

**9º CONGRESSO BRASILEIRO
DE
ENGENHARIA SANITÁRIA**

Belo Horizonte, 3 a 8 de Julho de 1977.

**O PROBLEMA DO DIÓXIDO
DE ENXOFRE
NA REGIÃO DA
GRANDE SÃO PAULO.
SITUAÇÃO ATUAL E
PERSPECTIVAS FUTURAS**

ARQUIVO TECNICO

8207
M562p
009509



CETESB

10269



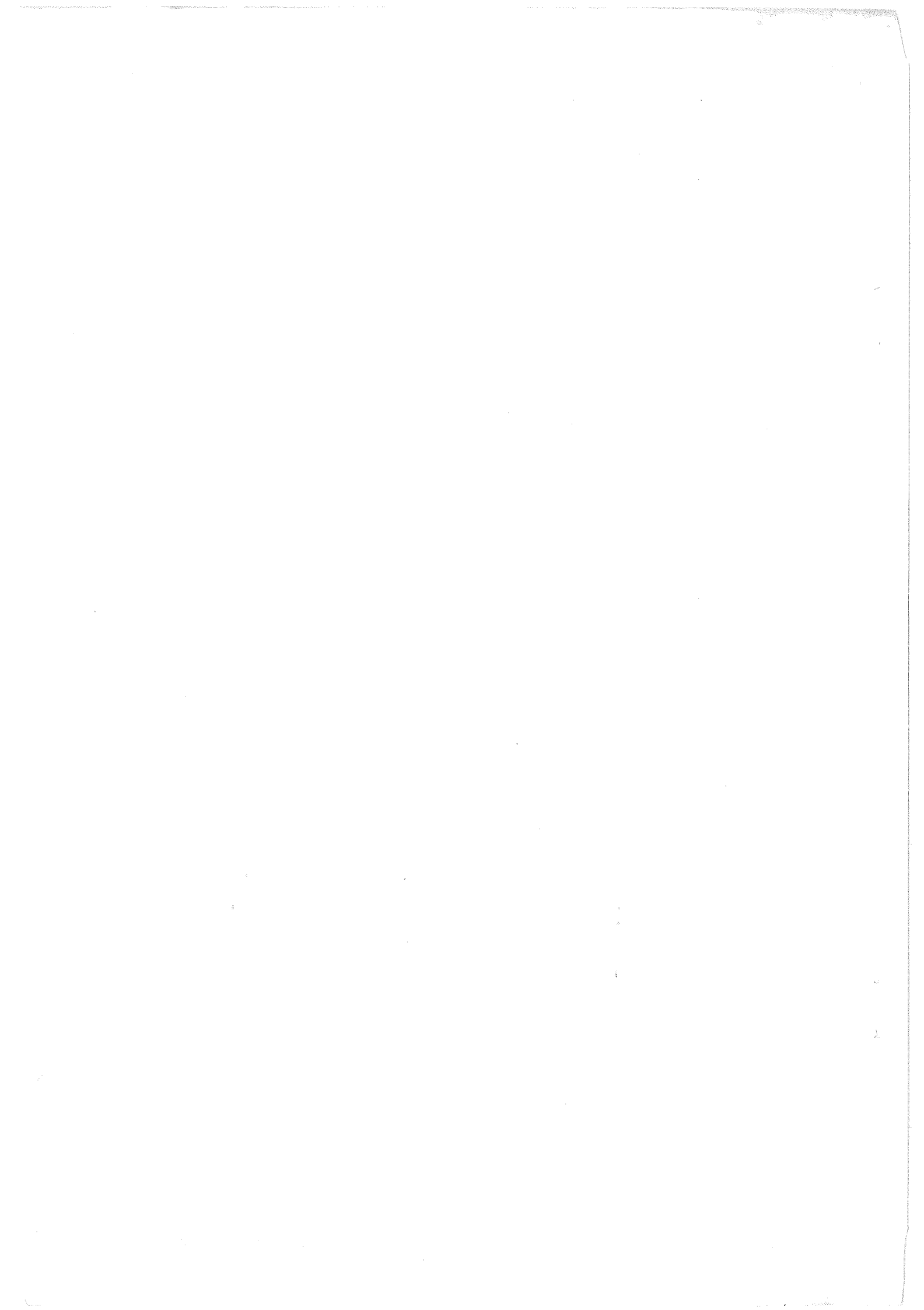
009509



CETESB

Companhia de Tecnologia de
Saneamento Ambiental

São Paulo - SP - Brasil



ÍNDICE

Resumo	II- 5
Introdução.....	II- 5
Principais efeitos associados ao SO ₂	II- 5
Níveis de SO ₂ na região da Grande São Paulo	II- 6
Redução necessária nas emissões para se atingir o padrão de qualidade do ar	II-11
Principais fontes de SO ₂ na região da Grande São Paulo	II-13
Alternativas de controle selecionadas	II-14
Redução nas emissões se todo óleo BPF fosse substituído por óleo BTE	II-14
Verificação da eficácia da substituição de óleo BPF por BTE para a qualidade do ar estimada para 1977	II-15
Conclusões e recomendações	II-17
Bibliografia	II-17

Class. 8620
Tembe 9509

8207
M562p
009509

II — O PROBLEMA DO DIÓXIDO DE ENXOFRE NA REGIÃO DA GRANDE SÃO PAULO — SITUAÇÃO ATUAL E PERSPECTIVAS FUTURAS

Armando Luiz de Souza Mesquita*
Ernesto Ronchini Lima**

RESUMO

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 obtidos nas estações de amostragem da CETESB.

A principal fonte de emissão de SO_2 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.

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 fixados.

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

PRINCIPAIS EFEITOS ASSOCIADOS AO SO_2

A literatura apresenta um grande número de estudos toxicológicos e epidemiológicos relacionando concentrações de SO_2 , 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 SO_2 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 três a quatro vezes quando além do SO_2 a atmosfera continha material particulado capaz de oxidar o SO_2 a ácido sulfúrico.

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

