

RELATÓRIO PARCIAL REFERENTE AO
PROGRAMA 14.0-STAR/79

HOEST

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

Pg. 14.0 - Analisar o comportamento característico das variáveis meteorológicas nas regiões das estações automáticas.

29/08/79

GEE-AR/DMT

Superintendência de Tecnologia do Ar
Diretoria de Tecnologia de Saneamen-
to do Ar e de Controle de Fontes de
Poluição

B4
C338a (RCET)
022904

CLIP
022904

Í N D I C E

Resumo	02
1. Introdução	03
2. Dados e Métodos Estatísticos de Análise e Interpertra- ção	05
2.1 Dados	05
2.2 Método de Análise	05
3. Topografia da Grande São Paulo	11
4. Apresentação dos Resultados	17
Apêndice	23
Bibliografia	24

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA

R E S U M O

O Programa 14.0 - STAR/79, tem como objetivo desenvolver uma análise sobre o comportamento das variáveis meteorológicas em torno das estações automáticas. Neste relatório preliminar é apresentado um plano de estudo destas variáveis (vento, direção e velocidade) a fim de ser aplicado na segunda fase do Programa. Nesta primeira fase constou do seguinte: pequena introdução sobre o problema; o dado a ser utilizado; o método estatístico a ser aplicado na análise; como será apresentado futuramente os resultados; e aspectos topográficos na região das estações automáticas.

1. INTRODUÇÃO

As influências meteorológicas através de várias escalas atuam simultaneamente para determinar os processos e variações que ocorrem na atmosfera num certo intervalo numa determinada região. Portanto, quando se pretende entender uma situação particular, verifica-se que esta é influenciada por uma série de processos sinóticos, de microescala e mésoescala, que diferem um do outro por várias ordens de grandeza.

A situação sinótica não é estática e o fluxo de ventos sobre certas regiões é determinado principalmente pelos efeitos das escalas mesometeorológicas, micrometeorológicas e a topografia local. Portanto existe uma remarcada periodicidade diária que proporciona uma excelente oportunidade para estudar-se a dinâmica de interação destas escalas.

Para determinação do movimento de transporte de poluentes de uma região particular para outra é necessário acompanhar-se os fluxos de ventos e os possíveis locais a serem atravessados pelas plumas. De acordo com Johnson (1979) o padrão regional de ventos e suas flutuações podem ser obtidos utilizando-se dados de direção e velocidade média medidos remotamente de uma rede de anemógrafos. Na rede das estações automáticas da CETESB, na Grande São Paulo, foram instalados 15 anemógrafos. A escolha do local para instalação destes instrumentos obedeceu a um certo critério, entretanto a topografia nas vizinhanças das estações é irregular e poderá influenciar a medição real do vento regional.

O presente plano de estudos se propõe a apresentar o seguinte:

- a) Um método estatístico para analisar o campo dos ventos em torno das estações Automáticas do Sistema Telemétrico;
- b) Análise do campo vetorial e escalar do vento médio;
- c) Descrição topográfica em torno das estações Automáticas do Sistema Telemétrico;

- d) Um modelo final de análise do vento de superfície regional para dois períodos durante as 24 horas do dia.

INSTITUTO DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA

2. DADOS E MÉTODO ESTATÍSTICO DE ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO

2.1 Dados

Os dados a serem utilizados serão os do vento médio (direção e velocidade) os quais são medidos nas estações automáticas e impressos automaticamente através do Sistema Telemétrico ao final de cada hora, Oliveira et alli (1979).

Os anemôgrafos estão distribuídos dentro da área Metropolitana da Grande São Paulo, conforme mostra a figura 3.2. Atualmente a DST (Divisão de Sistema Telemétrico) ainda não dispõe de dados confiáveis de todos os anemôgrafos uma vez que nem todos mantêm uma periodicidade de funcionamento normal por motivos técnicos; atualmente do total de anemôgrafos apenas 10 registram direção e velocidade e 2 a velocidade. Devido a deficiência acima não utilizamos nesta fase do programa os dados para a apresentação de uma análise preliminar.

2.2 Método de Análise

A dinâmica das condições sinóticas é função do tempo e de uma série de movimentos gerados por processos de adveções horizontais de umidade de uma região para outra, de alterações locais da temperatura, influências da penetração de radiação e luz solar e da topografia, entre outros efeitos. A fim de obter-se um valor médio de fluxo para cada estação meteorológica, utilizou-se um método estatístico desenvolvido por Skibin (1979) para determinar as médias vetoriais e escalares do vento computados para cada estação dentro do intervalo de hora separadamente (6 hrs. de intervalo, iniciando às 0000 GMT). As equações estatísticas usadas para o cálculo foram:

$$\text{Vetor médio} \quad |\bar{V}| = \frac{\sum_{i=1}^N \bar{V}_i}{N} \quad (2.1)$$

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA

Onde,

$|\bar{v}|$ = módulo do vetor resultante médio do período considerado

\bar{v}_i = vetor resultante da hora i ; $i=1,2,3...$

N = número de horas do período considerado

$$\text{Velocidade escalar} \quad S \equiv \sum_{i=1}^N \bar{v}_i / N \quad (2.2)$$

Onde,

\bar{v}_i = velocidade média na hora $i=1, 2, 3, \dots$

N = número de horas do intervalo considerado

$$\text{Grau de persistência} \quad D_s = \frac{|\bar{v}_i|}{S} \cdot 100 \quad (2.3)$$

Onde,

$$D_s = 1 \quad \text{Se } \bar{v} \approx S$$

neste caso a direção do vento será relativamente constante.

