

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: DESENVOLVIMENTO DE
PROCESSOS QUÍMICOS**

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

**Estudo do Impacto Ambiental das Fontes Industriais de Poluição
do Ar no Município de Paulínia – S.P. Empregando o Modelo
ISCST3**

**Daniela de Amorim Clemente
Autora**

**Prof. Dr. Edson Tomaz
Orientador**

**Dissertação de mestrado apresentada à Faculdade de Engenharia Química
como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de mestre em
Engenharia Química.**

**Campinas – São Paulo
Setembro/2000**



UNIDADE	BC
N.º CHAMADA:	1/Unicamp
	C591e
V.	Es.
TOMBO BC/	43854
PROC.	16-392101
C	☐
D	☒
PREC.	R\$ 11,00
DATA	21/02/01
N.º CPD	

CM-00153428-7

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

C591e Clemente, Daniela de Amorim
Estudo do impacto ambiental das fontes industriais de poluição do ar no município de Paulínia – SP empregando o modelo ISCST3 / Daniela de Amorim Clemente.--Campinas, SP: [s.n.], 2000.

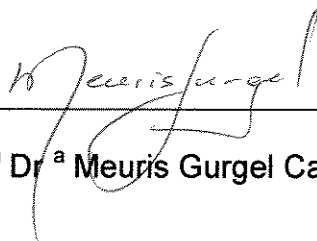
Orientador: Edson Tomaz
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química.

1. Ar - Poluição. 2. Impacto ambiental. 3. Poluentes. 4. Dispersão – Modelos matemáticos. 5. Paulínia (SP). I. Tomaz, Edson. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Química. III. Título.

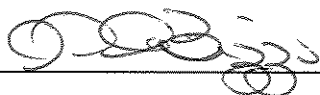
Dissertação de Mestrado defendida por Daniela de Amorim Clemente e aprovada
em 20 de Setembro de 2000 pela banca examinadora constituída pelos doutores:



Prof. Dr. Edson Tomaz

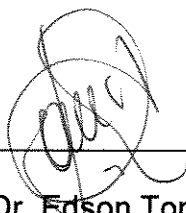


Prof.ª Dr.ª Meuris Gurgel Carlos da Silva



Prof. Dr. Waldir Antônio Bizzo

Este exemplar corresponde à versão final da dissertação de mestrado apresentada por Daniela de Amorim Clemente e aprovada pela banca examinadora em 20 de Setembro de 2000.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Edson Tomaz', is written over a horizontal line.

Prof. Dr. Edson Tomaz

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

*Aos meus pais (Evandro e Vani)
e ao meu namorado (Luiz Henrique)
pelo apoio, incentivo e amor incondicional.*

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador por aceitar o desafio de trabalharmos juntos numa época de grandes incertezas. Por propor um tema de estudo tão importante e que traz contribuições para sociedade. Por nunca se sentir desmotivado com o trabalho, mesmo diante de grandes dificuldades. Pelo auxílio em todas as etapas e sobretudo pela amizade.

Aos meus amigos do Laboratório de Pesquisa e Desenvolvimento de Tecnologias Ambientais, Ana Claudia, Jorge e Kelly, pelo companheirismo, sugestões e colaborações na realização deste trabalho.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal do Ensino Superior - CAPES, pela concessão de bolsa de estudo.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, pela concessão de auxílio à pesquisa para financiamento deste projeto.

Ao Ministério Público do Estado de São Paulo – Promotoria de Justiça de Paulínia, que, através dos Termo de Ajustamento de Conduta com empresas da região contribui para a criação da infra-estrutura necessária para o desenvolvimento da pesquisa sobre poluição do ar na Unicamp.

Ao Dr. Luis Fernando Rossetto pela confiança, apoio e efetiva contribuição no desenvolvimento do presente trabalho.

A Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB, pelo apoio e oportunidades de discussões técnicas

Ao Engenheiro Wai Nam Chan pelo apoio e frutíferas discussões no desenvolvimento do trabalho.

As empresas que tornaram este trabalho possível:

Petróleo Brasileiro S/A - Replan

Rhodia Brasil Ltda

Rhodiaco Industrias Químicas Ltda

Shell Brasil S/A

Ely Lilly do Brasil Ltda

Hércules do Brasil Ltda

Bann Química Ltda

Du Pont do Brasil Ltda

Orsa Papel, Papelão e Embalagens S/A

Galvani S/A

Às seguintes pessoas pela sua valiosa colaboração:

Prof. Dr. Wilson de Figueiredo Jardim, Jesuino Romano, Dr. Claudio Darwin Alonso, Luis Eduardo de Souza Leão, André Fabrício Paranhos Torres, Adriano Ganjo, Milton Ciccone, Cid Ferreira, Edson Minawa, Roberto W. Vieira, Olivier Zanella Filho, Jorge Mercanti, Edmundo Isquiller Filho, Ézio da Costa, Francisco Maresca, Edmar A. Jesus da Costa, Dailto Silva, De Jesus Cerqueira, Antonio Carlos Neto, Dr. Luis Tadeu Furlan e José Edson Lopes.

Ao Luiz Henrique, Alexandre, Ana Claudia e Karla Patrícia pelo suporte computacional.

As minhas amigas “velhas de guerra”, Ana Carolina, Ana Paula, Cristiane, Elisandra, Fabiola, Fânia, Francine e Giovana, pelo prazer de compartilharmos por mais alguns anos todos os tipos de sentimentos.

O que existe de mais profundo e mais belo no nosso trabalho é a possibilidade de compartilhar crenças, valores, motivações, ponto de vista, sentimentos e percepções.

Participar de um trabalho assim é ter a oportunidade de re-significar nossa presença e atuação neste mundo como pessoa, como profissional e como cidadão.

(Antônio Carlos Egypto)

RESUMO

O município de Paulínia - SP possui um parque industrial expressivo e constitui um polo atrativo para expansão industrial, apresentando sinais importantes de degradação ambiental em vários aspectos. No entanto, poucos estudos têm sido realizados no sentido de avaliar a situação atual de poluição do ar na região, visando desenvolver uma base de conhecimento para subsidiar o Estado na definição de políticas públicas e mesmo os empreendedores na decisão de novos investimentos na região.

O presente trabalho tem como objetivo fazer um estudo sobre poluição do ar na região, estimando-se a qualidade do ar em todo domínio considerado, para identificar as regiões mais atingidas pelos efeitos da dispersão dos poluentes, bem como, para auxiliar no planejamento da etapa subsequente do trabalho desenvolvido na Unicamp que é a monitorização da qualidade do ar empregando um laboratório móvel.

A estimativa da qualidade do ar na região está baseada num minucioso inventário de emissões de poluentes do ar, em dados meteorológicos de três anos e no uso de um modelo matemático aceito por diversos órgãos ambientais nacionais e internacionais.

São realizadas comparações entre os dados medidos por uma estação de monitorização da Cetesb e os dados no estudo, obtendo uma razoável coerência entre os resultados.

Da análise das curvas de isoconcentração para os diversos poluentes estudados é possível identificar as regiões críticas quanto à alteração da qualidade do ar, servindo como base para o planejamento dos estudos de campo com a estação móvel de monitorização de qualidade do ar.

ABSTRACT

The municipal district of Paulínia-SP possesses an expressive industrial park and it constitutes an attractive pole for industrial expansion, presents important signs of environmental degradation in several aspects. However, few studies have been accomplished in the sense of evaluating the current situation of air pollution in the area, seeking to develop a knowledge base to subsidize the state in the definition of public politics and even the entrepreneurs in the decision of new investments in the area.

The present work has as objective to do a study about air pollution in this area, being made estimates about air quality in whole considered domain, to identify the areas more reached by the effects of pollutants dispersion, as well as, to aid in the planning of the subsequent stage of the work developed in Unicamp that is the air quality monitoring, by means of a mobile laboratory.

Estimate of air quality in the area is based on a meticulous air pollutants emission inventory, in three-year meteorological data and in the use of a mathematical model accepted by national and international environmental agencies.

Comparisons are accomplished among data measured by an monitoring station of Cetesb (State Environmental Agency – São Paulo) and the data estimated in the study, obtaining a reasonable coherence among the results.

From analysis of isoconcentration curves for the several pollutants studied it is possible to identify the critical areas with relationship to air quality alteration, being good as base for planning field measures with the air quality monitoring mobile station.