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

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

Outro aspecto importante é que em todas as comunidades existem pessoas com problemas de saúde que são particularmente suscetíveis 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 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 atmosféricos. 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 literatura técnica existente¹.

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, já citados, valem:

- concentração anual de SO₂ não deve ser superior a 80 µg/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, prevê, em seu capítulo III, níveis de concentrações de SO₂ e combinação destas com material particulado onde 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 à 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 SO₂ = 800 µg/m³ ou produto entre concentração de SO₂ e material particulado igual a 65 000;

Estado de alerta – concentração média de 24 h de SO₂ = 1 600 µg/m³ ou produto entre concentração de SO₂ e material particulado igual a 261 000;

Estado de emergência – concentração média de 24 h de SO₂ = 2 100 µg/m³ ou produto entre concentração de SO₂ e material particulado igual a 393 000.

NÍVEIS DE SO₂ NA REGIÃO DA GRANDE SÃO PAULO

A CETESB-Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, mantém em operação, na região da Grande São Paulo, 13 estações de amostragem para o poluente SO₂, distribuídas conforme a Figura 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 César, Vila Anastácio, Campos Elíseos, 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, está representada a sobredose, qual seja, o excesso de concentração a 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 superior ao padrão diário de qualidade do ar, número de dias, também é apresentada.

A Figura 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, devem estar ocorrendo 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.