O período de análise considerado será de 24 horas dividido em 4 intervalos de 6 horas cada, da seguinte forma:

1º	0:0	—	6:0 hrs.
2º	6:0	—	12:0 "
3º	12:0	—	18:0 "
4º	18:0	—	0.0 "

O que significa a elaboração de quatro análises durante o decorrer do período.

O método de análise consistirá do seguinte:

a) Cálculo das direções e velocidades médias para cada pe-

riodo;

- b) Análise das isogonas (linhas de mesma direção de vento) para cada período;
- c) Traçado das linhas decorrente (a fim de verificar-se os pontos de convergência e divergência da área);
- d) Análise das isotaca (linhas de mesma velocidade de vento que mostra o efeito da topografia na velocidade);
- e) Acompanhamento sinótico médio dominante no período de análise; e
- f) Elaboração de rosas de vento médio mensais para cada estação a fim de se determinar os efeitos de canalização de fluxos devido a influência da topografia segundo Olsson (1971).

A seguir apresenta-se um exemplo hipotético da elaboração do cálculo do vento médio.

A tabela 2.1, mostra o método de cálculo da soma de um número de componentes vetoriais do vento. As colunas (1) e (2) dão as observações registradas pelo anemógrafo. A direção esta em dezenas de graus, assim o 6 significa 60° a Leste do Norte, 20 significa 200° a Leste do Norte contagem no sentido dos ponteiros do relógio. As componentes Norte e Leste são mostradas nas colunas (3) e (4). A soma das componentes Norte é (-39.9) e das componentes de Leste é (22.6); ambas são expressadas em m/s. O módulo do vetor soma é portanto $\sqrt{(39.9)^2 + (22.6)^2} = 45.9$ m/s; e a direção é dada pelo ângulo α cuja tangente é proporcional a (22.6) e (-39.9).

Para se determinar o ângulo α é necessário utilizar-se a figura 2.1.

Escolhe-se um determinado quadrante, adota-se o seu sinal para $\cos\alpha$ e $\sin\alpha$. No exemplo da tabela 2.1 pode-se verificar que o $\cos\alpha$ é negativo, e o $\sin\alpha$ é positivo e α está entre os quadrantes de 90° e 180° , para este caso é encon

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - INSTITUTO DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA

trado que $\alpha = 180^\circ - \hat{A}$. \hat{A} é um ângulo entre 0° e 90° que é obtido das tabelas de tangentes e, a tangente de α é igual a -0.556 ; entrando-se na tabela com este valor obtém-se que $\hat{A} = 30^\circ$ utilizando-se a equação $\alpha = 180^\circ - 30^\circ = 150^\circ$.

Observação: Os sinais de $\cos\alpha$ e $\sin\alpha$ são dados para cada quadrante; nos pontos cardiais os valores são os seguintes:

	N	E	S	W
$\alpha =$	0°	90°	180°	270°
$\cos\alpha =$	$+1$	0	-1	0
$\sin\alpha =$	0	$+1$	0	-1

A direção dada por α é a "direção resultante" da série horária dos dados de ventos dos quais se calcula o vetor soma sendo frequentemente chamado de vetor resultante. No apêndice A apresenta-se o cálculo acima detalhadamente.

O vetor do vento médio \bar{V}_R é obtido quando se divide a resultante pelo número de observações, e é especificado pela sua direção (α) e seu módulo V_R . Para os dados da tabela 2.1, $\bar{V}_R = 45.9/15 = 3.1$ m/s. A média escalar, S , é encontrada dividindo-se a soma das velocidades pelo número de observações, isto é, $S = 197/15 = 13.1$, nota-se que as fórmulas para \bar{V}_R e S são idênticas.

MÉTODO DE CÁLCULO DO VETOR RESULTANTE (soma)

TABELA 2.1 - Exemplo hipotético da determinação da resultante do vento médio para um período de 15 horas de medida

DATA/HORA		DIREÇÃO θ (1)	VELOCIDADE V (2)	COMPONENTE DE NORTE $V\cos\theta$ (3)	COMPONENTE DE LESTE $V\sin\theta$ (4)
07/06/79	(H)	UNIDADE (10°)	M/S	M/S	M/S
"	1	6	12	+ 6.0	+10.4
"	2	20	16	-15.0	- 5.5
"	3	7	10	+ 3.4	+ 9.4
"	4	5	5	+ 3.2	+ 3.8
"	5	13	12	- 7.7	+ 9.2
"	6	12	8	- 4.0	+ 6.9
"	7	21	4	- 3.5	- 2.0
"	8	8	9	+ 1.6	+ 8.9
"	9	10	20	- 3.5	+19.7
"	10	14	5	- 3.8	+ 3.2
"	11	35	23	+22.6	- 4.0
"	12	24	17	- 8.5	-14.7
"	13	22	24	-18.4	-15.5
"	14	19	22	-21.7	- 3.8
"	15	34	10	+ 9.4	- 3.4
T O T A L			197	-39.9	+22.6