PÁGINAS PRELIMINARES

DEDICATÓRIA.....	vii
AGRADECIMENTOS.....	ix
EPÍGRAFE.....	xiii
RESUMO.....	xv
ABSTRACT.....	xvii
SUMÁRIO.....	xix
LISTA DE FIGURAS.....	xxv
LISTA DE GRÁFICOS.....	xxxi

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO..... 1

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO	3
------------------------------	---

1.1 <i>Objetivos do trabalho</i>	4
--	---

CAPÍTULO 2: REVISÃO DA LITERATURA E CONCEITOS BÁSICOS SOBRE POLUIÇÃO DO AR..... 7

CAPÍTULO 2: REVISÃO DA LITERATURA E CONCEITOS BÁSICOS SOBRE POLUIÇÃO DO AR	9
--	---

2.1 <i>A poluição do ar</i>	9
2.2 <i>Principais poluentes do ar</i>	10
2.3 <i>Fontes de emissões de poluição do ar</i>	16
2.4 <i>Efeitos das emissões dos poluentes do ar</i>	17
2.5 <i>Amplitude dos efeitos dos poluentes do ar</i>	21
2.6 <i>Qualidade ambiental</i>	22
2.7 <i>Padrões ambientais</i>	24
2.8 <i>Dispersão atmosférica</i>	28

2.9. Modelo de dispersão	31
2.9.1 Considerações gerais e uso do modelo	31
2.9.2 Modelos de dispersão Gaussiana básico para fontes estacionária ...	34
2.10. Algoritmo "Industrial Source Complex (ISC3)"	41
2.11. Inventário de emissões de fontes de poluição	45
2.11.1.1 Fatores de emissões	47
2.11.1.2 Balanço de massa	49
2.11.1.3 Amostragem de chaminé	50
2.11.1.4 Modelos de emissão	51

CAPÍTULO 3: INVENTÁRIO DE EMISSÕES DAS FONTES INDUSTRIAIS DO MUNICÍPIO DE PAULÍNIA..... 75

CAPÍTULO 3: INVENTÁRIO DE EMISSÕES DAS FONTES INDUSTRIAIS DO MUNICÍPIO DE PAULÍNIA.....	77
3.1 Caracterização da região.....	77
3.2 Uso e Ocupação do solo	78
3.3 Dados meteorológicos	82
3.3.1 Rosa dos ventos	85
3.4 Inventário de emissões.....	88
3.4.1 Cálculo das taxas de emissões.....	91
3.4.2 Dados necessários para utilização do modelo ISC 3.....	111

CAPÍTULO 4: RESULTADOS E DISCUSSÕES DOS RESULTADOS..... 119

CAPÍTULO 4: RESULTADOS E DISCUSSÕES DOS RESULTADOS	121
--	-----

4.1. Comparação entre os dados preditos pelo modelo de dispersão ISC3 com dados experimentais da Estação Móvel da Cetesb.....	121
4.2. Avaliação da qualidade do ar no município de Paulínia empregando modelo matemático de dispersão de poluentes na atmosfera.....	141
CAPÍTULO 5: CONCLUSÕES.....	165
CAPÍTULO 5: CONCLUSÕES	167
CAPÍTULO 6: SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	171
CAPÍTULO 6: SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	173
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:	175

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Sistema de coordenadas da pluma de dispersão	36
Figura 2.2 – Condições de dispersão horizontal	38
Figura 2.3 - Condições de dispersão vertical	39
Figura 2.4 – Efeitos da dispersão com inversão térmica	40
Figura 2.5 – Tanque de teto fixo vertical	54
Figura 2.6 – Tanque de teto flutuante externo (ponte flutuante)	55
Figura 2.7 – Tanque de teto flutuante externo (dupla cobertura)	56
Figura 2.8 – Tanque de teto flutuante interno	57
Figura 3.1 – Mapa do uso e ocupação do solo de Paulínia	80
Figura 3.2 – Mapa do uso e ocupação do solo de Paulínia dividido em sub- áreas	82
Figura 3.3 – Rosa dos ventos para o ano de 1997	86
Figura 3.4 – Rosa dos ventos para o ano de 1998	87
Figura 3.5 – Rosa dos ventos para o ano de 1999	87
Figura 3.6 – Localização da área industrial na região objeto de estudo	88
Figura 3.7 – Topografia do terreno em coordenadas XY na região objeto de estudo	113
Figura 3.8 – Área dos tanques de estocagem dos derivados de petróleo	117
Figura 4.1 – Valores máximos das concentrações das médias diárias de material particulado no período médio de 4 de Junho a 13 de Agosto de 1998 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	129
Figura 4.2 – Concentrações médias diárias de material particulado no período de 4 de Junho a 13 de Agosto de 1998 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	130
Figura 4.3 – Valores máximos das concentrações das médias diárias de material particulado no período médio de 31 de Junho a 11 de Novembro de 1999 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	131
Figura 4.4 – Concentrações médias diárias de material particulado no período de 31 de Junho a 11 de Novembro de 1999 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	132
Figura 4.5 – Valores máximos das concentrações das médias diárias de dióxido de enxofre no período de 4 de Junho a 13 de Agosto de 1998 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	134
Figura 4.6 – Concentrações médias diárias de dióxido de enxofre no período de 4 de Junho a 13 de Agosto de 1998 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	135
Figura 4.7 – Valores máximos das concentrações das médias diárias de dióxido de enxofre no período médio de 31 de Junho a 11 de Novembro de 1999 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	136

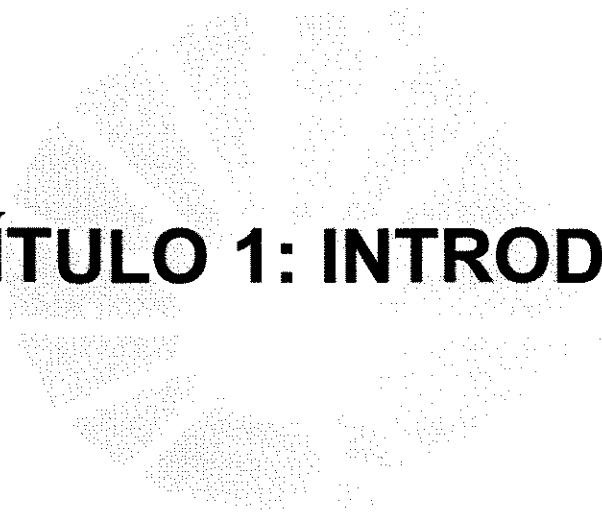
Figura 4.8 – Concentrações médias diárias de dióxido de enxofre no período de 31 de Julho a 11 de Novembro de 1999 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	137
Figura 4.9 – Valores máximos das concentrações das médias horárias de dióxido de nitrogênio no período de 4 de Junho a 13 de Agosto de 1998 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	139
Figura 4.10 – Concentrações médias horárias de dióxido de nitrogênio no período de 4 de Junho a 13 de Agosto de 1998 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	140
Figura 4.11 – Valores máximos das concentrações das médias diárias de partículas totais em suspensão para o ano de 1999 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	143
Figura 4.12 – Valores máximos das concentrações das médias diárias de partículas totais em suspensão para o ano de 1998 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	144
Figura 4.13 – Valores máximos das concentrações das médias diárias de partículas totais em suspensão para o ano de 1997 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	145
Figura 4.14 – Concentrações médias anuais de partículas totais em suspensão em 1999 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	146
Figura 4.15 – Concentrações das médias anuais de partículas totais em suspensão em 1998 (a) e 1997 (b) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	147
Figura 4.16 – Valores máximos das concentrações das médias horárias dos óxidos de nitrogênio para o ano de 1999 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	148
Figura 4.17 – Valores máximos das concentrações das médias horárias dos óxidos de nitrogênio para o ano de 1998 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	150
Figura 4.18 – Valores máximos das concentrações das médias horárias dos óxidos de nitrogênio para o ano de 1997 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	151
Figura 4.19 – Valores das concentrações médias anuais dos óxidos de nitrogênio em 1999 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	152
Figura 4.20 – Concentrações médias anuais dos óxidos de nitrogênio para 1998 (a) e 1997 (b) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	153
Figura 4.21 – Concentrações médias anuais em 1999, utilizando tempo de meia vida de 1 dia para os óxidos de nitrogênio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	154
Figura 4.22 – Concentrações médias anuais em 1999, utilizando tempo de meia vida de 7 dias para os óxidos de nitrogênio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	155
Figura 4.23 – Valores máximos das concentrações das médias diárias do dióxido de enxofre para o ano de 1999 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	156
Figura 4.24 – Valores máximos das concentrações das médias diárias do dióxido de enxofre para o ano de 1998 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	157
Figura 4.25 – Valores máximos das concentrações das médias diárias do dióxido de enxofre para o ano de 1997 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	158

Figura 4.26 – Concentrações médias anuais de dióxido de enxofre em 1999 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	159
Figura 4.27 – Concentrações médias anuais de dióxido de enxofre em 1998 (a) e 1997 (b) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	160
Figura 4.28 – Valores máximos das concentrações das médias horárias dos hidrocarbonetos para o ano de 1999 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	161
Figura 4.29 – Valores máximos das concentrações das médias horárias dos hidrocarbonetos para o ano de 1998 (a) e 1997 (b) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	162
Figura 4.30 – Concentrações das médias anuais dos hidrocarbonetos em 1999 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	163
Figura 4.31 – Concentrações das médias anuais dos hidrocarbonetos em 1998 (a) e 1997 (b) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	164

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Padrões nacionais de qualidade do ar	25
Tabela 2.2 – Critérios para episódios agudos de poluição do ar	27
Tabela 2.3 – Índice da qualidade do ar	28
Tabela 2.4 – Estimativa da temperatura média de estocagem	69
Tabela 3.1 – Exemplo de um arquivo meteorológico	83
Tabela 3.2 – Classe de estabilidade de Pasquill relacionada com velocidade do vento, radiação solar e cobertura de nuvens	84
Tabela 3.3 – Relação entre radiação solar e insolação	84
Tabela 3.4 – Distribuição da frequência mensal das inversões térmicas por faixa de altura da base	85
Tabela 3.5 – Identificação e localização das fontes pontuais	89
Tabela 3.6 – Identificação e localização das fontes áreas	91
Tabela 3.7 – Taxa de emissão de óxidos de nitrogênio (NO _x)	92
Tabela 3.8 – Taxa de emissão do dióxido de enxofre (SO ₂)	94
Tabela 3.9 – Taxa de emissão do dióxido de enxofre (SO ₂)	96
Tabela 3.10 – Dados do tipo de teto, dimensões e quantidades dos tanques	99,100
Tabela 3.11 – Características e acessórios do teto e do costado	101,102
Tabela 3.12 – Tabela de dados físico-químicos dos produtos	104
Tabela 3.13 – Dados meteorológicos da região	105
Tabela 3.14 – Volumes armazenados de derivados nos tanques	107
Tabela 3.15 – Frequência de enchimento e esvaziamento do tanque (“turnover”)	108
Tabela 3.16 – Taxa de emissão de hidrocarbonetos de tanque de estocagem (HC)	109,110
Tabela 3.17 – Dados das fontes pontuais	115
Tabela 3.18 – Dados de entrada de fontes áreas	116
Tabela 4.1 – Poluentes e métodos de medições	122
Tabela 4.2 – Concentrações diárias obtidas pela estação móvel da Cetesb no município de Paulínia na ano de 1998	123,124
Tabela 4.3 – Concentrações diárias obtidas pela estação móvel da Cetesb no município de Paulínia na ano de 1999	125,126, 127

