{y}^2} \quad (2)$$

$$\text{onde, } \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \sin(\theta_i)}{N} \quad (3)$$

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \cos(\theta_i)}{N} \quad (4)$$

$S_i$  = Vetor resultante da hora  $i$

$\theta_i$  = ângulo formado entre a direção norte (N) e o vetor velocidade do vento da hora  $i$

$N$  = número total de dados utilizados no cálculo do vetor resultante

$\bar{\theta}$  = arctang ( $\bar{x}/\bar{y}$ ), direção do vento médio

onde,  $0^\circ < \theta < 360^\circ$

O desvio padrão da direção do vento em torno de  $\bar{\theta}$ , expresso em graus é dado pela fórmula abaixo:

$$(\bar{\theta}) = 81 \sqrt{1 - \bar{V}/\bar{S}} \quad (5)$$

A persistência da direção do vento predominante é:

$$D_p = \frac{\bar{V}}{\bar{S}} \cdot 100 (\%) \quad (6)$$

As equações acima foram reunidas num programa de computação para calcular os vetores médios resultantes, o desvio padrão das direções médias do vento e o grau da persistência para cada direção média.

## RESULTADOS

### Análise da circulação do vento médio na Vila Parisi e Cubatão

Do cálculo das componentes horizontais, u e v do vento, elaborou-se os gráficos da Figura 2 (a e b). O objetivo foi identificar o tipo de circulação que influencia o distrito da Vila Parisi (VP) e o Centro de Cubatão (CR). Na VP registra-se o ar canalizado do Vale do Mogi totalmente dominado pela circulação diurna das brisas ascendentes das encostas que dominam nas primeiras horas da manhã.

Neste horário o ar do Vale ainda conserva a temperatura mais baixa do que o ar da planície, a brisa descendente do Vale mantém-se ainda durante a noite e é alimentada pelo retorno das brisas ascendentes da encosta. Este comportamento é ilustrado na Figura 2b, onde as componentes u e v, das 19 às 10 horas, possuem módulos iguais caracterizando o fluxo de norte nordeste soprando do fundo Vale para a Vila Parisi.

Com a continuação do aquecimento a brisa do Vale cessa em breve, e transitoriamente as brisas ascendentes da encosta dominam sozinhas o quadro. Cerca do meio dia, começa a brisa ascendente do Vale que vai alimentar as brisas ascendentes da encosta, mas que por sua vez recebe massas de ar a meio do Vale das correntes de retorno da encosta. É neste horário que surgem a cadeia de nuvens cúmulus indicando o aumento da camada de mistura carreando todos os contaminantes sobre a encosta acima.

Em Cubatão residencial, o vento é afetado pela circulação da montanha e da brisa marítima. No horário das brisas noturna e diurna, existe uma predominância da componente u, perpendicular à serra, e pouca influência da componente v, isto indica o vento de este-nordeste. Durante o dia o vento ascendente domina, devido a combinação forte da brisa marítima e da montanha, sendo ambas componentes de mesmo módulo de intensidades, contribuindo bastante para o transporte e dispersão dos contaminantes através do fluxo de sudoeste Figura 2a.