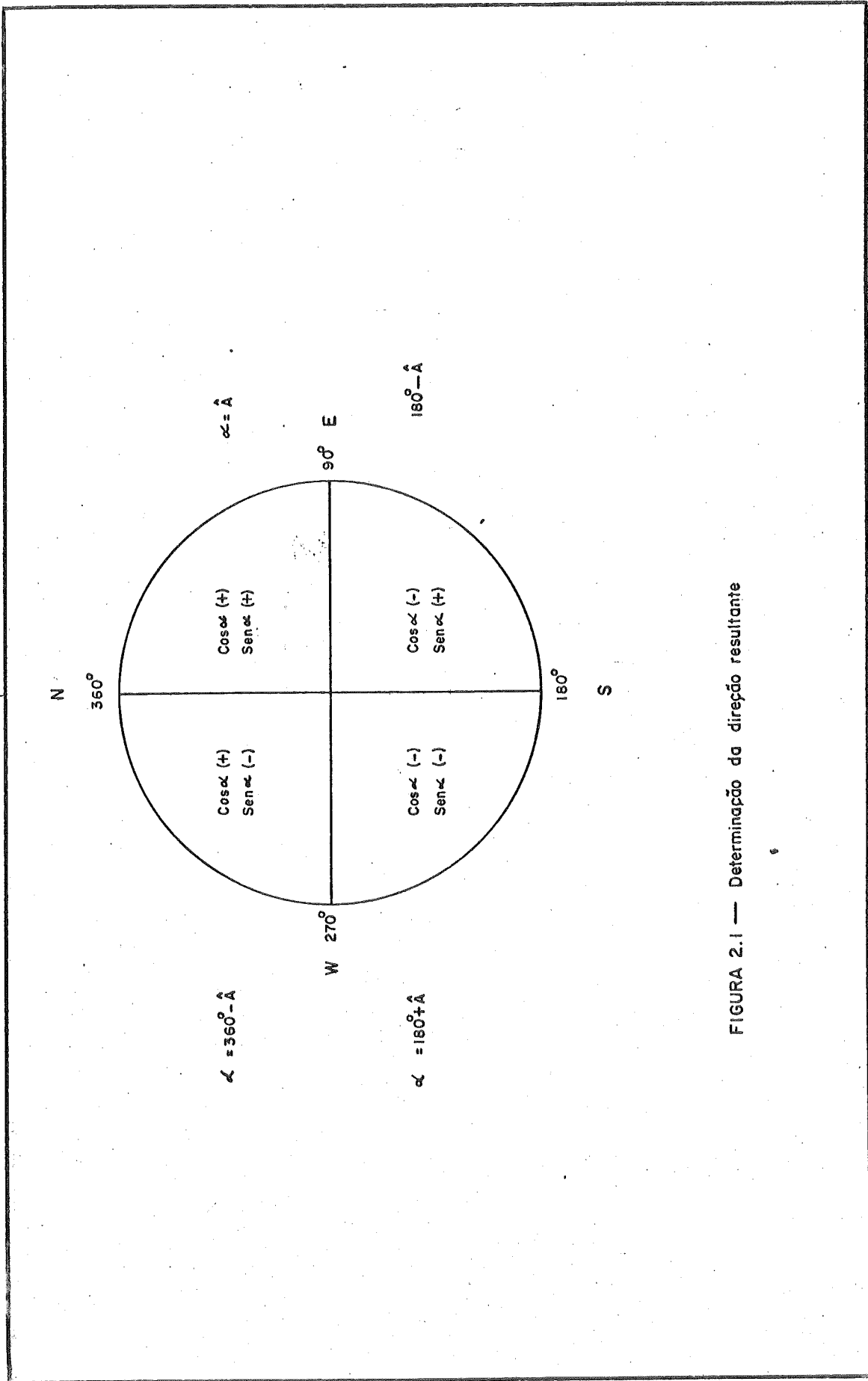


FIGURA 2.1 — Determinação da direção resultante

3. TOPOGRAFIA DA GRANDE SÃO PAULO

A região da Grande São Paulo está localizada no Planalto Atlântico com uma área de aproximadamente 8.000 km². Apresenta uma topografia dominada por colinas com altitudes que variam de 650 a 1200m. (figura 3.1)

A área correspondente ao sítio urbano e arredores, com 5.000 km² de extensão denomina-se Planalto Paulistano, aqui as altitudes variam de 715 a 900m. O relevo nessa região apresenta-se suavizado com morros e espigões de modesta altitudes e ao redor, as unidades topográficas giram em torno de 1100m de altitude.

A área da Grande São Paulo é drenada pela Bacia do Rio Tietê que corta a região de Leste para Oeste e tem como seus principais afluentes os rios Pinheiros e Tamanduateí.

