

20

0822

O PROBLEMA DE DIÓXIDO DE ENXOFRE NA REGIÃO DA
GRANDE SÃO PAULO -
SITUAÇÃO ATUAL e PERSPECTIVAS FUTURAS

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

Gerência de Estudos Especiais
Superintendência de Tecnologia do Ar.

DTSA/CETESB

1977

8207
M562p (RCET)
005680

4 2 2 2 2 2 2

GLA 53	2	2	2	2	2	2
AJ 22	2	2	2	2	2	2
1 1	5680					

Faint, illegible handwritten text, possibly bleed-through from the reverse side of the page.

Faint, illegible handwritten text at the bottom of the page.

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA

S U M Á R I O

Eng^o Armando Luiz de Souza Mesquita*

Eng^o Ernesto Ronchini Lima**

Os padrões de qualidade do ar estabelecidos tanto em âmbito federal como em âmbito estadual para o poluente dióxido de enxofre estão sendo superados na região da Grande São Paulo conforme se observa dos dados de qualidade do ar da região obtidos nas estações de amostragem da CETESB.

A principal fonte de emissão de SO₂ na região é a queima de óleo combustível em fontes estacionárias.

A alternativa de controle proposta é a substituição do óleo combustível com alto teor de enxofre (BPF) por óleo com baixo teor de enxofre (BTE).

Esta alternativa, verificada para as concentrações máximas previstas para 1977, mostrou-se satisfatória para o controle de dióxido de enxofre na região da Grande São Paulo.

* Eng^o Mecânico e Sanitarista - Mestre em Ciências em Engenharia Ambiental
- Superintendente de Tecnologia do Ar da CETESB.

**Eng^o Mecânico - Mestre em Ciências em Poluição do Ar - Gerente de Estudos Especiais - Superintendência de Tecnologia do Ar da CETESB.

I. INTRODUÇÃO

O dióxido de enxofre é um dos principais poluentes atmosféricos, quer pelos efeitos adversos sobre a saúde do homem com os quais está associado, quer pelas enormes quantidades em que é emitido à atmosfera ou ainda pelas altas concentrações observadas em áreas urbanas.

Na região da Grande São Paulo, o dióxido de enxofre vem sendo amostrado no ar ambiente em 13 estações medidoras desde 1974.

Os resultados destas amostragens tem demonstrado valores elevados deste poluente, conforme será apresentado a seguir neste trabalho.

Uma vez que, tanto no âmbito federal, portaria da SEMA nº 231 de 27.04.76, como no âmbito do Estado de São Paulo, decreto nº 8468 de 08.09.76 o padrão de qualidade do ar para este poluente está estabelecido, necessário se torna avaliar alternativas de controle para trazer os níveis de qualidade do ar para valores inferiores aos dos padrões estabelecidos.

Neste estudo uma alternativa de controle, que tecnicamente se mostra mais viável, é analisada para a região da Grande São Paulo.

II. PRINCIPAIS EFEITOS ASSOCIADOS AO SO₂

A literatura apresenta um grande número de estudos toxicológicos e epidemiológicos relacionando concentrações de SO₂, tempo de exposição e efeitos observados em animais, homens, vegetação e materiais.

Uma vez que em situações reais a exposição ao dióxido de enxofre ocorre conjuntamente com exposições a outros poluentes presentes na atmosfera, especialmente material particulado, este fato foi considerado em vários estudos que demonstraram claramente uma associação entre níveis de SO₂ em presença de material particulado e efeitos adversos sobre a saúde do homem em graus diversos de severidade.

Os efeitos associados ao dióxido de enxofre estão relacionados com irritações do aparelho respiratório, que podem ser injúrias temporárias ou permanentes.

Estudos com animais em laboratório demonstraram broncoconstrição ou aumento da resistência pulmonar à passagem do ar. Ainda em laboratório com animais, o mesmo efeito foi observado aumentado de tres a quatro vezes quando além do SO₂ a atmosfera continha material particulado capaz de oxidar o SO₂ à ácido sulfurico.

Os estudos epidemiológicos usualmente relacionam aumento - de mortalidade e de morbidade quando a concentração de dióxido de enxofre e material particulado atingiram valores de terminados.

Outro aspecto importante é que em todas as comunidades existem pessoas com problemas de saúde que são particularmente susceptíveis ao aumento da poluição do ar por dióxido de enxofre além de pessoas idosas e crianças.

Efeitos adversos sobre a vegetação também são relacionados a exposição ao dióxido de enxofre. Danos agudos causados por concentrações elevadas por curto período de exposição usualmente são observados como ressecamento dos tecidos das folhas e descoloramento. Danos crônicos, causados por concentrações baixas de SO₂ mas por períodos de exposição de dias ou semanas são observados como pigmentação dos tecidos das folhas e amarelamento gradual das folhas. Tanto dano agudo como crônico pode ser acompanhado por danos ao crescimento das plantas.

Também os materiais sofrem efeitos adversos da exposição - aos poluentes atmosfericos. Descoloração, corrosão, desgaste, etc, são relacionados à exposição ao dióxido de enxofre.

Detalhes dos efeitos mencionados bem como concentração de SO₂ e o tempo de exposição em que eles ocorrem podem ser encontrados na referência (1).