Tabela 4.4 – Resultados comparativos entre o modelo ISC3 e a estação móvel da Cetesb para o material particulado ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nas coordenadas globais 279450 em X e 7480700 em Y	127
Tabela 4.5 – Resultados comparativos entre concentrações preditas de dióxido de enxofre e concentrações medidas pela Cetesb ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nas coordenadas geográficas 279450 em X e 7480700 em Y	133
Tabela 4.6 – Resultados comparativos entre concentrações preditas de dióxido de nitrogênio e concentrações medidas pela estação móvel Cetesb ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nas coordenadas globais 279450 em X e 7480700 em Y	138



CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

Capítulo 1: Introdução

A preservação da qualidade ambiental tem sido tratada pelos especialistas e pelos governos da maioria dos países desenvolvidos e em desenvolvimento como sendo da mais alta prioridade. Isto se deve em boa parte às constatações de degradação ambiental em diversas regiões do planeta, especialmente naquelas mais urbanizadas e industrializadas, bem como, nas alterações climáticas globais, notadamente o efeito estufa e a redução da camada de ozônio.

A gestão ambiental do Estado nas questões regionais visando o desenvolvimento sustentável depende da existência de um arcabouço legal bem estruturado e de um bom conhecimento técnico-científico sobre as áreas objeto de análise, bem como de ferramentas de previsão de impacto ambiental tais como modelos matemáticos. As decisões sobre a viabilidade de implantação de fontes de poluição numa determinada região depende de um minucioso estudo de capacidade de suporte do meio receptor e de uma correta caracterização do empreendimento e seus prováveis impactos ambientais. Este estudo é rigorosamente técnico e que deve subsidiar o Estado nas suas ações e decisões, tendo a legislação como instrumento de imposição de restrições, compensações e/ou mitigações.

Face a essas necessidades, a comunidade científica e os órgãos ambientais, e principalmente estes últimos, dotaram-se nas últimas décadas de conhecimento especializado sobre as mais diversas áreas e sub-áreas da ciência e engenharia ambiental, desenvolvendo, entre outras coisas, valiosas ferramentas de avaliação da qualidade ambiental e de previsão de impacto ambiental.

Apesar do desenvolvimento industrial recente quando comparado com os países desenvolvidos, o Brasil apresenta problemas ambientais regionais devido à concentração de fontes industriais em áreas restritas e densamente povoadas. Entre essas regiões importantes no que diz respeito a poluição do ar está a região de Paulínia, Estado de São Paulo, mais pelo seu potencial de crescimento do que pela situação atual. Atualmente Paulínia concentra importantes empreendimentos nos setores químicos, petroquímicos, de industrialização e distribuição de petróleo, fertilizantes, agroquímicos, fibras sintéticas, etc., inserida em um

contexto ambiental que contempla a influência da grande região urbanizada de Campinas e entornos, bem como regiões altamente industrializadas como a de Americana e Limeira.

A região de Paulínia tem atrativos inquestionáveis para receber novos empreendimentos quando analisa-se a sua localização relativa aos centros consumidores, aos serviços de transporte, à mão de obra qualificada e à proximidade às fontes de matérias primas básicas. Recentemente, associou-se à esses fatores atrativos a disponibilidade do gás natural através do gasoduto GASBOL proveniente da Bolívia, principalmente no que se refere a geração de energia através de termelétrica ou co-geração, pois Paulínia está localizada num dos mais importante centros de carga do país. Além disso, o município possui dois grandes empreendimentos “condensadores de vapor” instalados e que são potenciais consumidores de gás natural para co-geração.

Portanto, a região de Paulínia está próxima de um limiar com mudanças significativas que poderão trazer aspectos positivos e negativos, dependendo da forma como ocorrer, devido ao uso do gás natural e a possibilidade de implantação de novas indústrias, inclusive um polo petroquímico.

1.1 Objetivos do trabalho

Devido ao contexto apresentado acima, identificou-se a necessidade urgente de aprimoramento do conhecimento da situação ambiental da região, sendo que o presente trabalho está inserido num projeto amplo que trata das questões relativas à poluição do ar na região de Paulínia, em andamento no Laboratório de Pesquisa e Desenvolvimento de Tecnologias Ambientais da Faculdade de Engenharia Química da UNICAMP. O projeto amplo que está em desenvolvimento inclui várias etapas, sendo a primeira delas condensada nesta dissertação.

Esta primeira etapa teve como objetivo:

- estudar a poluição do ar causada pelas fontes industriais do município de Paulínia;

- realizar um inventário de emissões dos poluentes;
- comparar os dados preditos pelo modelo de dispersão ISCST3 com os dados experimentais medidos pela estação móvel da cetesb;
- estimar as concentrações dos poluentes nos pontos receptores empregando um modelo matemático de dispersão de poluentes e compará-las com os padrões nacionais de qualidade do ar definidos na resolução conama nº 3.

Deve-se destacar que para a realização deste trabalho, foi necessário contar com a colaboração das empresas da região no fornecimento dos dados das emissões de todas as suas fontes de poluição do ar, tarefa que consumiu cerca de 9 meses entre as solicitações, negociações, envio das informações e consolidação dos dados.

Este trabalho adquire uma conotação muito mais importante quando analisado dentro do contexto do projeto amplo desenvolvido pelo grupo de pesquisa, uma vez que apresenta uma estreita dependência com as etapas subsequentes. Os resultados e conclusões aqui geradas estão norteando os estudos de monitorização com o Laboratório Semi-Móvel de Pesquisa sobre Poluição do Ar, cuja missão é realizar uma avaliação real da qualidade do ar na região, procurando entender o fenômeno da dispersão a partir das fontes, num trabalho em nível de doutorado. Na mesma linha, dois outros trabalhos em nível de mestrado estão em fase de desenvolvimento apresentando as mesmas características de interdependência. Um deles, refere-se a avaliação das alterações na qualidade do ar devido à chegada do gás natural, seja pela substituição do combustível ou pela implantação de termelétricas e cogerações. O outro trabalho, trata da especiação dos compostos orgânicos voláteis presentes na atmosfera, avaliando-se seu potencial impacto do ponto de vista de percepção de odores e participação nas reações fotoquímicas de formação de ozônio.

Todos estes trabalhos permitirão um conhecimento mais profundo sobre os problemas de poluição da região de Paulínia, ensejando, na sequência, um estudo sobre a capacidade de suporte do meio receptor, podendo ser utilizado

como base de argumentação para o estabelecimento de políticas públicas de desenvolvimento sustentável para a região.

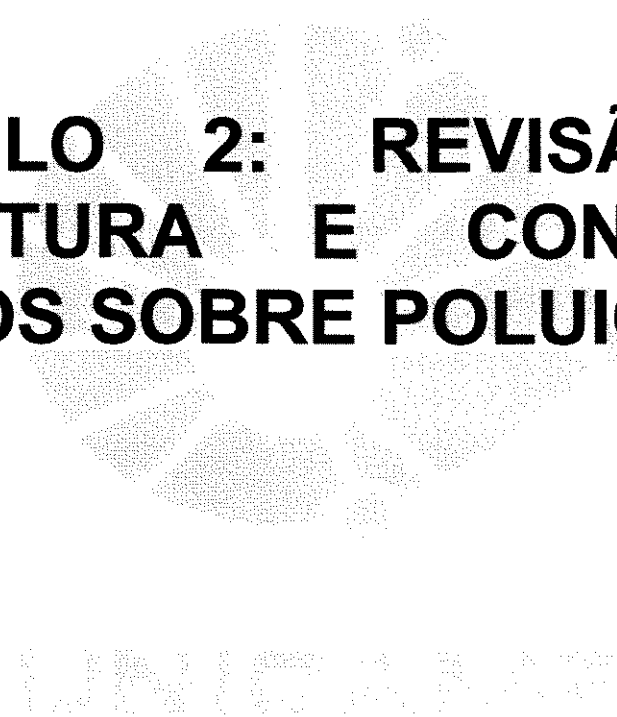
O capítulo 2 trás os conceitos básicos sobre poluição do ar, fontes de emissão de poluentes do ar e seus efeitos sobre o meio receptor, amplitude dos efeitos, qualidade ambiental, padrões ambientais, dispersão dos poluentes na atmosfera, modelos matemáticos de dispersão de poluentes, algoritmo do modelo matemático e inventário de emissões.

O capítulo 3 mostra a caracterização da região, levantamento de dados meteorológicos, bem como, o inventário de emissões das fontes industriais do município de Paulínia.

O capítulo 4 mostra a comparação entre os dados preditos pelo modelo de dispersão ISC3 com dados experimentais medidos pela Estação Móvel da Cetesb no período de 04 de Junho a 13 de Agosto para o ano de 1998 e de 31 de Julho a 12 de Novembro para o ano de 1999 e os resultados obtidos pelo modelo matemático de dispersão ISC3 para a avaliação da qualidade do ar no município de Paulínia.

O capítulo 5 apresenta as conclusões obtidas neste estudo das fontes industriais no município de Paulínia.

E por fim, o capítulo 6 propõe sugestões para trabalhos futuros.