Ao longo desses rios ficam as várzeas com altitudes entre 720 a 725m, ladeadas por terraços com altitudes entre 725 a 735m, e mais acima, ficam as colinas atingindo 750m. No interflúvio dos rios Tietê e Pinheiros encontram-se altitudes superiores a 800m (espigão central), de forma que os vales dos rios formam corredores topográficos.

As estações meteorológicas da Rede Automática do Sistema Telemétrico foram instaladas em locais que possuem maior industrialização e urbanização bem como em áreas que permita conhecer a qualidade do ar que entra na região (estação de Juquitiba); e em Cubatão (fora da Grande São Paulo) que é uma região de indústria pesada. (figura 3.2 e quadro 3.1).

Ao longo do rio Tamanduateí foram instaladas à margem esquerda as estações do Parque Dom Pedro II, São Caetano do Sul, Santo André (Centro) e São Bernardo do Campo; à margem direita as estações da Moóca, Santo André (Capuava).

A estação da Moóca encontra-se na região das colinas com altitudes que vão de 740 a 745m.

A região de Santo André possui regiões baixas e planas onde correm os rios e áreas de relevo mamelonizado pré-serrano até atingir a Serra do Mar. A estação de Capuava foi colocada em uma altitude de aproximadamente 800m. A estação de Santo André (Centro) foi colocada na região do vale do Tamanduateí a uma altitude de 760m.

A estação do Parque Dom Pedro II está localizada na região de terraços com altitudes que variam de 725 a 735m. A de São Caetano do Sul está em uma região de colinas suave a uma altitude de 740m.

São Bernardo do Campo está localizada em um peneplano que sobe até a cota de 840m e a estação meteorológica foi colocada em uma altitude de 760m no vale do Rio dos Meninos (afluente do Tamanduateí margem esquerda).

A estação de Santo Amaro com uma altitude de 730m foi localizada à margem direita do rio Pinheiros.

No vale do rio Tietê estão localizadas à margem direita as estações de Santana, Guarulhos; à margem esquerda estão as estações São Miguel Paulista, Lapa e Osasco.

A estação da Lapa situa-se na região de várzeas com uma altitude de 720m. A estação de São Miguel Paulista fica localizada em uma área acidentada com uma altitude de 800m.

Osasco fica em uma região de relevo suave; a estação meteorológica localiza-se a uma altitude de 725m na várzea do rio Tietê.

A região de Santana está localizada em um relevo suave com colinas de modesta altitude e a estação meteorológica está lo-

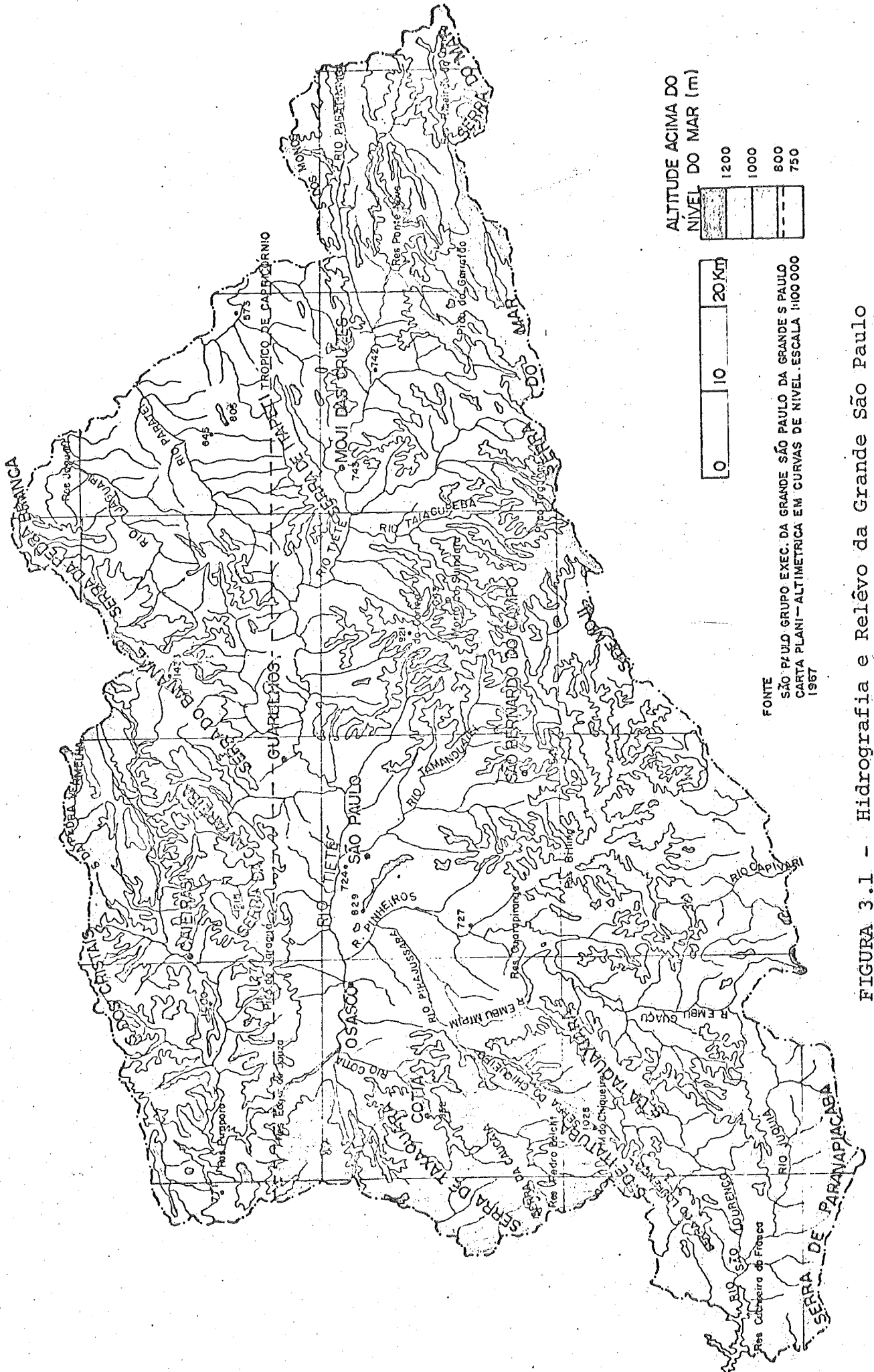
calizada a uma altitude de 730m no terraço do rio Tietê,