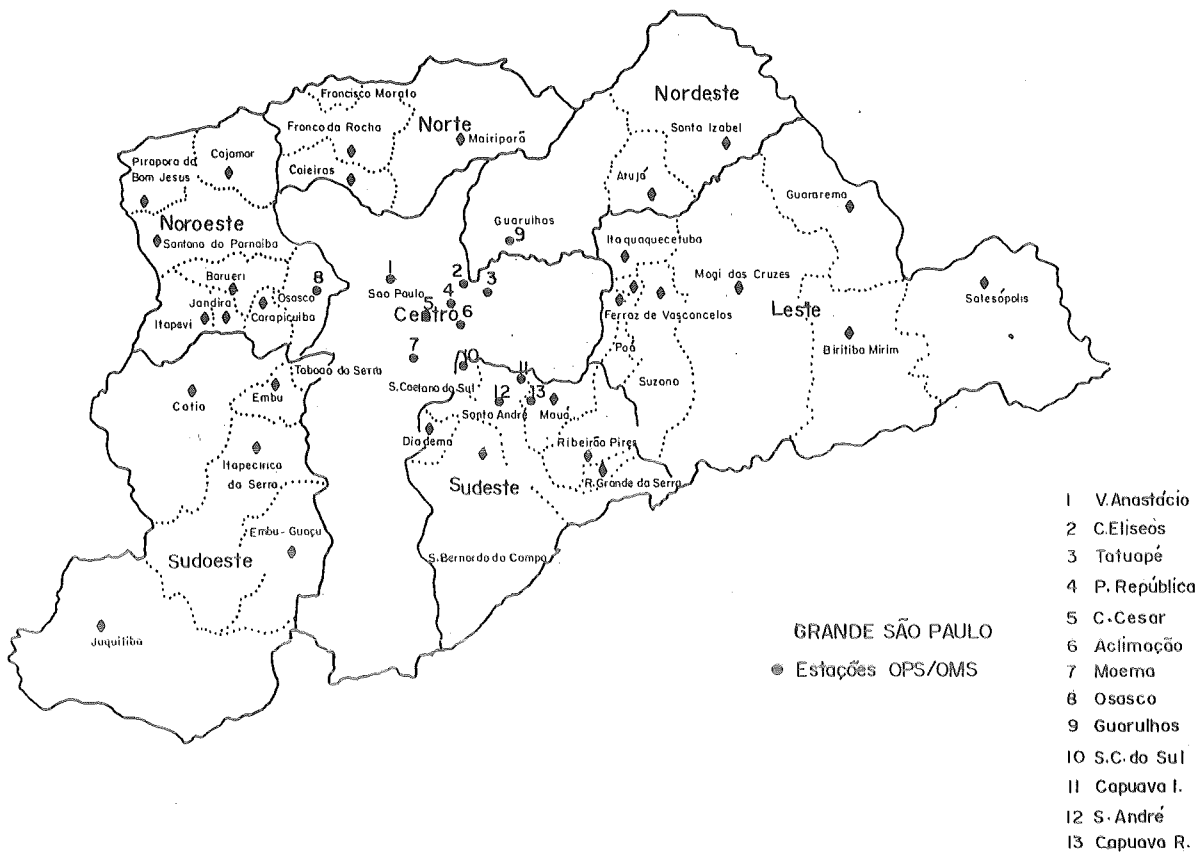


Fig. 1 - Estações de amostragem para o poluente SO_2 .