O Padrão de Qualidade do Ar para dióxido de enxofre estabelecido para todo território nacional pela SEMA e ratificado pela legislação estadual de São Paulo, visando prevenir os efeitos sobre a saúde, brevemente mencionados anteriormente valem:

- Concentração anual de SO₂ não deve ser superior a 80µg/m³
- Concentração média de 24 h não deve ultrapassar 365 µg/m³

mais do que uma vez por ano.

A legislação estadual de São Paulo, além dos padrões de qualidade do ar, preve em seu capítulo III níveis de concentrações de SO_2 e combinação destes com material particulado on de ações especiais devem ser tomadas no sentido de se proteger a saúde da população exposta.

Estas concentrações podem ocorrer em situações onde as condições meteorológicas são desfavoráveis a dispersão dos poluentes.

Para o dióxido de enxofre e sua combinação com material particulado estas concentrações valem :

Estado de Atenção - concentração média de 24 h de SO_2 = -
800 $\mu g/m^3$ ou produto entre concentração de SO_2 e material
particulado igual a 65000.

Estado de Alerta - concentração média de 24 h de SO_2 =
1600 $\mu g/m^3$ ou produto entre concentração de SO_2 e material
particulado igual a 261000.

Estado de Emergencia - concentração média de 24 h de SO_2 =
2100 $\mu g/m^3$ ou produto entre concentração de SO_2 e material
particulado igual a 393000.

III. NÍVEIS DE SO₂ NA REGIÃO DA GRANDE SÃO PAULO

A CETESB Cia de Tecnologia de Saneamento Ambiental mantém em operação na região da Grande São Paulo 13 estações de amostragem para o poluente SO₂, distribuídas conforme fig.1. As estações estão designadas pelo nome do Subdistrito ou pelo Município da Grande São Paulo onde estão localizadas, Aclimação, Tatuapé, Capuava Industrial, São Caetano do Sul, Cerqueira Cesar, Vila Anastácio, Campos Eliseos, Praça da República, Capuava Residencial, Santo André, Osasco, Guarulhos e Moema. Para efeito deste estudo foram utilizados os dados das 7 primeiras estações.

A Tabela 1 apresenta os dias em que o valor 365 µg/m³, padrão de qualidade do ar, foi ultrapassado por estação, no período 1974 a 1976 inclusive.

Na mesma Tabela juntamente com os valores atingidos nestes dias esta representada a sobre dose, qual seja o excesso de concentração que a população esteve exposta nos períodos ou dias em que o padrão de qualidade do ar foi excedido. A frequência anual de ocorrência de concentração superiores ao padrão diário de qualidade do ar, número de dias, também é apresentado.

A Fig.2 é a representação gráfica da Tabela 1.

As Tabelas de 2a a 2d apresentam as médias mensais dos anos de 1974 até março de 1977 nas estações em estudo.

A Tabela 3 apresenta as médias anuais para as estações em estudo no período de 1974 a 1976.

Considerando que os dados diários e anuais de concentração de dióxido de enxofre apresentados estão na mesma base dos padrões de qualidade do ar a comparação é direta.

Podemos portanto concluir que na região da Grande São Paulo estes padrões estão sendo superados, e portanto efeitos adversos sobre a saúde da população exposta, tanto no que se refere a efeitos agudos devido as concentrações médias diárias como efeitos crônicos, devido as concentrações médias anuais, devem estar ocorrendo.