Guarulhos apresenta em sua região norte um relêvo muito acidentado onde ocorrem altitudes variáveis de 850 a 1.100m (já ligados à Serra da Cantareira). Na área compreendida entre esse terreno e o vale do Tietê a Topografia apresenta-se suave. A estação meteorológica foi instalada no terraço do rio Tietê a uma altitude de 730m.

Juquitiba, encontra-se no extremo ocidental do Planalto Paulista, região muito acidentada com altitudes de 800 e até 1000m. A estação meteorológica está em uma altitude aproximada de 800m.

Na região de Cubatão, a estação fica em uma altitude de 100m aproximadamente, em uma região de planície que está separada da região do Planalto pela Serra do Mar que atinge altitudes de 800 a 1000m.

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA



ALTITUDE ACIMA DO NIVEL DO MAR (m)

1200
1000
800
750

0 10 20 Km

FONTE: SÃO PAULO GRUPO EXEC. DA GRANDE SÃO PAULO DA GRANDE SÃO PAULO
 CARTA PLANI-ALTIMETRICA EM CURVAS DE NIVEL. ESCALA 1:100.000
 1967

FIGURA 3.1 - Hidrografia e Relêvo da Grande São Paulo

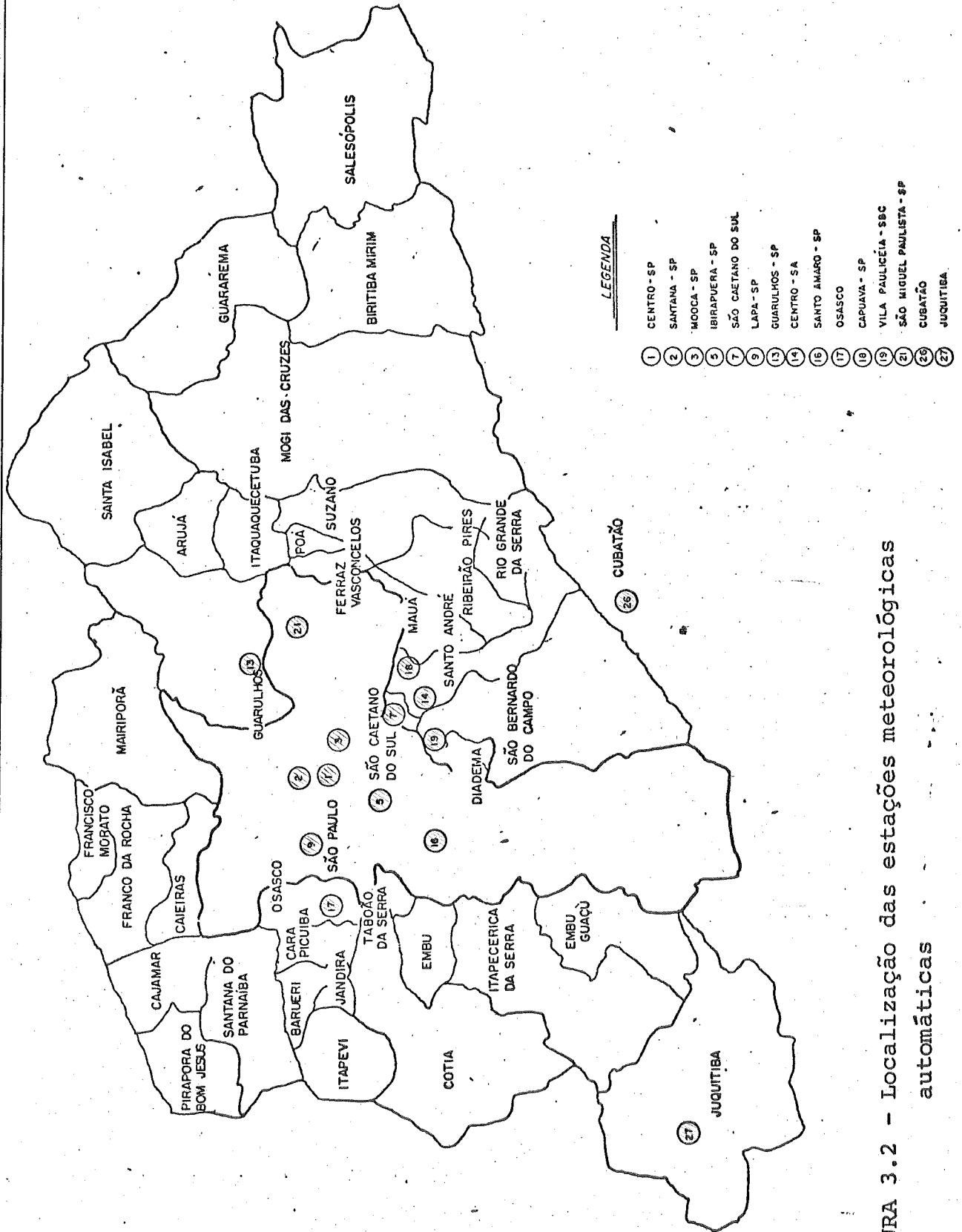


FIGURA 3.2 - Localização das estações meteorológicas automáticas

QUADRO 3.1 - Rede Telemétrica - Estações Meteorológicas

Nº	LOCAL E Nº DAS ESTAÇÕES	COORDENADAS GEOGRÁFICAS		ALT. (M)	EQUIPAMENTOS
		LAT. SUL	LONG. OESTE		
1	1-Parque Dom Pedro	23°32'43"	46°37'45"	730	Anemômetro, higrômetro, pluviômetro, termômetro
2	2-Santana	23°30'20"	46°38'10"	730	Anemômetro
3	3-Moóca	23°32'50"	46°36'00"	740	Anemômetro
4	5-Ibirapuera	23°34'55"	46°39'25"	750	Radar acústico, anemômetro
5	7-São Caetano do Sul	23°36'10"	46°34'20"	740	Anemômetro
6	9-Lapa	23°30'40"	46°41'40"	720	Anemômetro
7	13-Guarulhos	23°27'30"	46°29'30"	730	Anemômetro
8	14-Santo André (Centro)	23°38'30"	46°32'10"	760	Anemômetro
9	16-Santo Amaro	23°39'10"	46°42'20"	730	Anemômetro
10	17-Osasco			725	Anemômetro
11	18-Santo André (Capuava)	23°38'20"	46°29'30"	800	Anemômetro
12	21-São Miguel Paulista	23°30'00"	46°27'30"	800	Anemômetro
13	19-São Bernardo do Campo			760	Anemômetro
14	26-Cubatão	23°57'00"	46°25'00"	≈ 100	Anemômetro, higrômetro, pluviômetro, termômetro
15	27-Juquitiba			≈ 800	Anemômetro, higrômetro, pluviômetro, termômetro

4. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.