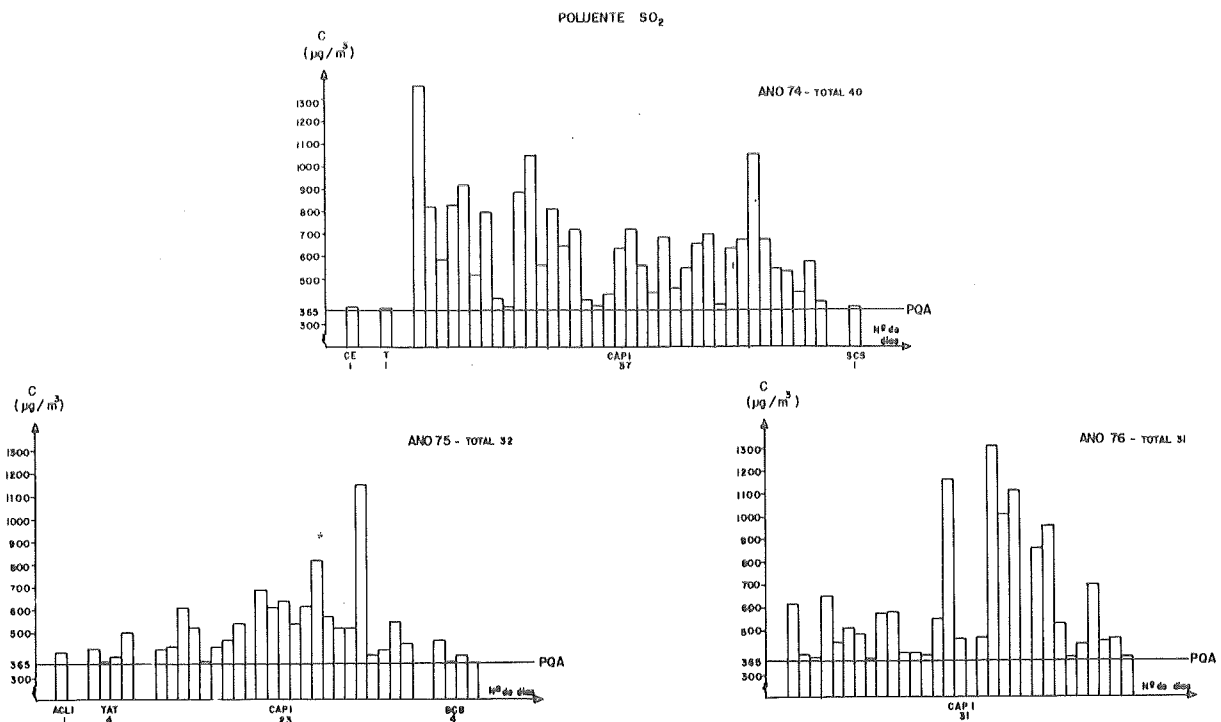


Fig 2 - Dias em que o padrão foi excedido nas estações em estudo.

TABELA 1
DIAS EM QUE O PADRÃO FOI EXCEDIDO (PERÍODO DE
1974-1977 INCLUSIVE) NAS ESTAÇÕES DE ESTUDO¹

SO₂

		Concentração Atingida ^a	SDOSE ^b	Frequência
Local	Data			
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 Industrial	03/01/74	1 358	993	
	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	1 048	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	
	04/07/74	557	192	
	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	1 059		
	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

		Concentração Atingida ^a	SDOSE ^b	Frequência
Local	Data			
Capuava	06/02/75	430		
Industrial	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	
Capuava	19/08/75	546	181	
Industrial	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	1 150	785	
	19/09/75	370	5	
	27/09/75	432	67	
	13/11/75	549	184	
	19/12/75	446	81	23
Capuava	03/01/76	618	253	
Industrial	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	1 156		
	24/03/76	464	445	
	26/03/76	372	7	
	29/03/76	473	108	
	31/03/76	1 316	951	
	04/04/76	1 009	644	
	09/04/76	1 114	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 Industrial	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 Elíseos	12/07/74	380	15	1

PQA/SO₂ 24 h ——— 365 µg/m³

^aConcentrações em µg/m³

^bSDose em µg dia/m³.

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

TABELA 2A
CONCENTRAÇÕES MÉDIAS MENSAIS DE DIÓXIDO DE ENXOFRE NAS ESTAÇÕES EM ESTUDO
1974 – valores em µg/m³

ESTAÇÕES	JAN.	FEV.	MAR.	ABR.	MAI.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OUT.	NOV.	DEZ.
Aclimação	100,87	115,53	104,76	117,99	162,20	113,30	181,50	126,33	93,48	80,94	67,52	56,26
Campos Elíseos	101,52	118,13	103,40	120,78	141,92	110,81	188,65	143,72	99,15	117,03	101,74	81,21
Cerqueira 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 Industrial	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. Caetano do 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

TABELA 2B
CONCENTRAÇÕES MÉDIAS MENSAIS DE DIÓXIDO DE ENXOFRE NAS ESTAÇÕES EM ESTUDO
1975 – valores em µg/m³

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
Campos Elíseos	87,51	104,56	103,84	128,31	127,12	170,12	167,71	172,62	123,49	114,70	92,09	117,20
Cerqueira 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 Industrial	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. Caetano do 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
 1976 – valores em $\mu\text{g}/\text{m}^3$