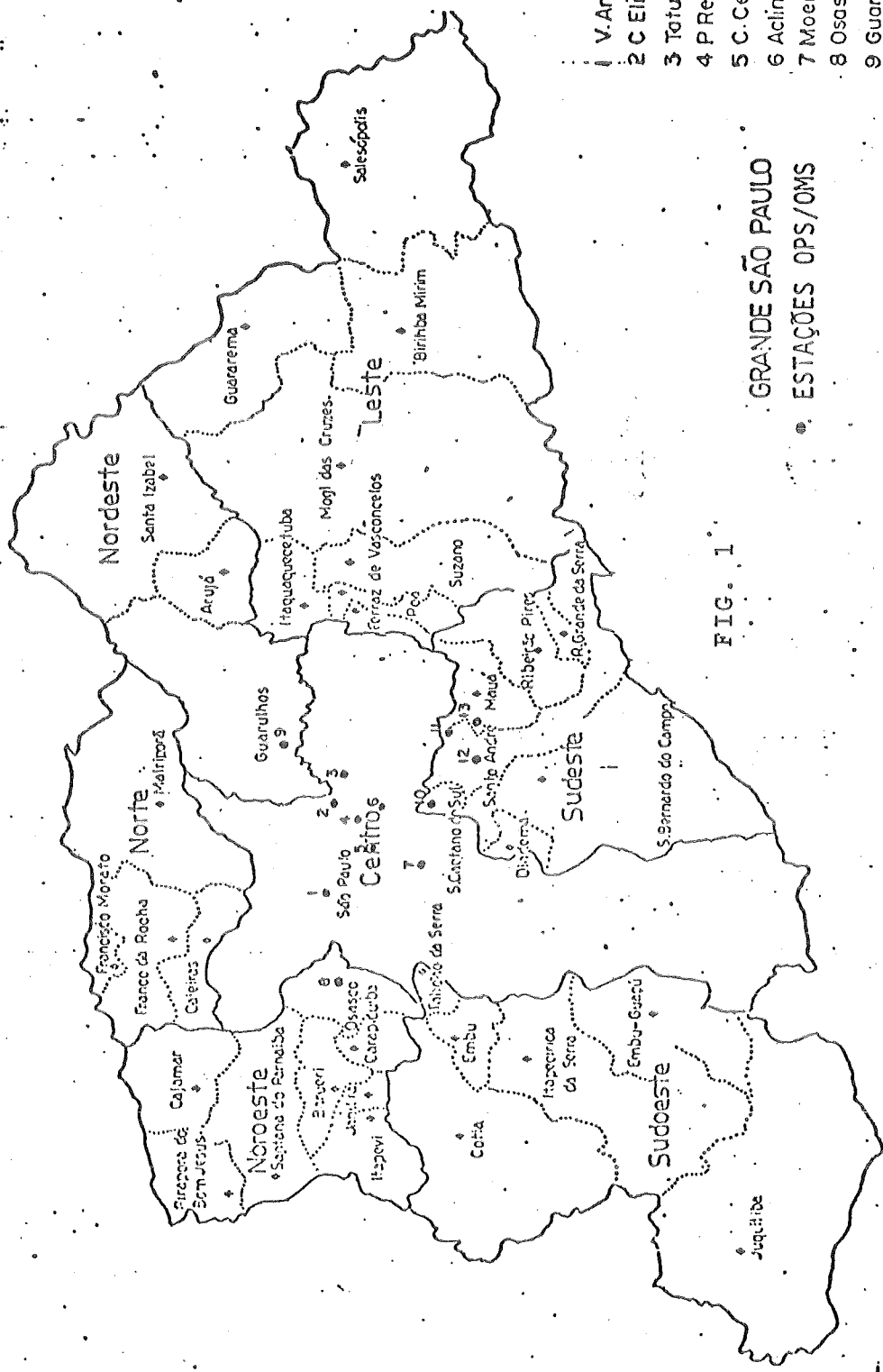


FIG. 1

GRANDE SÃO PAULO
ESTACIONES OPS/OMS

- 1 V. Anastácio
- 2 C. Eliseos
- 3 Tatuapé
- 4 P. República
- 5 C. Cesar
- 6 Acimação
- 7 Moema
- 8 Osasco
- 9 Guarulhos
- 10 S. C. do Sul
- 11 Copuava I.
- 12 S. André
- 13 Copuava R.