CAPÍTULO 2: REVISÃO DA LITERATURA E CONCEITOS BÁSICOS SOBRE POLUIÇÃO DO AR

Capítulo 2: Revisão da literatura e conceitos básicos sobre poluição do ar

Neste capítulo são apresentados conceitos de poluição do ar, fontes de emissão de poluentes do ar e seus efeitos sobre o meio receptor, amplitude dos efeitos, qualidade ambiental, padrões ambientais, dispersão dos poluentes na atmosfera, modelos matemáticos de dispersão de poluentes, algoritmo do modelo matemático e inventário de emissões.

Através desses conceitos fundamentais, pretende-se subsidiar o leitor no entendimento sobre poluição do ar e seus efeitos, bem como, sobre as ferramentas disponíveis para a predição de tais efeitos.

2.1 A poluição do ar

De acordo com o regulamento da lei nº 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente, *considera-se poluente toda e qualquer forma de matéria ou energia lançada ou liberada na águas, no ar ou no solo:*

- I. Com intensidade, em quantidade e de concentração, em desacordo com os padrões de emissão estabelecidos neste Regulamento e normas dele decorrentes;*
- II. Com características e condições de lançamento ou liberação, em desacordo com os padrões de condicionamento e projeto estabelecido nas mesmas prescrições;*
- III. Por fontes de poluição com características de localização e utilização em desacordo com os referidos padrões de condicionamento e projeto;*
- IV. Com intensidade, em quantidade e de concentração ou com características que, direta ou indiretamente, tornem ou possam tornar ultrapassáveis os padrões de qualidade do Meio-Ambiente estabelecidos neste Regulamento e normas dele decorrentes;*
- V. Que, independentemente de estarem enquadrados nos incisos anteriores, tornem ou possam tornar as águas, o ar ou o solo impróprios,*

Revisão da literatura e conceitos básicos sobre poluição do ar nocivos ou ofensivos à saúde, inconvenientes ao bem-estar público; danosos aos materiais, à fauna e à flora; prejudiciais à segurança, ao uso e gozo da propriedade, bem como às atividades normais da comunidade.

Esta definição é genérica com uma amplitude de aplicação muito grande. Para a viabilização da aplicação desta Lei há a sua regulamentação (Decreto Nº 8468/76) [3] onde estão estabelecidos os chamados padrões ambientais, que nada mais são do que valores limites de concentração para cada poluente, sendo especificado o lançamento deste para o meio receptor, bem como para a qualidade do mesmo.

A Resolução CONAMA nº 3 de 28 de Junho de 1990 é uma Lei Federal que fala especificamente sobre os poluentes atmosféricos.

O problema de poluição do ar pode ser simplificado como um sistema constituído de três componentes básicos: as fontes de emissões, a atmosfera e os receptores [20].

2.2 Principais poluentes do ar

A variedade de materiais no ar é tão grande que pode ser classificada de várias formas diferentes. A primeira classificação é de acordo com o estado físico, que pode ser, gasoso, líquido ou sólido. A segunda classificação é de acordo com a composição química e esses grupos são divididos em, compostos de enxofre, nitrogênio, carbono e halogênio, substâncias tóxicas e compostos radioativos. Por fim, os poluentes do ar podem ser classificados de acordo com a maneira na qual eles reagem na atmosfera.

Poluentes gasosos primários são aqueles emitidos diretamente das fontes de poluição, tais como, monóxido de carbono, hidrocarbonetos, óxidos de nitrogênio, óxidos de enxofre, chumbo e material particulado.

Poluentes gasosos secundários são aqueles formados na atmosfera pela interação química entre poluentes primários e constituintes atmosféricos normais. As reações químicas atmosféricas (especialmente a fotoquímica) são responsáveis pela transformação de poluentes primários em produtos de reações

intermediárias (ex. radical livre), e, finalmente, em produtos finais estáveis, os poluentes secundários. Ozônio (O_3) e dióxido de nitrogênio (NO_2) são exemplos de poluentes gasosos secundários [35].

A seguir são apresentados as principais características e origens dos poluentes gasosos primários e secundários:

- Monóxido de carbono (CO):

O CO é um gás incolor, inodoro, insípido, e em altos níveis torna-se tóxico. É formado pela combustão incompleta de combustíveis. A maior fonte de CO são os motores de combustão interna dos veículos. Altas concentrações de CO geralmente ocorrem em áreas com tráfego intenso. Outras fontes de emissão de CO são processos industriais, combustão de combustíveis e fontes naturais como queimadas. Importantes variáveis afetam a concentração da emissão de CO, como o tempo de residência, a turbulência, temperatura da chama e concentração de oxigênio [32].

- Hidrocarbonetos (HC):

Os hidrocarbonetos são moléculas compostas de carbono e hidrogênio, tais como, aromáticos, olefinas e parafinas, originados no processo e no uso do petróleo e de seus produtos.

Contaminantes secundários e derivados, tais como, aldeídos, cetonas e ácidos orgânicos, são formados quando o hidrogênio é substituído por oxigênio, halogênio ou outros grupos substituintes.

Assim como no caso do CO, a fonte mais significativa de HC é o uso de produtos de petróleo em motores de veículos de transporte [32].

- Óxidos de nitrogênio (NO_x):

Óxidos de nitrogênio são formados no processo de combustão de turbina a gás e outros combustores pelo resultado da dissociação de nitrogênio (N_2) e

Revisão da literatura e conceitos básicos sobre poluição do ar

oxigênio (O_2) em N e O, respectivamente. As reações desta dissociação resultam em sete tipos de óxidos de nitrogênio: NO, NO_2 , NO_3 , N_2O , N_2O_3 , N_2O_4 e N_2O_5 que são formados em quantidades suficientes para ser significativa na poluição atmosférica, além de representar o principal componente na formação do ozônio [26].

Virtualmente, toda emissão de NO_x origina-se como NO. Este NO é oxidado em sistemas de exaustão ou mais tarde na atmosfera para formar a molécula NO_2 mais estável.

A formação do NO_x devido a combustão é determinada pela interação dos processos físicos e químicos ocorrendo dentro de um forno. As três principais formas de NO_x são “ NO_x térmico”, “ NO_x imediato” e “ NO_x do combustível”.

NO_x térmico e NO_x do combustível ocorrem, em geral, em caldeiras que queimam óleo ou carvão, entretanto, a contribuição relativa de cada tipo no total de NO_x formado depende do processo de combustão e características do combustível.

NO_x térmico resulta da oxidação do nitrogênio atmosférico em altas temperaturas, na região depois da chama do sistema de combustão. Os principais fatores que influenciam na formação de NO_x térmico, são a temperatura, a concentração de nitrogênio ou oxigênio e tempo de residência. Se a temperatura ou a concentração do nitrogênio ou oxigênio for reduzida rapidamente após a combustão, a formação do NO_x térmico pode ser reduzido e suprimido.

NO_x imediato é formado no sistema de combustão pela reação dos fragmentos do hidrocarboneto e nitrogênio atmosférico. Ao contrário da formação do NO_x térmico que é lento, o NO_x imediato é formado rapidamente e ocorre na escala de tempo comparável a reação de liberação de energia (ex, dentro da chama). Portanto, não é possível a redução da formação de NO_x imediato como na formação do NO_x térmico. Entretanto, a contribuição do NO_x imediato no sistema de emissão total de NO_x não é significativa.

A oxidação do nitrogênio do combustível (NO_x do combustível) é a principal fonte de emissão de NO_x da combustão de alguns óleos e carvão. Todas as indicações são que a oxidação do nitrogênio do combustível a compostos de

NO_x é rápido e ocorre na escala de tempo comparável as reações de liberação de energia durante a combustão. A técnica primária para controlar a formação de NO_x do combustível é retardar a mistura de combustível e ar para promover a conversão de nitrogênio do combustível para N_2 antes que NO_x . Assim como, o NO_x imediato, a formação de NO_x do combustível não pode ser suprimido.

A formação de NO_x do combustível, NO_x imediato e NO_x térmico no sistema de combustão é controlado pela modificação da temperatura do gás de combustão, tempo de residência e turbulência. A principal importância está nas condições localizadas dentro e imediatamente seguinte a zona da chama onde ocorrem mais reações de combustão. Em caldeiras, a temperatura do gás de combustão, tempo de residência e turbulência são determinados por fatores associados com a construção e a queima na caldeira, características dos combustíveis e condições de operação da caldeira [29].

- Óxidos de enxofre (SO_x):

Os contaminantes denominados óxidos de enxofre, são categorizados como dióxido de enxofre (SO_2), que é predominante, e trióxido de enxofre (SO_3). Esses gases são formados quando o enxofre contido no combustível (principalmente, óleo e carvão) são queimados ou durante a fundição de um metal ou outros processos industriais, como, plantas de ácido sulfúrico [32].

- Material particulado:

O termo “material particulado” é usado para denotar material sólido ou líquido de composição orgânica ou inorgânica que está em suspensão como resultado das emissões de chaminé ou fugitivas [35].

Um dos mais importantes fatores que caracterizam o material particulado na atmosfera é o tamanho (diâmetro) da partícula.

Segundo Zanetti [35], as partículas são classificadas, como partículas inaláveis, quando seu diâmetro é menor que $10\ \mu\text{m}$.

Dentro da classificação de partículas inaláveis, temos:

- partículas grossas, onde seu diâmetro é maior que $2,5\ \mu\text{m}$;
- partículas finas, onde seu diâmetro é menor que $2,5\ \mu\text{m}$;

Partículas grossas são geralmente menos importantes, porque sua massa causa rápida remoção gravitacional no ar ambiente e é menos prejudicial à espécie humana, bem como são facilmente removidas pelo trato respiratório superior. E geralmente são emitidas de fontes como, veículos trafegando em estradas, manuseio de materiais e poeiras trazidas pelo vento [35].