ESTAÇÕES	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
Campos Elíseos	106,94	102,74	112,66	115,56	125,39	153,10	132,97	116,58	117,47	119,48	139,79	113,63
Cerqueira 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. Anastácio	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 Industrial	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. Caetano do 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

TABELA 2D
CONCENTRAÇÕES MÉDIAS MENSAIS DE DIÓXIDO DE ENXOFRE NAS ESTAÇÕES EM ESTUDO
 1977 – valores em $\mu\text{g}/\text{m}^3$

ESTAÇÕES	JAN.	FEV.	MAR.	ABR.	MAI.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OUT.	NOV.	DEZ.
Aclimação	103,77	137,96	111,84									
Campos Elíseos	122,87	152,57	130,19									
Cerqueira Cesar	65,42	97,57	89,45									
Tatuapé	103,54	129,19	111,55									
V. Anastácio	76,67	109,46	95,19									
Capuava Industrial	171,87	186,18	172,79									
S. Caetano do Sul	115,13	123,46	99,00									

TABELA 3
CONCENTRAÇÕES MÉDIAS ANUAIS – SO₂ – ESTAÇÕES EM ESTUDO PERÍODO 1974-1976
 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

ESTAÇÃO \ ANOS	1974	1975	1976
Aclimação	110	112	106
Campos Elíseos	119	126	121
Cerqueira Cesar	76	82	72
Tatuapé	130	135	115
V. Anastácio	101	97	82
Capuava Industrial	268	189	193
S. Caetano do Sul	121	129	122

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

Se nos basearmos nos valores de qualidade do ar de 1976, poderemos estimar qual a redução, nas emissões, seria necessária para manter os níveis de qualidade do ar abaixo do padrão, utilizando-se para tanto o modelo proporcional³.

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 a 31.12.76

ESTAÇÕES EM ESTUDO	CONCENTRAÇÃO MÁXIMA AMOSTRAGEM DE 24 hs ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Aclimação	340
Campos Elíseos	309
Cerqueira Cesar	212
Tatuapé	348
Vila Anastácio	234
Capuava Industrial	1 316
São Caetano do Sul	342

Área crítica: Capuava Industrial: $C_{\text{máx}} = 1\,316 \mu\text{g}/\text{m}^3$

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 ($C_{\text{máx}} = 1\,316 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

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", que 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:

$$C = b + Ke \tag{1}$$

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)

em termos de emissão:

$$e = \frac{C - b}{K} \tag{2}$$

nas condições permissíveis:

$$e_{\text{perm}} = \frac{C_{\text{perm}} - b}{K} \tag{2a}$$

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, 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),

$$K = \frac{C_{\text{máx}} - b}{e}$$

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

$$e_{perm} = \frac{(C_{perm} - b) e}{(C_{m\acute{a}x} - b)}$$

$$\frac{e_{perm}}{e} = \frac{(C_{perm} - b)}{(C_{m\acute{a}x} - b)} \quad (3)$$

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

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

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

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

$$1 - R = \frac{C_{perm} - b}{C_{m\acute{a}x} - b}$$

$$R = 1 - \frac{C_{perm} - b}{C_{m\acute{a}x} - b} = \frac{C_{m\acute{a}x} - C_{perm}}{C_{m\acute{a}x} - b}$$

em porcentagem:

$$R\% = \frac{C_{m\acute{a}x} - C_{perm}}{C_{m\acute{a}x} - b} \times 100$$

Para a região da Grande São Paulo, a estação de Capuava Industrial é considerada como crítica (1 316 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). 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:

$$R\% = \frac{1\,316 - 365}{1\,316 - 25} \times 100 = 73,66$$

$$R_C\% = 73,66$$

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 A REGIÃO DA GRANDE SÃO PAULO²