FIG. 2 - DIAS EM QUE O PADRÃO FOI EXCEDIDO NAS ESTAÇÕES EM ESTUDO

POLUENTE SO₂

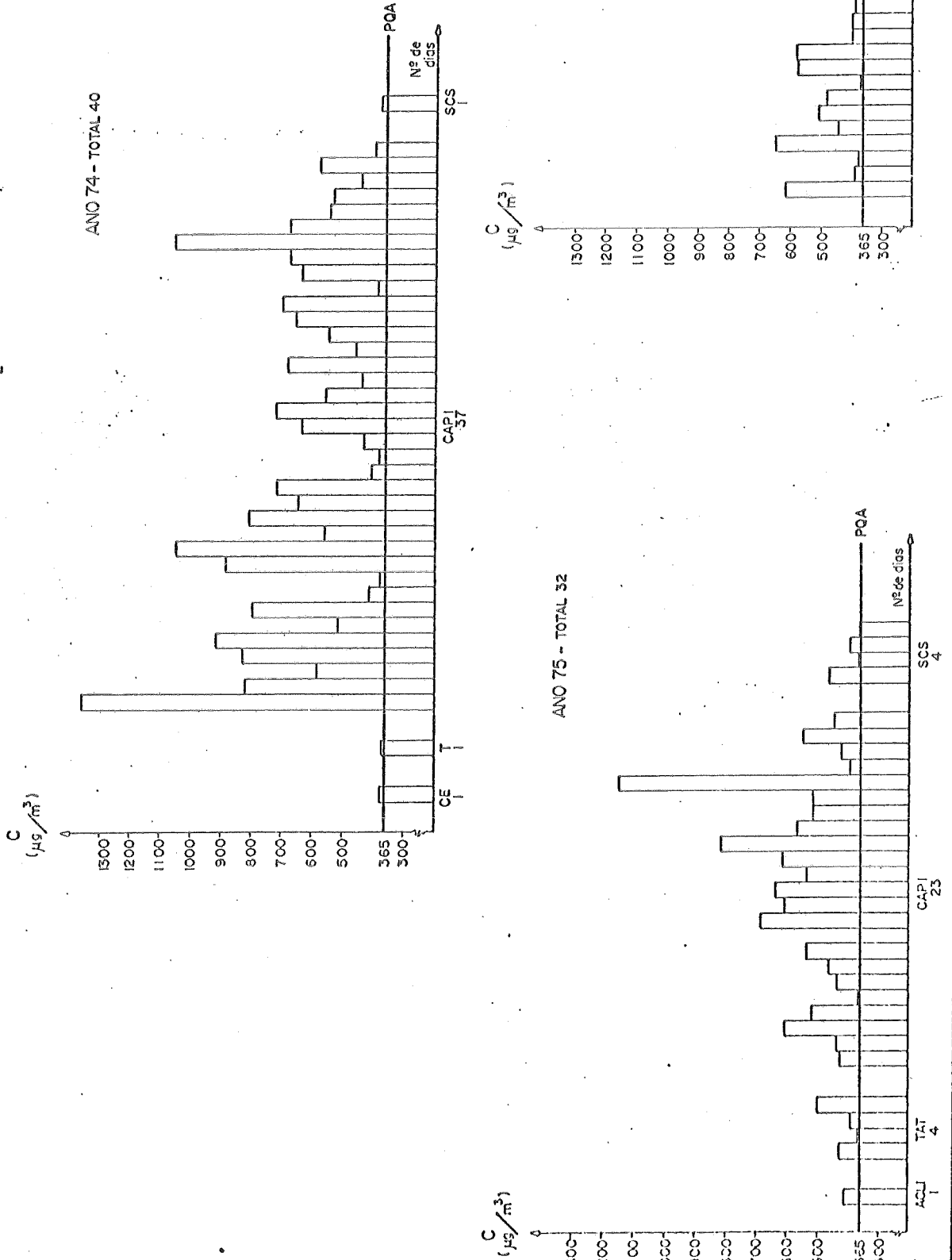


TABELA 1 : Dias em que o Padrão foi Excedido (Período de 1974-1977 inclusive) nas Estações de Estudo: (1)

SO₂

Local	Data	Concentração Atingida ^a	SDOSE ^b	Frequência
Aclimação	12/06/75	408	43	1
Tatuapé	16/07/74	367	2	1
	10/07/75	428	63	
	01/08/75	372	7	
	21/08/75	394		
	22/08/75	498	81	4
Capuava	03/01/74	1358	993	
Ind.	24/01/74	818		
	25/01/74	586	337	
	05/02/74	832	467	
	09/04/74	923	558	
	16/04/74	515		
	17/04/74	801		
	18/04/74	415		
	19/04/74	380	163	
	07/05/74	891		
	08/05/74	1048	605	
	15/05/74	559		
	16/05/74	809	319	
	21/05/74	653		
	22/05/74	723	323	
	24/05/74	406	41	
	06/06/74	383	18	
	19/06/74	435	70	
	25/06/74	642	277	
	02/07/74	726	361	

		Concentração Atingida ^a	SDOSE ^b	Frequência
Local	Data			
Capuava	04/07/74	557	192	
Ind.	11/07/74	435	70	
	07/08/74	685	320	
	27/08/74	458	93	
	05/09/74	548	183	
	23/10/74	660		
	24/10/74	700		
	25/10/74	391	219	
	31/10/74	643	278	
	01/11/74	682		
	02/11/74	1059		
	03/11/74	679	807	
	11/11/74	547	182	
	05/12/74	534		
	06/12/74	446	125	
	12/12/74	578	213	
	17/12/74	395	30	37
Capuava	06/02/75	430		
Ind.	07/02/75	436	68	
	20/05/75	607		
	21/05/75	518		
	22/05/75	372		
	23/05/75	444	120	
	27/05/75	466		
	28/05/75	542	139	
	09/08/75	385	20	
	13/08/75	685	320	
	15/08/75	613	248	
	17/08/75	645	280	
	19/08/75	546	181	
	21/08/75	622		
	22/08/75	822	357	
	28/08/75	573		
	29/08/75	520		
	30/08/75	524	174	
	01/09/75	1150	785	

INSTITUTO DE PESQUISA E SANEAMENTO AMBIENTAL
 DEPARTAMENTO DE LICENCIAMENTO E CONTROLE

		Concentração Atingida ^a	SDOSE ^b	Frequência
Local	Data			
Capuava	19/09/75	370	5	
Ind.	27/09/75	432	67	
	13/11/75	549	184	
	19/12/75	446	81	23
	<hr/>			
Capuava	03/01/76	618	253	
Ind.	13/01/76	390		
	14/01/76	381	21	
	31/01/76	654	289	
	04/02/76	445		
	05/02/76	512	114	
	09/02/76	484	119	
	12/02/76	373		
	13/02/76	576		
	14/02/76	577		
	15/02/76	395		
	16/02/76	395	98	
	09/03/76	390	25	
	16/03/76	547	182	
	23/03/76	1156		
	24/03/76	464	445	
	26/03/76	372	7	
	29/03/76	473	108	
	31/03/76	1316	951	
	04/04/76	1009	644	
	09/04/76	1114	749	
	10/04/76	374	9	
	15/04/76	862		
	16/04/76	965	549	
	20/04/76	524	159	
	22/04/76	381	16	
	27/04/76	436		
	28/04/76	695		
29/04/76	450			
30/04/76	461	146		
03/07/76	376	11	31	

		Concentração Atingida ^a	SDOSE ^b	Frequência
Local	Data			
Capuava Ind.	24/03/77	376	11	1
S.C. Sul	04/05/74	381	16	1
	03/02/75	466	101	
	08/03/75	370	5	
	12/07/75	395	30	
	06/08/75	372	7	4
Campos Eliseos	12/07/74	380	15	1

PQA/SO₂ 24 h _____ 365 µg/m³

^aConcentrações em µg/m³

^bSDose em µg.dia/m³.