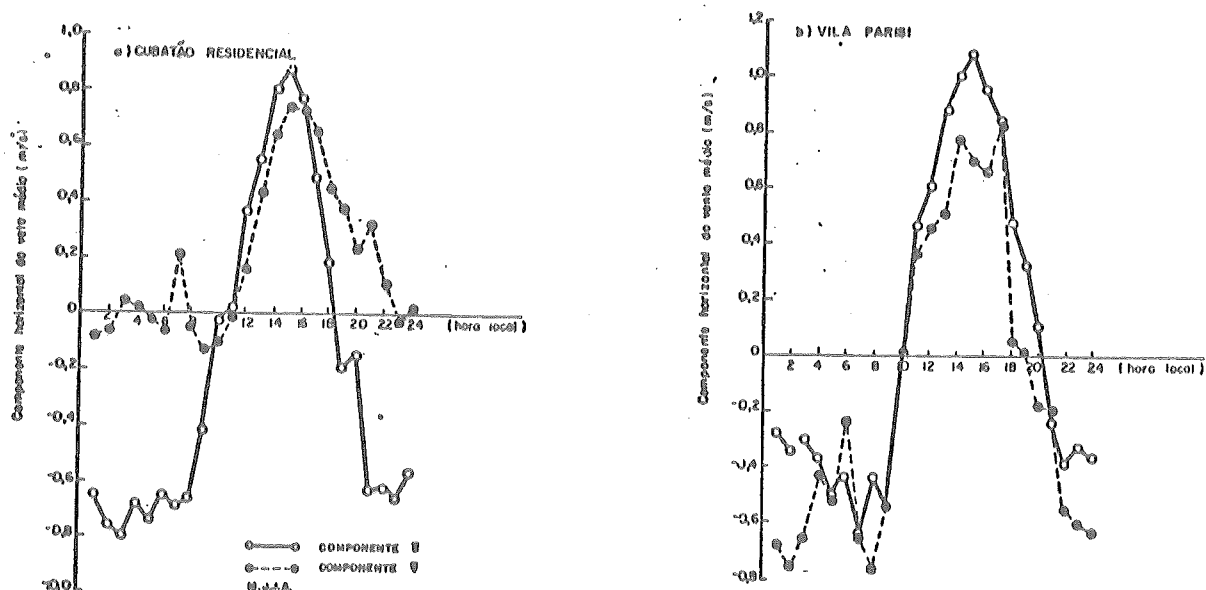


FIGURA 2 - Componentes do vento médio em a) Cubatão Residencial e b) Vila Parisi

## Análise do fluxo do vento

A análise do fluxo do vento foi desenvolvida usando-se a técnica do traçado das linhas de corrente, (Oliveira, et alii, 1983) e reunindo-se todas informações de vento disponíveis, bem como fatores observacionais sobre o comportamento de plumas.

Considerou-se também os seguintes fenômenos meteorológicos da região: o sistema de brisas marítimas, vento de drenagem e a posição da serra do mar em relação à radiação solar. As Figuras 3 e 4, mostram a análise resultante do fluxo do campo do vento sob as condições de anticiclone semiestacionário durante os meses de inverno. A configuração das linhas de corrente não têm validade na presença de sistemas frontais com céu nublado e chuvoso.

Na Figura 3 percebe-se a drenagem do vento a partir do Vale do Mogi (VM), causada pela posição íngreme das serras do Mar e do Quilombo, dando origem a uma zona de convergência na superfície que diverge na direção da VP. Este fluxo cria uma situação de bloqueio à circulação vinda do fundo do VM, permitindo com isso um movimento circular do vento, como se fosse um pequeno vórtice sobre a região.

A constatação deste tipo de circulação tem sido observada na prática, no Vale do Mogi, através das plumas das indústrias de fertilizantes, que em geral estão em direções contrárias. Por outro lado, em recente estudo sobre um episódio agudo de poluição do ar em Cubatão, obteve-se a comprovação deste fato (Oliveira e Sagula, 1984).

Portanto, toda a poluição acumulada durante o dia é transportada do fundo do VM em direção à VP e distribuída sobre todo município durante o período da noite.