Partículas finas são mais importantes por seus efeitos adversos na saúde humana e na visibilidade. Em alguns casos, gases como óxido de enxofre e SO_2 , NO_x e VOC interagem com outros compostos no ar e formam partículas finas. E geralmente são emitidas de fontes como, combustão de veículos automotivos, geração de energia e instalações industriais, além das queimas residenciais e fogões a lenha [32].

- Chumbo:

No passado, fontes automotivas eram os principais contribuintes de emissões de chumbo na atmosfera. Por isso as Agências Reguladoras exigiram a redução do chumbo na gasolina, a contribuição do setor de transporte diminuiu nas últimas décadas. Hoje, processamento de metais são as principais fontes de emissão de chumbo na atmosfera. As maiores concentrações de chumbo no ar são encontradas nas vizinhanças de fundições de ferro e não-ferrosos e manufatura de bateria [32].

No Brasil, desde o uso de álcool com o aditivo da gasolina na década de 70, o chumbo tetraetila deixou de ser empregado como antidetonante.

- Ozônio:

Oxidantes fotoquímicos, principalmente ozônio, são produtos de reações atmosféricas de certos precursores como hidrocarbonetos e óxido nítrico na presença de luz e calor. A formação do ozônio também envolve os processos físicos de dispersão e transporte de seus precursores [32].

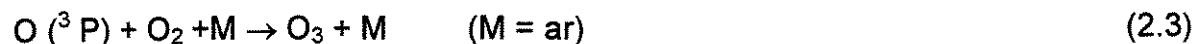
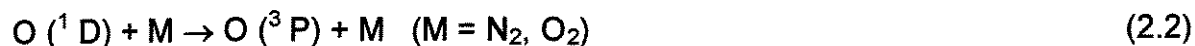
Quando se fala em ozônio, é preciso estabelecer uma clara distinção entre o gás potencialmente tóxico, produzido na troposfera e respirado pelo homem, e o ozônio que protege a Terra da ação dos raios ultravioletas do sol (UV-B). No primeiro caso, trata-se de um poluente de risco, cuja concentração tem aumentado ao longo dos anos [7].

A troposfera é a região da atmosfera terrestre na qual compostos químicos são geralmente resultados das atividades humanas e se estende a superfície da Terra até 10 a 18 Km, tendo a altura dependente da latitude e estação, sendo mais alta nos trópicos e mais baixas em regiões polares durante o inverno [2].

A troposfera é constituída de uma mistura de gases e sua composição (em atmosfera não poluída) é 78% de N₂, 21% de O₂, 1% de Ar e 0,036% de CO₂, variando a quantidade de vapor d'água (dependendo da T e altitude), e mínimas quantidades de inúmeros outros gases.

A estratosfera é a camada diretamente acima da troposfera, no qual a temperatura sobe no máximo de -2°C com a diminuição da altitude. O O₂ e O₃ na estratosfera absorve radiação uv em comprimentos de onda abaixo de 290nm, e por esta razão somente a radiação solar de comprimento de onda acima de 290 nm atinge a superfície da Terra. Então qualquer esgotamento ou depredação da camada de O₃ permite que radiação de comprimentos de onda mais curtos sejam transmitidas da estratosfera para a troposfera [2].

A seguir serão mostradas as reações de formação desse poluente na troposfera:



- Dióxido de nitrogênio:

Dióxido de nitrogênio é um gás altamente reativo, marrom avermelhado, que é formado através da reação de NO com o oxigênio atmosférico [32].



Algumas das reações de NO na troposfera são:



Essas três reações representam a conversão entre NO, NO₂ e O₃.

2.3. Fontes de emissões de poluição do ar

Existem muitas fontes de emissões de poluentes. Essas fontes de emissões tem sido agrupadas em quatro categorias: estacionária (pontual), móvel, biogênica e área [33].

2.3.1 Fontes Pontuais

Fontes pontuais são classificadas como qualquer fonte fixa que tem um potencial de poluição do ar. Alguns exemplos de fontes pontuais são: queima de combustíveis estacionários (caldeiras e fornos); indústrias de petróleo (produção de gás e óleo e produtos refinados do petróleo); indústrias químicas; indústrias de produtos minerais (processo e produção de vários minerais não-metálicos); processo de metais (mineralização, refinamento, produção de metais); uso de solvente (recobrimento de superfície, desengraxador, remoção de tintas, polimento); indústrias de produtos químicos (negro de fumo, fibra sintética, borracha sintética e plásticos) e indústrias de produtos de madeira (conversão de troncos de árvores em polpa) [33].

2.3.2 Fontes Móveis

Fontes móveis são emissões que se movem no espaço, tais como automóveis, navios e trens [33].

2.3.3 Fontes Biogênicas

Emissões biogênicas são definidas como todos os poluentes emitidos de fontes não antropogênicas. Exemplos de fontes biogênicas são: vulcões, maresias, vegetação e árvores e atividades microbianas [35].

2.3.4 Fontes Áreas

Fonte área são, em geral, fontes pequenas e mais comum que, individualmente, liberam pequenas quantidades de poluentes, mas se forem estimadas como um grupo se tornam significativas, como por exemplo, uso de solventes orgânicos por consumidores e áreas comerciais (recobrimento de superfície, lavagem à seco, desengraxador, artes gráficas, borracha e plásticos); estocagem de materiais e distribuição (como, produtos derivados de petróleo, químicos e petroquímicos); tratamento e disposição de resíduos; fontes variadas (queimada de agricultura e floresta); posto de gasolina e esterilização de laboratório e hospital [33].

2.4 Efeitos das emissões dos poluentes do ar

Os principais efeitos que os poluentes do ar causam são a mudança das propriedades atmosféricas, odores, efeitos à saúde humana, prejuízo material e ecológico, efeitos da deposição ácida, efeitos estufa e efeitos do ozônio na estratosfera.

2.4.1 Mudança das propriedades atmosféricas

As emissões de poluentes afetam as propriedades atmosféricas da seguinte forma:

- redução de visibilidade
- formação de nevoeiro e precipitação
- redução da radiação solar
- alteração na distribuição do vento e da temperatura

O efeito mais perceptível da poluição do ar nas propriedades atmosféricas é a redução da visibilidade que é prejudicada pela atenuação da radiação solar (turbidez urbana) [20].

2.4.2 Odor

Poluentes atmosféricos no ambiente podem causar odores, caracterizado por sua qualidade e intensidade. Em particular, os sentidos humanos tem baixa resistência a compostos contendo enxofre e estes são, portanto, facilmente detectados [35].

2.4.3 Efeitos à saúde humana

Alguns poluentes, como ozônio, causam prejuízos ao sistema imunológico; redução da camada de gordura, com aumento de infecções fúngicas e bacterianas e envelhecimento precoce da pele pela sua degeneração elástica [14].

Alguns poluentes, apresentam efeitos sinérgicos, como, por exemplo o SO₂ que prejudica o sistema respiratório humano e pode ser aumentado na presença de partículas finas. Exposições prolongadas e baixas concentrações de dióxido de enxofre tem sido associadas com o aumento de morbidade cardiovascular em pessoa idosas [11].

O material particulado - fumaça, poeira, fuligem, pode interferir na capacidade do sistema respiratório de remover as partículas no ar inalado (no caso das poeiras inaláveis - PI), além de aumentar os efeitos dos gases presentes no ar ou de catalisar e transformar quimicamente tais gases, criando espécies mais nocivas [22].

O monóxido de carbono (CO) inalado acarreta a formação da carboxihemoglobina que diminui a capacidade de oxigenação do sangue, podendo causar diminuição na capacidade de estimar intervalos de tempo e diminuir os reflexos e a acuidade visual da pessoa exposta [22].

2.4.4 Prejuízo material

Poluentes danificam materiais e estrutura pela abrasão, deposição/remoção, ataque químico direto e indireto e corrosão eletroquímica. Especialmente nos países Europeus, os danos da poluição do ar em prédios e materiais artísticos (mármore e estátuas) são significantes [35].

2.4.5 Prejuízo ecológico

Vegetação mostram claramente prejuízo devido ao ozônio, dióxido de enxofre, dióxido de nitrogênio, fluoreto, nitrato de peroxiacetila (PAN) e etileno. Animais domésticos e selvagens tem sofrido efeitos de deterioração durante muitos episódios de poluição. Dano ao gado, tem sido ocasionado pelo fluoreto (de emissões de indústrias químicas) e arsênio [35].

2.4.6 Efeitos da deposição ácida

Deposição ácida é um fenômeno na qual substâncias ácidas como H_2SO_4 , HNO_3 e HCl são trazidas por terra pela deposição seca e úmida.

Lagos localizados na América do Norte e Norte Europeu são mais sensíveis a deposição ácida por causa da sua capacidade tamponante limitada. Esses lagos, quando expostos a precipitação ácida passam por três estágios. O primeiro estágio (lagos bicarbonatados) é caracterizado pelo constante decréscimo da capacidade de neutralização ácida (tamponamento). O segundo estágio (transição do lago) começa quando a capacidade de neutralização ácida é esgotada e a concentração de sulfatos e metais começa a aumentar. Durante o terceiro e último estágio (lagos ácidos), o pH começa a estabilizar. Para este estágio, espécies sensíveis ao ácido são eliminadas [35].

2.4.7 Efeito estufa

O efeito estufa acontece naturalmente. Alguns gases como o vapor d'água, dióxido de carbono (CO_2) e metano (CH_4) são chamados de gases do efeito estufa porque são capazes de reter o calor do Sol na atmosfera. Sem esses

gases, a radiação solar se dissiparia no espaço e nosso planeta seria cerca de 30°C mais frio.