- (1) As demais estações de estudo em que o padrão de qualidade do ar não foi ultrapassada no período 74 a 76 inclusive foram : Cerqueira Cesar
Vila Anastácio

TABELA 2A : CONCENTRAÇÕES MÉDIAS MENSIS DE DIÓXIDO DE ENXOFRE NAS ESTAÇÕES EM ESTUDO

1 974 - valores em $\mu\text{g}/\text{m}^3$

ESTAÇÕES	JAN.	FEV.	MAR.	ABR.	MAI.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OUT.	NOV.	DEZ.
Acimação	100,87	115,53	104,76	117,99	162,20	113,30	181,50	126,33	93,48	80,94	67,52	56,26
C. Eliseos	101,52	118,13	103,40	120,78	141,92	110,81	188,65	143,72	99,15	117,03	101,74	81,21
C. Cesar	63,71	75,78	64,38	69,56	88,41	73,14	117,13	85,98	81,83	81,57	59,74	49,20
Tatuapé	114,02	110,11	109,34	126,45	167,67	141,21	204,62	165,08	121,21	121,21	100,92	85,36
V. Anastácio	115,58	109,41	85,82	108,56	129,64	110,03	145,81	114,35	73,96	74,53	80,73	57,30
Capuava I.	279,58	283,54	130,04	344,59	424,43	244,16	265,99	216,06	174,57	485,17	244,96	217,36
S. C. Sul	113,51	115,70	92,34	126,28	146,69	115,46	189,39	146,66	105,40	120,22	81,83	98,15

W O B L O T E I E

RECEBIMOS EM 10 DE 83110

TABELA 2B : CONCENTRAÇÕES MÉDIAS MENSAIS DE DIÓXIDO DE ENXOFRE NAS ESTAÇÕES EM ESTUDO

1 975 - valores em $\mu\text{g}/\text{m}^3$

ESTAÇÕES	JAN.	FEV.	MAR.	ABR.	MAI.	JUN	JUL.	AGO.	SET.	OUT.	NOV.	DEZ.
Aclimação	64,16	81,28	94,72	125,13	112,23	159,85	165,10	163,04	106,07	108,35	72,46	95,99
C.Eliseos	87,51	104,56	103,84	128,31	127,12	170,12	167,71	172,62	123,49	114,70	92,09	117,20
C. Cesar	52,32	58,29	74,11	92,64	89,17	110,23	116,88	107,99	78,98	75,23	62,51	67,71
Tatuapé	84,13	106,42	100,13	129,64	129,14	203,70	192,50	198,10	135,33	134,12	108,48	105,31
V.Anastácio	58,44	75,89	95,97	109,18	117,65	142,60	142,60	119,81	83,27	80,54	66,57	69,64
Capuava I.	174,70	144,27	96,44	126,52	295,54	167,34	175,67	357,71	233,09	139,92	183,66	169,01
S.C. Sul	110,75	122,51	102,76	119,75	146,40	148,65	166,16	151,12	123,10	116,55	121,54	114,08

TABELA 2C : CONCENTRAÇÕES MÉDIAS MENSAIS DE DIÓXIDO DE ENXOFRE NAS ESTAÇÕES EM ESTUDO

1 976 - valores em $\mu\text{g}/\text{m}^3$

	JAN.	FEV.	MAR.	ABR.	MAI.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OUT.	NOV.	DEZ.
Aclimação	92,18	92,11	97,28	106,79	119,71	150,17	134,13	119,87	106,17	85,26	92,70	77,16
C.Eliseos	106,94	102,74	112,66	115,56	125,39	153,10	132,97	116,58	117,47	119,48	139,79	113,63
C. Cesar	61,13	60,94	70,81	65,41	72,81	92,10	84,58	82,68	74,23	65,32	75,93	59,10
Tatuapé	107,39	96,14	105,02	106,04	123,52	172,10	133,48	123,84	119,37	106,84	105,20	85,87
V.Anastacio	74,62	75,75	68,29	78,32	91,77	108,00	95,32	94,26	86,83	70,71	81,41	61,81
Capuava I.	204,04	274,35	318,47	343,55	140,71	140,57	183,16	152,87	120,62	145,13	163,47	124,36
S.C. Sul	131,32	119,94	120,46	118,58	138,40	166,30	122,10	113,00	116,86	102,26	108,47	102,19



CETESB

TABELA 3 - CONCENTRAÇÕES MÉDIAS ANUAIS- SO_2 - ESTAÇÕES EM ESTUDO
PERÍODO 1974-1976

($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

ESTAÇÃO ANOS	1 974	1 975	1 976
Aclimação	110	112	106
C. Eliseos	119	126	121
G. Cesar	76	82	72
Tatuapé	130	135	115
V. Anastácio	101	97	82
Capuava I.	268	189	193
S. C. Sul	121	129	122

IV. REDUÇÃO NECESSÁRIA NAS EMISSÕES PARA SE ATINGIR O PADRÃO DE QUALIDADE DO AR

Se basearmos nos valores de qualidade do ar de 1976, poderemos estimar qual a redução nas emissões seria necessário para manter os níveis de qualidade do ar abaixo do padrão, utilizando-se para tanto o modelo proporcional (3). A tabela 4 apresenta as máximas concentrações médias diárias ocorridas em 1976 nas sete estações em estudo.