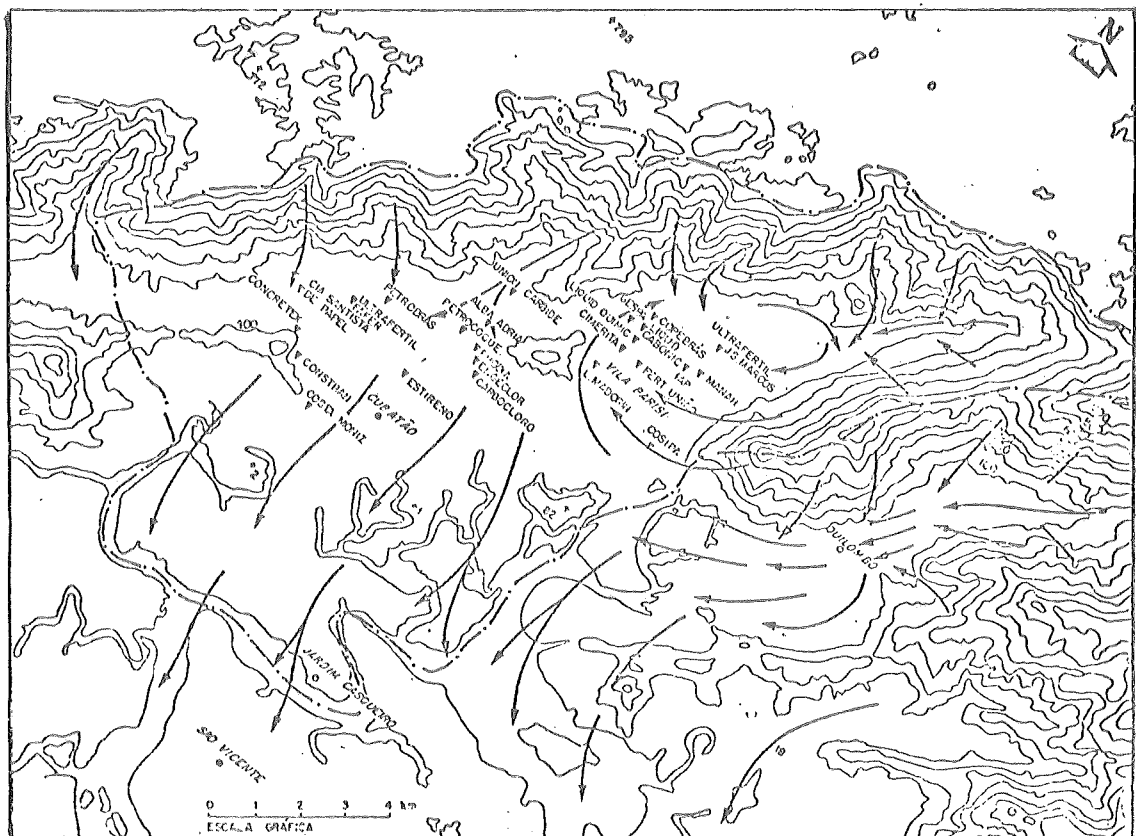


FIGURA 3 - Fluxo do vento combinado entre a Brisa Terrestre e o vento Catabático (aquecimento da montanha), observado sob condições de anticlone (alta pressão), durante o dia.



## CONCLUSÃO

As principais conclusões deste trabalho serão sumarizadas abaixo:

- Cubatão é uma região de topografia complexa que influencia sobremaneira o microclima local. Ali estão instaladas cerca de 25 indústrias, onde uma boa porcentagem delas emitem um volume de poluentes bastante significativo dentro da atmosfera local.

- A topografia causa um bloqueio à circulação do vento diminuindo a sua velocidade, em certas horas do dia, afetando o poder diluidor dos gases e partículas na região.

- Desenvolveu-se então um estudo sobre o comportamento do fluxo do vento em relação aos problemas de dispersão.

- Verificou-se que o ar dentro do Vale do Mogi, oscila em fase com aquele próximo da costa e, assim nesta área, o aquecimento diferencial na linha da costa e o aquecimento nas encostas das serras do Vale, combinam-se para gerar uma circulação terciária termicamente induzida durante o dia permitindo uma boa dispersão, desde que não haja presença da inversão marinha.

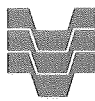
- Finalmente à noite há um fluxo de retorno soprando do sistema de serras para toda planície do município.

Este fluxo domina até as primeiras horas da manhã e dependendo das condições sinóticas de larga escala poderá causar episódio agudo de poluição do ar.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BROOKS, C.E.P. & CARRUTHERS, N. *Handbook of statistical methods in meteorology*. London Her Majesty's Stationary Office, 1953. 412p.
2. FISHER, E.L. An Observational Study of the Sea Breeze. *Quart. J.R. Meteor. Soc.* 87, 1960. p. 136 - 146
3. LYKOSOV, V.N. & GUTMANN, L.N. Turbulent Boundary Layer Above a Sloping Underlying Surface. *Izv. Atmos. Oceanic Phys.* 8, 1972. p. 462 - 467.
4. OLIVEIRA, S., BRUNI, A.C., & SAGULA, M.A.L.A. *Análise do fluxo do vento visando o transporte de poluentes na região da Grande São Paulo*. 12º Congresso ABES - Camboriú - Santa Catarina. 20 a 25/11 de 1983.
5. OZOE, H., TSUTOMU, S., & HAYARTOSHI, S. Characteristics of air pollution in the presence of Land and Sea Breeze - A numerical Simulation. *Atmos. Environ.* (17) 1, 1983. p. 35 - 42.
6. OLIVEIRA, S., SAGULA, M.A.L.A. *Episódio agudo de poluição do ar em Cubatão entre os dias 10 e 11 de agosto de 1984*. Relatório Interno da CETESB (não publicado), 1984. 12p.
7. STALEY, D.O. The low-Level Sea Breeze of Northwest Washington, *J. Meteor.* 14, 1957. p. 457 - 470.

Data Anis.: 02/08/85
Indic.:
Livraia:
Preço: r\$ 1:00
Data Fatura: 02/08/85



CETESB

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental  
Av. Professor Frederico Hermann, Jr., 345 - São Paulo - SP. - CEP 05459  
Telefone: (011) 210-1100 (Telex (011) 222-46-CTS - BR