Há claros sinais de que atividades humanas estão aumentando a emissão desses gases e, conseqüentemente, intensificando o efeito estufa. O dióxido de carbono CO₂ é o principal agente do aquecimento global. A emissão desse gás ocorre principalmente devido ao uso de combustíveis fósseis.

À medida em que o planeta esquenta, a cobertura de gelo dos Pólos Sul e Norte derretem. Quando o calor do sol atinge essas regiões, o gelo reflete a radiação de volta para o espaço. Se a cobertura de gelo derreter, menos calor será refletido. É provável que isso torne a Terra ainda mais quente. O aquecimento global também provoca maior evaporação de água dos oceanos, levando à maior concentração de vapor d'água na atmosfera. Como o vapor d'água é um gás do efeito estufa, o problema tende a se agravar [12].

2.4.8 Efeito do ozônio na estratosfera

A Camada de Ozônio na estratosfera é um filtro natural que protege o Planeta de níveis indesejáveis de radiação ultravioleta provenientes do Sol. Raios ultravioleta em excesso, principalmente na faixa do UV-B (280 a 320 nanômetros de comprimento de onda), que atinjam a superfície terrestre, podem acarretar sérios prejuízos à saúde do homem e ao meio ambiente em geral.

Observações e estudos científicos, realizado principalmente pela NASA, mostram o efeito nas últimas décadas, que constataram um adelgaçamento ou rarefação da Camada de Ozônio, notadamente sobre a Antártica quando da primavera austral, o que acabou sendo chamado de "buraco do ozônio", termo tecnicamente incorreto, mas que dá bem uma idéia à opinião pública sobre a dimensão e gravidade do fenômeno.

A teoria aceita é a de que o ozônio da estratosfera estaria sendo eliminado, em grande parte, pelo cloro presente nas substâncias denominadas clorofluorcarbonos (CFC), muito estáveis e que permanecem na atmosfera por dezenas de anos. Estima-se, inclusive, que uma única molécula de CFC teria a capacidade de destruir até cem mil moléculas de ozônio, razão pela qual uma

substância de uso relativamente tão restrito concentra tamanho poder de destruição. Substâncias sintéticas coadjuvantes neste processo seriam algumas outras contendo cloro, como o metil clorofórmio, além dos compostos clorofluorcarbonos que contêm bromo (halons) e compostos de bromo.

Algumas fontes naturais também seriam contribuintes, como algumas substâncias contidas em erupções vulcânicas, ou mesmo nos mares, muito embora se pondere que estas sempre existiram, enquanto que a rarefação da camada seria fato recente. De qualquer forma somente é possível intervir sobre as emissões antrópicas, e é isso que vem sendo feito atualmente pela comunidade internacional [14].

2.5. Amplitude dos efeitos dos poluentes do ar

Os poluentes do ar causam todos os efeitos citados acima, mas ainda assim podem ser classificados como poluentes que tem impactos locais ou globais.

2.5.1 Impactos globais

Estes poluentes são transportados para altas camadas atmosféricas afetando suas características. O exemplo mais claro é o buraco na camada de ozônio provocada pelas reações fotoquímicas devido à presença de compostos orgânicos como os CFC. Outro exemplo é o aquecimento global devido às emissões de gás carbônico conhecido como efeito estufa.

Exemplos dos poluentes que causam impactos globais: CFC, gás carbônico, metano, gases não condensáveis.

2.5.2 Impactos localizados

Os maiores efeitos dos poluentes manifestam-se em torno das suas fontes de emissão. A partir das fontes estacionárias, os poluentes sofrem um processo de dispersão atmosférica, que depende das condições meteorológicas e topográficas, apresentando regiões de picos de concentração.

Exemplos dos poluentes que causam impactos localizados: material particulado, dióxido de enxofre, monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio, flúor, chumbo, amônia, mercúrio, etc...

Muitos desses poluentes sofrem modificações químicas e/ou algum processo de deposição

- dióxido de enxofre: deposição seca ou úmida
- monóxido de carbono: oxida-se a gás carbônico
- óxidos de nitrogênio: deposita-se junto com a chuva (chuva ácida)

Exemplos desses efeitos: acidificação dos lagos da Suécia, corrosão das obras em mármore na Europa.

2.6. Qualidade ambiental

É certo que a existência de uma previsão constitucional por si só não assegura o direito a um meio ambiente ecologicamente equilibrado, e conseqüentemente o direito a respirar um ar sadio. Entretanto tal enunciado constitucional possibilita exigir dos poderes públicos uma conduta que proteja e preserve o meio ambiente como um todo. Caso os poderes públicos não assumam o papel que lhes foi expressamente atribuído, de acordo com a lei, e portanto de acordo com a expressão da vontade geral, eles estarão indubitavelmente incorrendo em omissão [22].

Dois preceitos constitucionais fundamentam o direito de respirar um ar sadio. Em primeiro lugar, o artigo 225 da Constituição Federal, garante a todos o direito a um meio ambiente ecologicamente equilibrado, classificando-o como um bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida. Decorre desta norma constitucional que o ar, parte integrante do conjunto de elementos que exercem uma influência sobre o meio no qual o homem vive, é um bem de uso comum do povo. Sua qualidade deve ser preservada, garantindo-se a todos o direito de respirar um ar sadio.

Em segundo lugar, este direito insere-se num contexto global de saúde pública. O direito a respirar um ar sadio corresponde portanto ao direito à saúde,

Revisão da literatura e conceitos básicos sobre poluição do ar

garantido a todos, segundo o artigo 196 da Constituição Federal. Pode-se afirmar que "as normas constitucionais assumiram a consciência de que o direito à vida, como matriz de todos os demais direitos fundamentais do homem é que há de orientar todas as formas de atuação no campo da tutela do meio ambiente" [22].

Ao Poder Público e à coletividade impõem-se o dever de defender e de preservar a qualidade do ar para as presentes e futuras gerações.

A proteção do meio ambiente e o combate a poluição em qualquer de suas formas se inserem na competência comum da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios (art.22, VI, CF/88). Assim, todas as unidades da federação possuem competência administrativa para praticar atos na esfera da proteção do meio ambiente e, portanto, da luta contra a poluição atmosférica.

No que diz respeito a competência legislativa, a União, os Estados e o Distrito Federal possuem competência concorrente para legislar sobre a defesa dos recursos naturais, proteção do meio ambiente e controle da poluição (art.23, VI, CF/88); sobre a responsabilidade por dano ao meio ambiente (art.23,VIII, CF/88), e também sobre a proteção e defesa da saúde (art.23, XII, CF/88). Cabe à União estabelecer normas gerais, o que não exclui a competência suplementar dos Estados que, diante da inexistência de lei federal sobre normas gerais, exercerão a competência legislativa plena, visando atender suas peculiaridades. A eficácia da lei estadual só será suspendida no caso de superveniência de lei federal sobre normas gerais e, apenas no que lhe for contrário. Tratando-se de matéria ambiental, as normas hierarquicamente inferiores podem reiterar restrições da norma hierarquicamente superior ou apenas podem ser mais restritivas.

A qualidade do ar pode ser determinada através da presença de determinados poluentes, que são os indicadores da qualidade do ar. Desta forma, é de fundamental importância a determinação de limites máximos para a concentração desses poluentes objetivando alcançar uma qualidade ambiental.

2.7. Padrões ambientais

Os padrões de qualidade do ar constituem a tradução legal de limites máximos para a concentração de determinados componentes atmosféricos. Eles são fixados com o escopo de preservar a qualidade do ar, mantendo as emissões dentro de níveis que não prejudiquem à saúde. A Lei 6.938 de 31 de agosto de 1981 [5], pedra angular da Política Nacional do Meio Ambiente, cria o Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA e lhe confere competências para estabelecer padrões e métodos ambientais, dentre os quais os padrões da qualidade do ar. Ressalte-se que a Portaria 231 de 27.4.1976, do Ministério do Interior, já oferecia suporte legal para os padrões de emissões. Ela estabelecia, de acordo com as propostas estaduais efetuadas, os padrões nacionais de qualidade do ar para material particulado, dióxido de enxofre, monóxido de carbono e oxidantes, como pode ser observado na tabela 2.1.

A Resolução do CONAMA nº03/90 [4], em conformidade com o Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar - PRONAR, fixa os padrões nacionais de qualidade do ar, ampliando o número de parâmetros anteriormente regulamentados pela referida portaria, apresentados na tabela abaixo.

Tabela 2.1: Padrões nacionais de qualidade do ar

Poluentes	Tempo de Amostragem	Padrão Primário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Padrão Secundário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Método de Medição
Partículas Totais em Suspensão	24 horas (1) MGA (2)	240 80	150 60	Amostrador de grandes volumes
Dióxido de Enxofre	24 horas (1) MAA (2)	365 80	100 40	Pararosanilina
Monóxido de Carbono	1 hora (1) 8 horas (1)	40.000 (35 ppm) 10.000 (9 ppm)	40.000 (35 ppm) 10.000 (9 ppm)	Infra-vermelho não dispersivo
Ozônio	1 hora (1)	160	160	Quimioluminescência
Fumaça	24 horas (1) MAA (3)	150 60	100 40	Refletância
Partículas Inaláveis	24 horas (1) MAA (3)	150 50	150 50	Separação Inercial/Filtração
Dióxido de Nitrogênio	1 hora (1) MAA (3)	320 100	190 100	Quimioluminescência

(1) Não deve ser excedido mais que uma vez ao ano.

(2) Média geométrica anual.

(3) Média aritmética anual.

O Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar - PRONAR foi instituído pela Resolução do CONAMA nº5, de 15.06.89. O objetivo deste programa é a limitação dos níveis de emissão de poluentes para controlar, preservar e recuperar a qualidade do ar em todo o território. São definidos dois padrões de qualidade do ar: os primários e os secundários "a) São padrões primários de qualidade do ar as concentrações de poluentes que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população, podendo ser entendidos como níveis máximos toleráveis de concentração de poluentes atmosféricos, constituindo-se em metas de curto e médio prazo b) São padrões secundários de qualidade do ar, as concentrações de poluentes atmosféricos abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem estar da população, assim como o mínimo dano à fauna e à flora, aos materiais e meio ambiente em geral, podendo ser entendidos

Revisão da literatura e conceitos básicos sobre poluição do ar
como níveis desejados de concentração de poluentes, constituindo-se em meta de longo prazo"[9].

O PRONAR prevê que as áreas do território nacional deverão ser enquadradas em classes de acordo com os usos pretendidos: a) áreas de classe I, onde deverá ser mantida a qualidade do ar em nível mais próximo possível do verificado sem a intervenção antropogênica ; b) áreas de classe II, onde o nível de deterioração da qualidade do ar seja limitado pelo padrão secundário de qualidade; c) áreas de classe III, concebidas como áreas de desenvolvimento, onde o nível de deterioração da qualidade do ar seja limitado pelo padrão primário da qualidade do ar. Este programa prevê igualmente a criação de uma rede nacional de monitoramento da qualidade do ar, o gerenciamento do licenciamento de fontes de poluição atmosférica, a criação de um inventário nacional de fontes e poluentes do ar, gestões políticas, o desenvolvimento nacional na área de poluição do ar e a fixação de ações de curto, médio e longo prazo.

O PRONAR também estabelece critérios para episódios agudos de poluição do ar, que pode ser observado na tabela 2.2, no qual divide a poluição do ar em situações de atenção, alerta e emergência de acordo com a concentração do poluente.

Tabela 2.2: Critérios para episódios agudos de poluição do ar

Parâmetro	Atenção	Alerta	Emergência
Dióxido de Enxofre SO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24h	800	1.600	2.100
Partículas Totais em Suspensão - PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24h	375	625	875
SO_2 x PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24h	65.000	261.000	393.000
Partículas Inaláveis ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24h	250	420	500
Fumaça ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24h	250	420	500
Monóxido de Carbono (ppm) - 8h	15	30	40
Ozônio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 1h	400	800	1.000
Dióxido de Nitrogênio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 1h	1.130	2.260	3.000

A CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental) é responsável pela fiscalização de fontes poluidoras e pelo controle da qualidade do ar no Estado de São Paulo, bem como a divulgação diária dos dados de qualidade do ar [8].

A divulgação desses dados é feita através de um índice de qualidade do ar, que foi concebido com base no "PSI - Pollutant Standards Index", cujo desenvolvimento se baseou numa experiência acumulada de vários anos nos Estados Unidos e Canadá. Este índice foi desenvolvido nos Estados Unidos pela Environmental Protection Agency (EPA) a fim de padronizar a divulgação da qualidade do ar pelos meios de comunicação.

O índice é obtido através de uma função linear segmentada, onde os pontos de inflexão são os padrões de qualidade do ar. Desta função, que relaciona a concentração do poluente com o valor índice, resulta um número adimensional referido a uma escala com base em padrões de qualidade do ar.

Depois de calculado o valor do índice, o ar recebe uma qualificação, feita conforme a escala mostrada na tabela a seguir:

Tabela 2.3: Índice da qualidade do ar

ÍNDICE	QUALIDADE DO AR
0-50	BOA
51-100	REGULAR
101-199	INADEQUADA
200-299	MÁ
300-399	PÉSSIMA
>400	CRÍTICA

2.8. Dispersão atmosférica

2.8.1 Fatores que afetam a dispersão dos poluentes do ar

Os fatores que afetam o transporte, a diluição e a dispersão dos poluentes do ar são categorizados em termos de características do ponto de emissão, natureza do material poluente, da estrutura antropogênica e condições meteorológica e topografia [10].

- **Características da fonte**

A maioria dos efluentes gasosos industriais são descarregados verticalmente para a atmosfera através de chaminés ou dutos. Como a corrente de gás contaminado deixa o ponto de descarga, a pluma tende a expandir-se e misturar-se com o ar ambiente. O movimento horizontal das massa de ar forçam a pluma a deslocar-se na mesma direção e sentido do fluxo do vento, misturando-se e diluindo-se progressivamente com mais volume de ar. Enquanto a pluma efluente está levantando, curvando-se e começando a se mover na direção horizontal, o efluente está sendo diluído pelo ar ambiente ao redor da pluma. Como os gases contaminados são diluídos em grandes volumes do ar ambiente, eles eventualmente se dispersam para o nível do solo.

A altura da pluma é afetada pela inércia vertical da corrente de gás que deixa o duto ou chaminé e pela tendência da massa de gás permanecer suspensa na atmosfera. A inércia vertical é afetada pela massa e pela velocidade do gás que deixa a chaminé. A tendência da massa gasosa de poluentes permanecer suspensa na atmosfera depende da sua massa específica relativamente a da atmosfera. O aumento da temperatura dos gases efluentes ou sua velocidade de lançamento, em geral, aumenta a altura da pluma.

Define-se como altura efetiva da pluma como a soma da altura da pluma com a altura da chaminé.

Para uma altura específica de descarga e para determinadas condições de diluição da pluma, a concentração no nível do solo é proporcional à quantidade de material contaminante descarregado a partir da chaminé por um período específico de tempo. Portanto, quando todas as outras condições são constantes, um aumento na taxa de descarga de poluente causa um aumento proporcional na concentração no nível do solo na direção do vento.

- **Distância na direção do vento**

Quanto maior a distância entre a fonte e o receptor, maior é o volume de ar disponível para a diluição dos contaminantes antes de atingir o receptor, e portanto, menor a concentração.

- **Condições meteorológicas reinantes**

Existem 5 principais fatores que determinam como uma substância química será dispersa na atmosfera: turbulência, velocidade e direção do vento, estabilidade e umidade.

- **Turbulência**

A turbulência é a propriedade física do ar que governa a dispersão e diluição dos contaminantes. O movimento médio do ar indica a transferência de poluentes de uma região para outra e a flutuação turbulenta determina a diluição dos mesmos, enquanto se deslocam no ar [23].

- **Velocidade do vento**

A velocidade do vento afeta a altura da pluma e da taxa de mistura e diluição dos contaminantes gasosos. O aumento da velocidade do vento diminui a altura da pluma, fazendo com que a mudança de direção de vertical para horizontal aconteça mais proximamente do ponto de descarga. A redução da altura da pluma tende a aumentar a concentração de poluentes no nível do solo. Por outro lado, o aumento da velocidade tende a aumentar a taxa de mistura e diluição dos poluentes, provocando a redução da concentração dos poluentes no nível do solo. Dependendo das condições, um ou outro efeito torna-se predominante. Estes efeitos, as vezes, afetam a distância a partir da fonte onde ocorre a maior concentração de poluentes.

- **Direção do vento**

A direção do vento determina a direção na qual os contaminantes mover-se-ão na atmosfera.

- **Estabilidade**

A estabilidade se refere a tendência da atmosfera resistir ou propagar movimentos verticais. A estabilidade está relacionada com a velocidade do vento e com as mudanças de temperatura na direção vertical chamado de "gradiente adiabático". Em condições de atmosfera neutra o gradiente seco é $-1^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$. Devido a uma série de condições, o gradiente de temperatura de uma massa de ar em um determinado tempo pode ser diferente da condição adiabática seca.

Na atmosfera mais estável, ocorre um fenômeno chamado de inversão térmica, no qual, a temperatura aumenta com a elevação e causa o episódio de poluição do ar, sendo este fenômeno similar a uma "tampa" na atmosfera que restringe o volume de ar e resulta na pluma mais concentrada de substâncias químicas.

Quanto maior a instabilidade da atmosfera, maior a sua capacidade de diluição dos poluentes.

A dispersão da poluição depende dos processos naturais de mistura em diversas escalas do movimento, espacial e temporal [18].

Nos meses de verão, na parte da tarde, a transferência de calor da superfície do solo para a atmosfera estabelece a formação de correntes convectivas que provocam intensa mistura na vertical, formando uma camada cuja extensão depende da temperatura inicial, podendo atingir alturas elevadas. Na latitude do estado de São Paulo, a intensa insolação neste período tende a expandir o volume de ar disponível para a diluição dos poluentes na troposfera inferior [16].

Já nos meses de inverno esse processo é inibido devido à excessiva estabilidade atmosférica e menor altura da camada de mistura que faz com que piore a qualidade do ar [17].

- **Umidade**

Algumas substâncias químicas são solúveis no vapor de água, tendendo a ter a sua concentração reduzida na atmosfera.

- **Considerações topográficas que afetam a dispersão**

A topografia do terreno afeta o caminho que o poluente é difundido e distribuído dentro do meio receptor. Em geral, existem duas categorias que precisam ser consideradas: obstruções e áreas livres de obstruções.

- **Obstruções**

A presença de montanhas, prédios e outras estruturas afetam a trajetória da pluma e tenderão a acumular altas concentrações de poluentes.

- **Áreas livres de obstruções**

A presença de vales e áreas rurais ajudam a dispersão dos poluentes na atmosfera, resultando numa concentração menos perigosa.

2.9. Modelo de dispersão

2.9.1 Considerações gerais e uso do modelo

O modelo de dispersão é a descrição matemática do processo de transporte e dispersão que é quantificado em função dos parâmetros das fontes

de emissões e meteorológicos durante um período de tempo específico. O resultado do cálculo numérico produz uma estimativa da concentração de um poluente particular para uma localização e tempo específico [10].

Para verificar os resultados numéricos obtidos pelo modelo, faz-se a comparação destes com aqueles obtidos mediante medidas experimentais de concentração na posição especificada e utilizando técnicas estatísticas para o cálculo das médias.