Tabela 4 - Concentrações máximas ocorridas em 7 estações no período: 01.01.76 à 31.12.76

ESTAÇÕES EM ESTUDO	CONCENTRAÇÃO MÁXIMA AMOSTRAGEM DE 24 hs ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Aclimação	340
Campos Eliseos	309
Cerqueira Cesar	212
Tatuapé	348
Vila Anastácio	234
Cap. Industrial	1316
São Caetano do Sul	342

Área crítica: Capuava Industrial: $C_{\text{max}} = 1316 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Com base nos dados de qualidade do ar apresentados e na tabela acima podemos concluir que a estação Capuava Industrial representa a área crítica, ou seja, onde ocorre a máxima concentração ($C_{\text{max}} = 1316 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Utilizando-se esta concentração máxima e o modelo proporcional podemos estimar a redução necessária nas emissões.

O modelo proporcional é o mais simples e intuitivo modelo utilizado em poluição do ar. É baseado na premissa básica:

"Se reduzirmos as emissões haverá um ganho na qualidade do ar". Foi a base intelectual de todas as leis de controle da poluição do ar até o final da década de 50 e continua sendo bastante aceitável em termos de estratégia de controle baseada na melhor tecnologia disponível.

Sua essência é simples e pressupõe que as concentrações de poluentes permanentes guardam uma relação linear com as emissões, isto é:

$$C = b + Ke \quad (1)$$

onde: C - concentração existente ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

b - concentração de "background" ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

K - fator de proporcionalidade ($\mu\text{g}\cdot\text{seg}/\text{g}\cdot\text{m}^3$)

e - emissão na unidade de tempo (g/seg)

$$\text{em termos de emissão: } e = \frac{C - b}{K} \quad (2)$$

nas condições permissíveis:

$$e_{\text{perm}} = \frac{C_{\text{perm}} - b}{K} \quad (2a)$$

para resolver esta equação necessitamos estabelecer o valor de K, fator de proporcionalidade ou coeficiente angular da reta da equação (1). Sabemos que este valor é uma função local variável com a meteorologia, localização, topografia e etc. Entretanto, devemos atender os padrões em qualquer ponto de uma certa área, portanto é lícito estabelecer-se um único valor de K, ou seja, nas condições críticas:

De (2),

$$K = \frac{C_{\text{max}} - b}{e}$$

logo, se substituirmos esta expressão em (2a), teremos:

$$e_{\text{perm}} = \frac{(C_{\text{perm}} - b) e}{(C_{\text{max}} - b)}$$

$$\frac{e_{\text{perm}}}{e} = \frac{(C_{\text{perm}} - b)}{(C_{\text{max}} - b)} \quad (3)$$

Se analisarmos o que seja uma redução (R) de um certo valor, por exemplo, o de uma emissão (e), teremos:

$$e - Re = e_{\text{perm}} \quad \text{para } R < 1$$

$$\therefore R = \frac{e - e_{\text{perm}}}{e} = 1 - \frac{e_{\text{perm}}}{e}$$

logo, podemos substituir em (3) o membro da direita pelo valor $(1 - R)$.

assim

$$1 - R = \frac{C_{perm} - b}{C_{max} - b}$$

$$R = 1 - \frac{C_{perm} - b}{C_{max} - b} = \frac{C_{max} - C_{perm}}{C_{max} - b}$$

em porcentagem:

$$R\% = \frac{C_{max} - C_{perm}}{C_{max} - b} \times 100$$

Para a região da Grande São Paulo, a estação de Capuava Industrial é considerada como crítica ($1316 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Sendo o padrão de qualidade do ar $365 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a não ser ultrapassado mais que uma vez por ano e assumindo a concentração de "background" como $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, teremos em 1976

$$R\% = \frac{1316 - 365}{1316 - 25} \times 100 = 73,66$$

$$R_C\% = 73,66$$

V. PRINCIPAIS FONTES DE SO₂ NA REGIÃO DA GRANDE SÃO PAULO

A tabela 5 apresenta a estimativa de emissão de dióxido de enxofre na região da Grande São Paulo. Esta tabela está baseada no Relatório Final do Inventário das Fontes de Poluição do Ar da CETESB (2).

Tabela 5 - Distribuição das Emissões de óxidos de Enxofre pelas principais categorias de Fontes para Região da Grande São Paulo (2)

Emissão Categorias de Fonte	ton/ano	ton/dia	%
	Processos e Operações Industriais	8395	23
Queima de Combustível em Fontes Estacionárias	280320	768	87,2
Veículos	32120	88	10,0
Queima de Resíduos Sólidos	365	1	0,2
TOTAL	321200	880	100%

Conforme se pode observar a principal fonte de óxidos de enxofre é a queima de combustível em fontes estacionárias. Se discriminarmos por consumo de combustível a emissão atual do ítem "Queima de Combustível em Fontes Estacionárias" da tabela anterior teremos :

Consumo de Combustível		Emissão de SO _x
Óleo tipo BPF - 183602 m ³ /mês	-	589 ton/dia
Óleo tipo BTE - 66513 m ³ /mês	-	43 ton/dia
Óleo Diesel - 173204 m ³ /mês	-	130 ton/dia

Óleo Tipo 4 - 3697 m ³ /mês	-	4 ton/dia
Outros Combustíveis fósseis que contenham enxofre		2 ton/dia
TOTAL		768 ton/dia (280320 ton/ano)

Desta forma a queima de óleo combustível BPF, que contém cerca de 5% de enxofre, é a responsável por 76,7% das emissões de SO_x pela queima de combustível em fontes estacionárias.