O trabalho final será apresentado conforme o exemplo da Cidade de Israel, representado pelas figuras 4.1, 4.2 e 4.3, segundo Skibin (1979). A figura 4.1 é um exemplo das direções (graus) do vento médio que após o cálculo estatístico foram plotados os dados para cada estação meteorológica, resultantes de uma determinada faixa de hora. A figura 4.2, mostra o traçado das isogonas (linhas de mesma direção do vento médio) e a figura 4.3 apresenta o resultado final das linhas de corrente analisadas a partir das figuras 4.1 e 4.2. Da figura 4.3 é feita uma análise das linhas de corrente em termos de transporte na região de Israel. Nesta figura observa-se um escoamento do sul do Oceano paralelo a costa o qual mostra claramente o início da brisa marítima devido as diferenças de aquecimento. Um detalhe importante é a zona de convergência sobre o declive da montanha, esta condição é associada com as correntes verticais que poderão aumentar a concentração de poluentes de fontes localizadas próximas da área industrial a Nordeste de Jerusalem. Esta informação visual é útil para futuro planejamento industrial em áreas sujeitas a efeitos de convergências e divergências de vento.

A análise do campo escalar da velocidade do vento, seguirá o modelo mostrado na figura 4.4 o qual retrata um estudo desenvolvido na cidade de Sydney, Austrália, elaborado por Linacre (1974). Neste trabalho verifica-se as influências da topografia sobre o campo dos ventos, onde se observa que em regiões caracterizadas por vales os ventos são fracos especialmente no setor Norte. Segundo o autor estes locais seriam inconvenientes para localização industrial pois é destituído do requisito ventilação adequada.

A análise das variáveis meteorológicas (vento, direção e velocidade) em torno das estações automáticas seguirá os modelos de Skibin e Linacre. No presente relatório preliminar ficou estabelecido em princípio que tentar-se-á elaborar quatro aná

lises em dois períodos, isto é:

Período diurno - (06:00 - 12:00 hrs)

(12:00 - 18:00 hrs)

Período noturno - (18:00 - 00:00 hrs)

(00:00 - 06:00 hrs)

Estas análises farão parte do segundo relatório semestral a ser apresentado no fim do segundo semestre conforme programa estabelecido. Entretanto no decorrer dos estudos, para elaboração de tal relatório, os resultados poderão serem conduzidos para outro tipo de análise caso surja dificuldades na implantação do presente método.