Categorias de fonte	Emissão		
	t/ano	t/dia	%
Processos e operações industriais	8 395	23	2,6
Queima de combustível em fontes estacionárias	280 320	768	87,2
Veículos	32 120	88	10,0
Queima de resíduos sólidos	365	1	0,2
TOTAL	321 200	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 item "Queima de Combustível em Fontes Estacionárias" da tabela anterior teremos:

Consumo de Combustível		Emissão de SO _x
Óleo tipo BPF – 183 602 m ³ /mês	–	589 t/dia
Óleo tipo BTE – 66 513 m ³ /mês	–	43 t/dia
Óleo Diesel – 173 204 m ³ /mês	–	130 t/dia
Óleo tipo 4 – 3 697 m ³ /mês	–	4 t/dia
Outros combustíveis fósseis que contenham enxofre	–	2 t/dia
TOTAL		768 t/dia
		(280 320 t/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.

Assim, 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.

ALTERNATIVAS DE CONTROLE SELECIONADAS

Conforme visto anteriormente a principal fonte de SO₂ 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 ar² 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 complexas e onerosas. Somente justifica cogitar este tipo de alternativa quando a quantidade e concentração de SO₂ emitida por uma única chaminé é bastante grande, conforme ocorre em grandes usinas termoeletricas ou em fundições primárias de minérios à 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 à 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.

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 Paulo², e assumindo que todo óleo BPF fosse substituído por óleo BTE teríamos:

Consumo de Combustível		Emissão de SO _x
Óleo tipo BTE – 250 115 m ³ /mês	–	158 t/dia
Óleo Diesel – 173 204 m ³ /mês	–	130 t/dia
Óleo tipo 4 – 3 697 m ³ /mês	–	4 t/dia
Outros combustíveis fósseis que contenham enxofre	–	2 t/dia
TOTAL		294 t/dia
		(107 310 t/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, está apresentada 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	EMIÇÃO (t/ano)	EMIÇÃO (t/dia)	%
Processos e operações industriais	8 395	23	5,70
Queima de combustível em fontes estacionárias	107 310	294	72,40
Veículos	32 120	88	21,70
Queima de resíduos sólidos	365	1	0,2
TOTAL	148 190	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.

$$R_{eT}\% = \frac{321\ 200 - 148\ 190}{321\ 200} \times 100 = 53,86$$

Pela comparação direta entre a redução necessária calculada pelo modelo proporcional (Ver redução necessária nas Emissões para se Atingir o Padrão de Qualidade do Ar.) e a redução que seria obtida pela medida verifica-se:

$$R_C\% = 73,66$$

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

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.

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 Larsen⁴.

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 Larsen⁴.

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 constitui-se na média aritmética das variabilidades mais um desvio padrão, no que concerne às 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	$C_{\text{máx}}$ corrigida ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Redução percentual necessária
ACLIMAÇÃO	487	26,41
CAMPOS ELÍSEOS	448	19,62
CERQUEIRA CÉSAR	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.

$$R_c = 42,28\%$$

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, resultando 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	8 815	24,15
Queima de combustível em fontes estacionárias	294 336	806,40
Veículos	32 120	88,00
Queima de resíduos sólidos	383	1,05
TOTAL	335 654	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 – Alternativas de Controle Seleccionadas – devido estarmos dando um acréscimo constante de 5% nas emissões de SO_x .

$$R_{\text{FEC}} = 61,72\% \text{ (181 664,2 t/ano)}$$

logo o novo total geral será: $335\ 654 - 181\ 664,2 = 153\ 989,82$ t/ano a redução obtida será então de:

$$R_{eT} = \frac{335\ 654 - 153\ 989,82}{335\ 654} \times 100 = 54,12\%$$

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 da ocorrência de uma concentração de $365\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ em Capuava Industrial, atenderemos, neste ano, à condição de nenhuma concentração ultrapassar aquele número.

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.

BIBLIOGRAFIA

1. *Air Quality Criterin 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., ROELBOOK 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 Measumenty to Air Quality Standards*, EPA, AP-89, 1971.