Desta forma a principal fonte de poluição do ar na Região da Grande São Paulo é a queima de óleo combustível com alto teor de enxofre (BPF) em fontes estacionárias.

VI. ALTERNATIVAS DE CONTROLE SELECIONADA

Conforme visto anteriormente a principal fonte de SO_2 na Região da Grande São Paulo é a queima de óleo combustível em fontes estacionárias.

Uma análise rápida do inventário das fontes de poluição do ar (2) da região vai demonstrar que esta queima se dá em um grande número de pequenas e médias fontes.

As alternativas de controle na fonte, para o dióxido de enxofre, tais como lavagem com amônia, produção de adubo e/ou de ácido sulfúrico, etc, são complexos e onerosos. Somente justifica cogitar deste tipo de alternativa quando a quantidade e concentração de SO_2 emitida por uma única chaminé e bastante grande, conforme ocorre em grandes usinas termo elétricas ou em fundições primárias de minérios a base de enxofre.

Evidentemente este não é o caso da região em pauta.

A alternativa tecnicamente mais viável seria a da substituição do óleo combustível de alto teor de enxofre, BPF (5%S) pelo óleo combustível de baixo teor de enxofre BTE (1%S). No que se refere a implantação esta substituição traria pequenas modificações nos queimadores atuais e seria, do ponto de vista técnico perfeitamente viável, conforme aliás, já ficou demonstrado em algumas fontes que durante o inverno de 1976 efetuaram tal substituição.

VII. REDUÇÃO NAS EMISSÕES SE TODO ÓLEO BPF
 FOSSE SUBSTITUÍDO POR ÓLEO BTE

Tomando com base o consumo de 1976, conforme o inventário das fontes de poluição para a Região da Grande São Paulo (2), e assumindo que todo óleo BPF fosse substituído por óleo BTE teríamos :

Consumo de Combustível		Emissão de SO _x
Óleo tipo BTE - 250115 m ³ /mês	-	158 ton/dia
Óleo Diesel - 173204 m ³ /mês	-	130 ton/dia
Óleo tipo 4 - 3697 m ³ /mês	-	4 ton/dia
Outros combustíveis fósseis que contenham enxofre	-	2 ton/dia
	TOTAL	294 ton/dia
		(107310 ton/ano)

Assumimos na distribuição acima que a diferença de poder calorífico entre o óleo BPF e BTE fosse desprezível para simplicidade de cálculos.

A distribuição das emissões de SO_x por categoria de fonte esta apresentado na tabela 6.

Tabela 6 : Distribuição das emissões de SO_x por tipo de fonte para a Região da Grande São Paulo.

Se o óleo BTE tivesse sido usado em lugar do óleo BPF - 1976.

FONTE	EMISSÃO (t/ano)	EMISSÃO (t/dia)	%
Processos e Operações Industriais	8395	23	5,70
Queima de Combustível em Fontes Estacionárias	107310	294	72,40
Veículos	32120	88	21,70
Queima de Resíduos Sólidos	365	1	0,2
TOTAL	148190	406	100

Dos totais das tabelas 5 e 6 obtemos a redução total passível de ser atingida pela alternativa de controle proposta com base nos valores de consumo de 1976.

$$R_{e_T} \% = \frac{321200 - 148190}{321200} \times 100 = 53,86$$

Pela comparação direta entre a redução necessária calculada pelo modelo proporcional Item IV e a redução que seria obtida pela medida verifica-se :

$$R_C \% = 73,66$$

$$R_{e_T} = 53,86$$

Portanto isto demonstra que os padrões de qualidade não seriam atingidos em 1976 a menos que as emissões fossem, além das medidas tomadas, reduzidas em mais 19,8% com relação ao total da tabela 5.

VIII. VERIFICAÇÃO DA EFICÁCIA DA SUBSTITUIÇÃO DE ÓLEO BPF
POR BTE PARA A QUALIDADE DO AR ESTIMADA PARA 1977.

A fim de se avaliar a eficácia da alternativa de controle para 1977, foi feita uma estimativa das concentrações máximas em cada estação de amostragem que poderão ser atingidas em 1977, utilizando-se a metodologia de Larsen (4).

1. Concentrações Máximas Corrigidas de Dióxido de Enxofre, projetadas para 1977 a partir dos dados do primeiro trimestre.

Para cada uma das sete estações medidoras em estudo, a partir dos dados obtidos no primeiro trimestre de cada ano, no período de 1974 a 1976, foi feita a estimativa da concentração máxima a ocorrer no resto do ano pelo método de Larsen (4)

Tais valores foram então comparados com os valores máximos reais ocorridos, estabelecendo-se um percentual de variação positivo para cada ano em cada estação.