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA

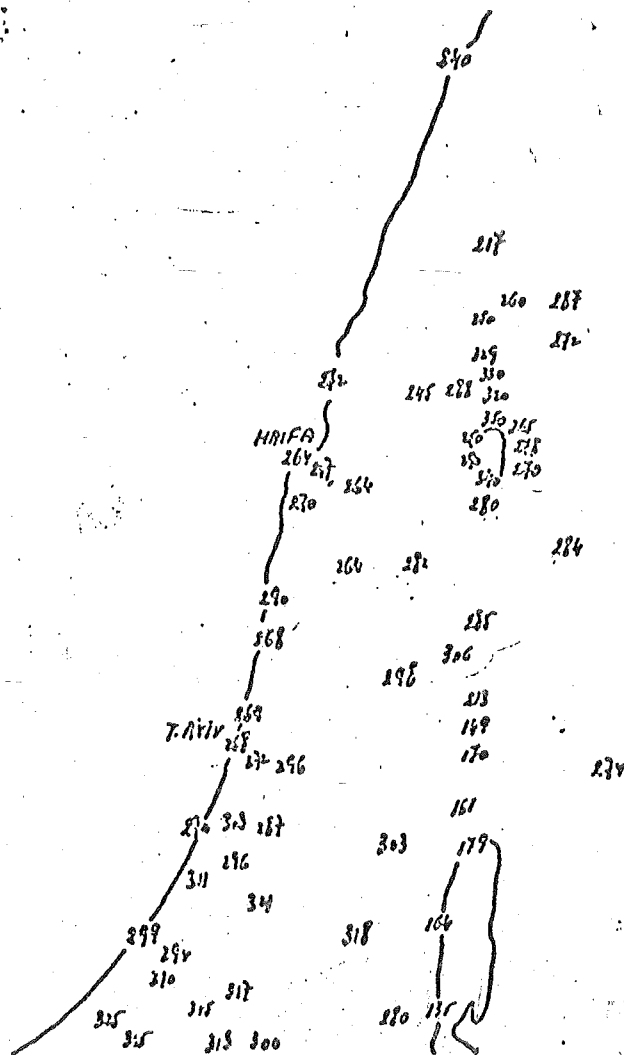


FIGURA 4.1 - Um exemplo dos dados básicos mostrando a plotagem das direções (graus) médias do vento na cidade de Israel, julho, 1977, 1400 LT (1200 GMT) realizado por Skibin (1979)

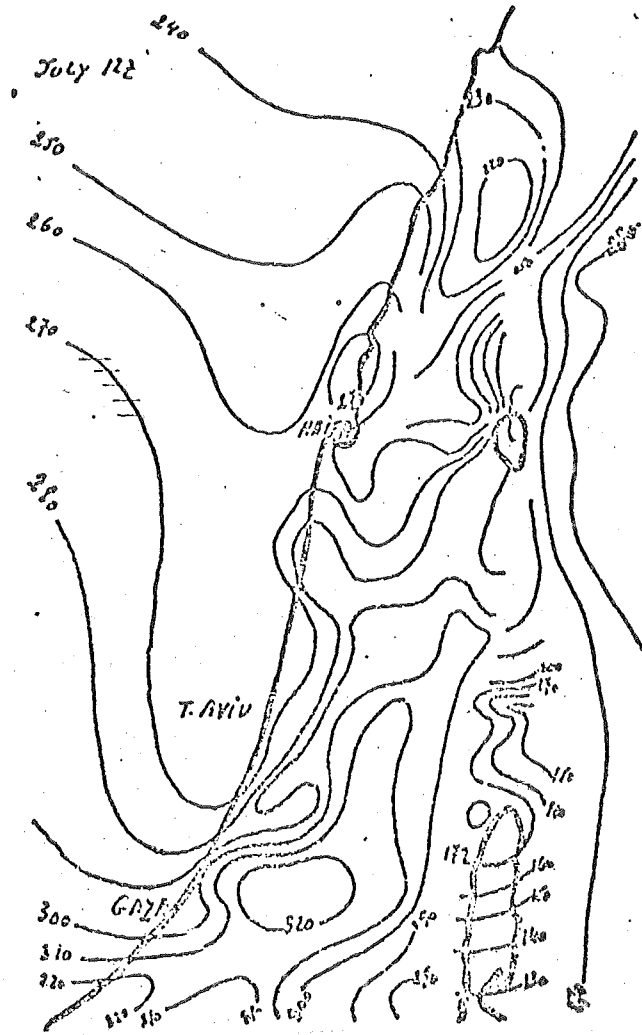


FIGURA 4.2 - Análise das isogonas (linhas de mesma direção de vento) dos dados da figura 3.1. Skibin (1979)

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA

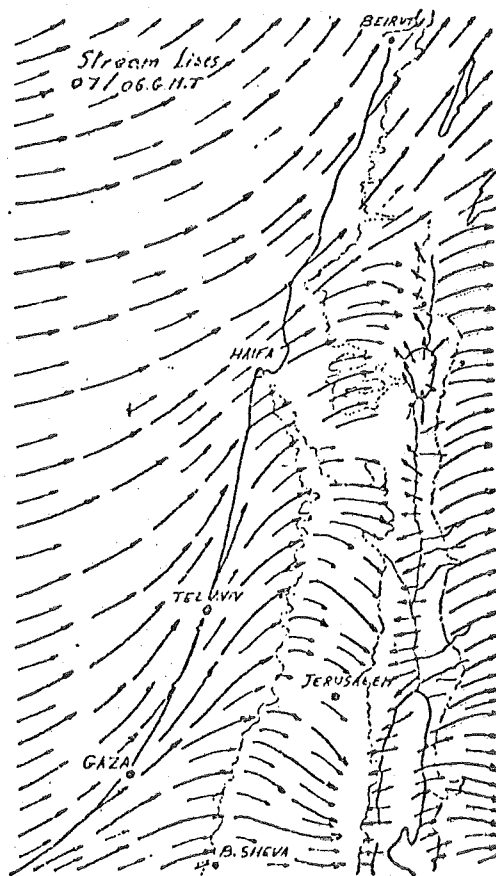


FIGURA 4.3 - Análise das linhas de corrente médias baseado na figura 3.2. Skibin (1979)

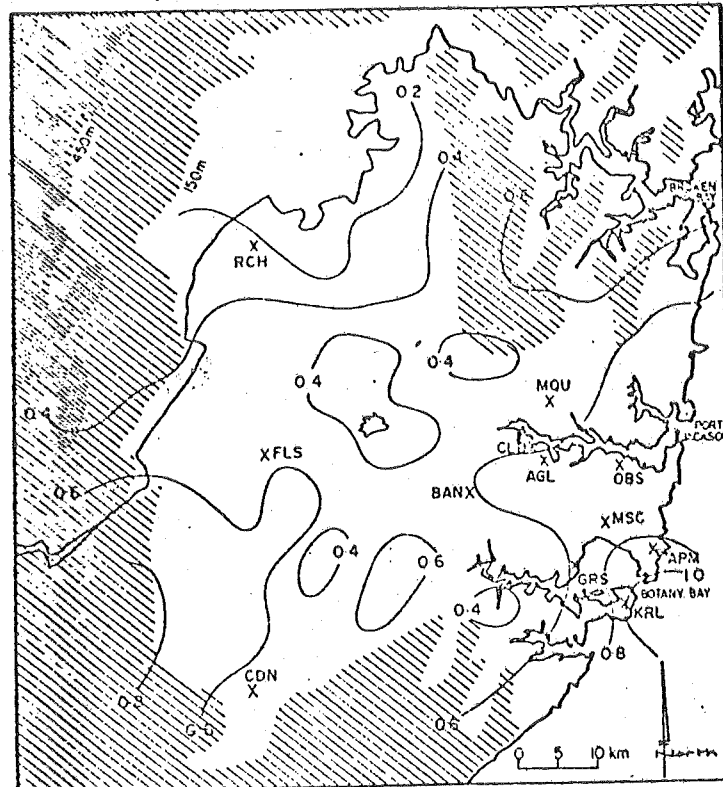


FIGURA 4.4 - Análise das isotacas (campo de velocidade do vento) na região de Sydney (Austrália) realizado por Linacre (1974)

BIBLIOGRAFIA

- Ab' Sáber, Aziz Nacib. Geomorfologia do Sítio Urbano de São Paulo. Usp, São Paulo, 1957, pp 343.
- Johnson, G.T. - Evaluation of Schemes for Estimating Surface - Wind Strength. *Atmospheric Environment*, (13), 1979, pp. 437 - 442.
- _____ and Linacre, E.T. - Estimation of Winds at Particular Places. *Proc. Int. Clean Air Conference*, 1978, pp. 751-762. Clean Air Soc. of Aust. and N.Z.
- Linacre, E.T. and Barrevo J.A. - Surveys of Surface Winds in the Sydney Region. *Proc. Int. Geog. Union Regional Conf. and 8th New Zealand Geog. Conf.*, 1974, pp. 247 - 260. New Zealand Geog. Soc..
- Olsson, L.E. and Peterson, E.W. - A Study of the Natural Ventilation in Western Oregon. *Proc. the Second Inter. Clean Air Congress*, 1971, pp. 979 - 982. Air Pollution Control Association.
- Oliveira, V.V., Machado, A.G. and Anzai, Y. - Rede Automática de Amostragem de Poluentes Atmosféricos instalada na Região da Grande São Paulo. *10^o Cong. Brasil. de Eng. Sanit. e Ambient.*, Manaus, 1979, pp. 81 - CETESB.
- Plano Urbanístico Básico. Prefeitura Municipal Grupo Executivo do Planejamento. São Paulo, pp. 169.
- Skibin, D. and Hod, A. - Subjective Analysis of Mesoscale Flow Patterns in Northern Israel. *J. Appl. Meteor.*, (9), 1979, pp. 329 - 338.