Com base nos dados obtidos no primeiro trimestre de 1977, utilizando-se o método já mencionado foi encontrado um valor básico da concentração máxima ao qual foi imputado um incremento positivo dentro das variações médias apresentadas para cada estação. Este incremento positivo constituiu-se na média aritmética das variabilidades mais um desvio padrão, no que concerne as diferenças observadas pelas previsões baseadas no 1º trimestre de 1974, 1975 e 1976 e os valores reais ocorridos no decorrer destes anos.

A tabela 7 apresenta os resultados obtidos. Na mesma tabela estão as reduções percentuais necessárias calculadas a partir da concentração máxima corrigida através da aplicação do modelo proporcional já descrito.

Tabela 7 - Concentrações máximas esperadas em 7 estações para 1977 e reduções necessárias para atingimento de concentrações inferiores a $365 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Estação Local	C_{max} corrigida ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Redução Percentual Necessária
ACLIMAÇÃO	487	26,41
CAMPOS ELISEOS	448	19,62
CERQUEIRA CESAR	315	não necessita
TATUAPÉ	433	16,67
VILA ANASTÁCIO	470	23,60
CAPUAVA INDUSTRIAL	614	42,28
SÃO CAETANO DO SUL	558	36,21

Verifica-se que Capuava Industrial se mantém como local crítico necessitando 42,28% de redução em sua concentração máxima corrigida.

$$R_c = 42,28\%$$

2. Projeção das Emissões de SO_x na Grande São Paulo - 1977.

Para efeito de crescimento das emissões de SO_x , foi adotado um fator de 5% para todas as fontes da tabela 5, exclusive o item veículos cujo crescimento foi considerado nulo. De tal assumida resulta a tabela 8.

Tabela 8 : Distribuição das Emissões de SO_x , estimada para 1977, por tipo de fonte, mantendo-se as proporções do tipo de óleo consumido em 1976. Região da Grande São Paulo.

FONTE	EMISSÃO (t/ano)	EMISSÃO (t/dia)
Processos e Operações Industriais	8815	24,15
Queima de Combustível em Fontes Estacionárias	294336	806,40
Veículos	32120	88,00
Queima de Resíduos Sólidos	383	1,05
TOTAL	335654	919,60

A priori sabemos que para a condição de troca de todo o óleo BPF por BTE, a redução do segundo item da tabela 8 será - 61,72% da mesma forma que o item VI, devido estarmos dando um acréscimo constante de 5% nas emissões de SO_x .

$$R_{FEC} = 61,72\% (181664,2 \text{ t/ano})$$

logo o novo total geral será : $335654 - 181664,2 = 153989,82$
t/ano

a redução obtida será então de :

$$R_{eT} = \frac{335654 - 153989,82}{335654} \times 100 = 54,12\%$$

Desta forma, tendo em vista o modelo proporcional, podemos comparar.

$$R_C = 42,28\%$$

$$R_{eT} = 54,12\%$$

$R_{eT} \% > R_C \%$, logo é de se esperar que em 1977, se a mudança de combustível se realizar antes de uma concentração de $365 \mu\text{g}/\text{m}^3$ em Capuava Industrial, atenderemos neste ano a condição de nenhuma concentração ultrapassar aquele número.

IX. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com base nos dados de qualidade do ar observados no período de 1974 a 1977 podemos verificar que os padrões de qualidade do ar para dióxido de enxofre estão sendo superados e, portanto, considerando-se que a base para o estabelecimento destes padrões é a proteção da saúde, podemos presumir que efeitos adversos sobre a saúde da população exposta devem estar ocorrendo.

A alternativa de controle proposta, ou seja substituição do óleo combustível com alto teor de enxofre (BPF) por óleo de baixo teor de enxofre, seria suficiente para se conseguir manter em 1977 os níveis de qualidade do ar abaixo do padrão diário a não ser excedido mais de que uma vez por ano.

Cabe ressaltar aqui que a estimativa das concentrações máximas para 1977 baseada nos dados do primeiro trimestre é pobre devido a fatores sazonais envolvidos. Assim se condições meteorológicas desfavoráveis ocorrerem, podemos atingir concentrações máximas acima das previstas conforme ocorreu em 1976.

Desta forma recomendamos que a substituição de óleo BPF por BTE seja realizada ainda antes dos meses de inverno quando as condições meteorológicas são as mais adversas para a dispersão dos poluentes na Região da Grande São Paulo.

12/01/78

B I B L I O G R A F I A

12/01/78

- 1. Air Quality Crieteria for Sulfur Oxides - U.S. Department of Health Education and Welfare. NAPCA - AP-50, 1970.
- 2. Relatório Final do Inventário das Fontes de Poluição do Ar - Meta III.5.1 do Plano de Atividades da DPAR - CETESB 1977.
- 3. Nevers, N; Morris, R.J., Rollback Modeling: Basic and Modified, Journal of Air Pollution Control Association, vol 25, nº 9, sept. 75.
- 4. Larsen, R.I., A Mathematical Model for Relating Air Quality Measurements to Air Quality Standards, EPA, AP-89, 1971.

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA

BIBLIOTECA	
DEVOLVER EM	DEVOLVER EM

Data Aquis.:	09/12/91
Indic.:	
Livrota:	
Preço:	
Data Lombo:	09/12/91

**CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA
DE SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA**

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 documento.