Os parâmetros meteorológicos para o uso dos modelos são direção do vento, velocidade do vento e estabilidade atmosférica. A maioria dos modelos requerem dados de altura do ponto de descarga, diâmetro do duto de descarga no ponto de lançamento, temperatura e velocidade dos gases, bem como taxa mássica de emissão do poluente.

Os modelos são geralmente usados nas seguintes circunstâncias:

- para estimar a concentração de poluentes quando a amostragem é impraticável, como em rios e lagos ou a grandes distâncias do solo;
- para estimar as reduções das emissões necessárias em situação de alerta em episódios de poluição;
- para estimar a localização mais provável de eventos de altas concentrações no nível do solo e de curta duração para a escolha da localização para instalação de equipamento de monitorização do ar;
- para avaliar o impacto de novas fontes de poluição.

A difusão da poluição do ar pode ser simulado numericamente pelos modelos Eulerianos e Lagrangianos. A diferença básica entre os dois modelos é que o sistema de referência do modelo Euleriano é fixo (em relação a Terra) e o sistema de referência do modelo Lagrangiano mostra os movimentos médios atmosféricos da Terra [35].

O modelo Euleriano está baseado na conservação de massa da concentração de um poluente simples $c(x,y,z,t)$.

$$\frac{\partial c}{\partial t} = -V \cdot \nabla c + D \nabla^2 c + S \quad (2.8)$$

Onde:

D é a difusividade molecular (cerca de $1,5 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ para o ar);

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \text{ é o operador Laplaciano;}$$

∇ é o operador gradiente;

S é a taxa total de adição (ou remoção) de várias espécies;

V é a velocidade que pode ser representada como a soma da média e as flutuações dos componentes:

$$V = \bar{u} + u' \quad (2.9)$$

$$c = \langle c \rangle + c' \quad (2.10)$$

$$\frac{\partial \langle c \rangle}{\partial t} = -\bar{u} \cdot \nabla \langle c \rangle - \nabla \langle c' u' \rangle + D \nabla^2 \langle c \rangle + \langle S \rangle \quad (2.11)$$

Onde :

$\bar{u}$ é a parte do fluxo que pode ser resolvido usando medidas ou modelos meteorológicos;

u' é o resto dos componentes que não podem ser resolvidos;

$\langle \rangle$ é a media teórica do grupo.

A equação fundamental Lagrangiana para dispersão atmosférica de uma espécie poluente é :

$$\langle c(r, t) \rangle = \int_{-\infty}^t \int p(r, t | r', t') S(r', t') dr' dt' \quad (2.12)$$

Revisão da literatura e conceitos básicos sobre poluição do ar
onde, a integração no espaço é feito sobre o domínio atmosférico inteiro;

$\langle c(r, t) \rangle$ é a concentração média do grupo em r no tempo t ;

$S(r', t')$ é o termo fonte (massa volume⁻¹ tempo⁻¹); e

$p(r, t | r', t')$ é função da densidade da probabilidade (volume⁻¹) em que uma parcela de ar se move de r' a t' para r a t , onde para qualquer r' e $t' > t$,

$$\int p(r, t | r', t') dr \leq 1 \quad (2.13)$$

Para poluentes primários e secundários, a equação acima, que representa a conservação da massa, tem que ser satisfeita.

A partir do modelo Lagrangiano, aplicando p (função da densidade da probabilidade), que para poluentes não reativos, é uma função apenas da meteorologia (e o tipo de poluente quando o fenômeno da deposição é considerado) chega-se a expressões algébricas conhecidas como a equação Gaussiana, que será apresentada a seguir.

2.9.2 Modelos de dispersão Gaussiana básico para fontes estacionárias

A equação básica da difusão Gaussiana está baseada nas seguintes hipóteses:

- a estabilidade atmosférica é uniforme por toda camada em que o fluxo de gás contaminado é descarregado;
- a difusão turbulenta é uma atividade randômica, e por isso, a diluição da corrente de gás contaminado na direção vertical e horizontal pode ser descrita pela Equação Normal ou Gaussiana;
- a corrente de gás contaminado é liberada para a atmosfera a uma distância acima do nível do solo correspondente a altura da chaminé mais a altura da mudança de direção da pluma;

- o grau de diluição do efluente na pluma é inversamente proporcional à velocidade do vento (u);
- o material poluente que alcança o nível do solo é totalmente refletido como se fosse uma reflexão especular da luz.

Matematicamente, esta reflexão do terreno é causada por uma fonte imaginária ou virtual localizada a uma distância de “-H” com relação ao nível do solo, e emitindo uma pluma imaginária com a mesma força da fonte como se fosse uma fonte real sendo modelada. A mesma idéia geral pode ser usada para estabelecer outra condição de camada limite para as equações, como o limite da mistura vertical ou horizontal [10] .

Seja a concentração do poluente no nível do solo (χ) num ponto de coordenadas x e y na direção do vento a partir da chaminé, que tem uma altura efetiva H (Figura 2.1). O desvio padrão da pluma nas direções horizontal e vertical são representados por s_y e s_x , respectivamente. Os desvios padrões são função da distância da fonte e estabilidade da atmosfera. A equação básica da difusão Gaussiana é apresentada a seguir (eq. 2.14):

$$\chi(x, y, 0, H) = \left[\frac{Q}{\pi s_y s_z u} \right] \left[\exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{y}{s_y} \right)^2 \right] \right] \left[\exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{H}{s_z} \right)^2 \right] \right] \quad (2.14)$$

sendo:

$\chi(x, y, 0, H)$	concentração na direção do vento no nível do solo, g/m^3
Q	taxa de emissão de poluentes, g/s
s_y e s_z	desvio padrão da pluma, m
u	velocidade do vento, m/s
x, y, z	distâncias, m
H	altura efetiva da pluma, m

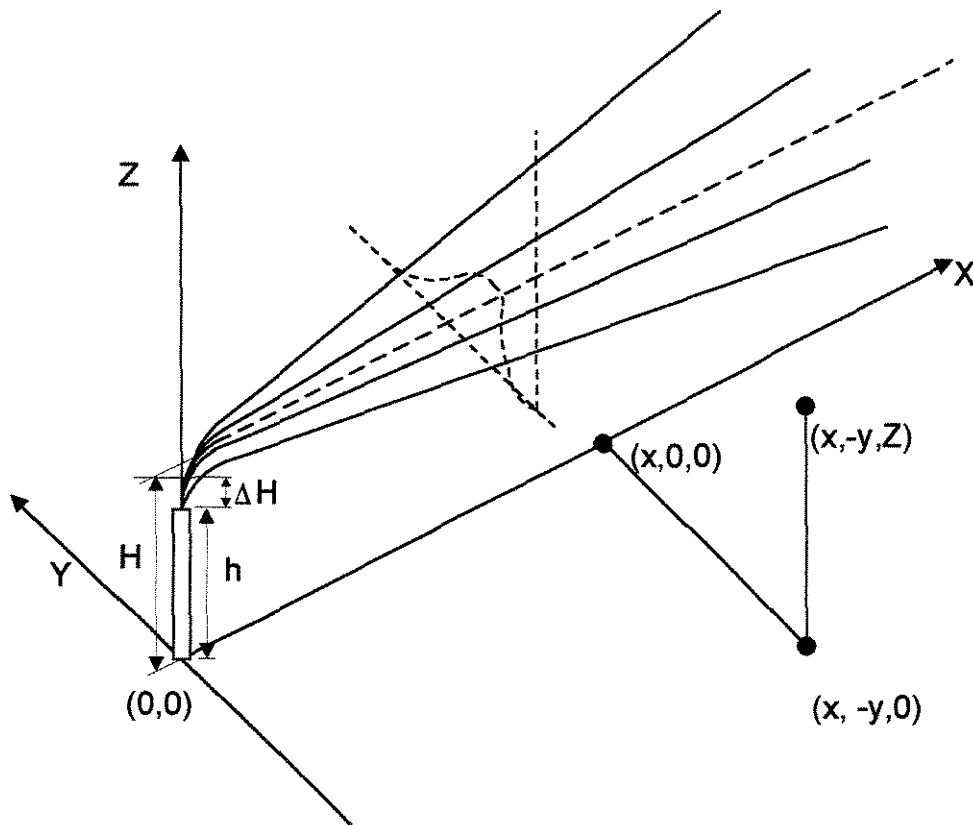


Figura 2.1: Sistema de coordenadas da pluma de dispersão

O valor da altura efetiva da chaminé é a soma da altura física h e da altura da pluma Δh :

$$H = h + \Delta h \quad (2.15)$$

A altura da pluma Δh pode ser calculada pela equação de Holland (1953):

$$\Delta h = \frac{V_s d}{u} \left[1,5 + \left(2,68 \times 10^{-2} (P) \left(\frac{T_s - T_a}{T_s} \right) d \right) \right] \quad (2.16)$$

onde:

V_s velocidade do gás na chaminé, m/s

d diâmetro da chaminé, m

u velocidade do vento, m/s

P	pressão, kPa
T_s	temperatura da chaminé, K
T_a	temperatura do ar, K

Os valores de S_y e S_z dependem da estrutura de turbulência ou estabilidade da atmosfera. As figuras 2.2 e 2.3 fornecem graficamente a relação entre a distância x na direção do vento em quilômetros e os valores de S_y e S_z em metros. Os dois gráficos possuem curvas de "A" até "F". O nível "A" se refere a condições atmosféricas muito instáveis, "B" para condições atmosféricas instáveis, "C" para condições levemente instáveis a neutra, "D" para condições estáveis e "F" para condições atmosféricas muito estáveis. Cada um desses parâmetros de estabilidade representa uma média de tempo de 3 a 15 minutos.

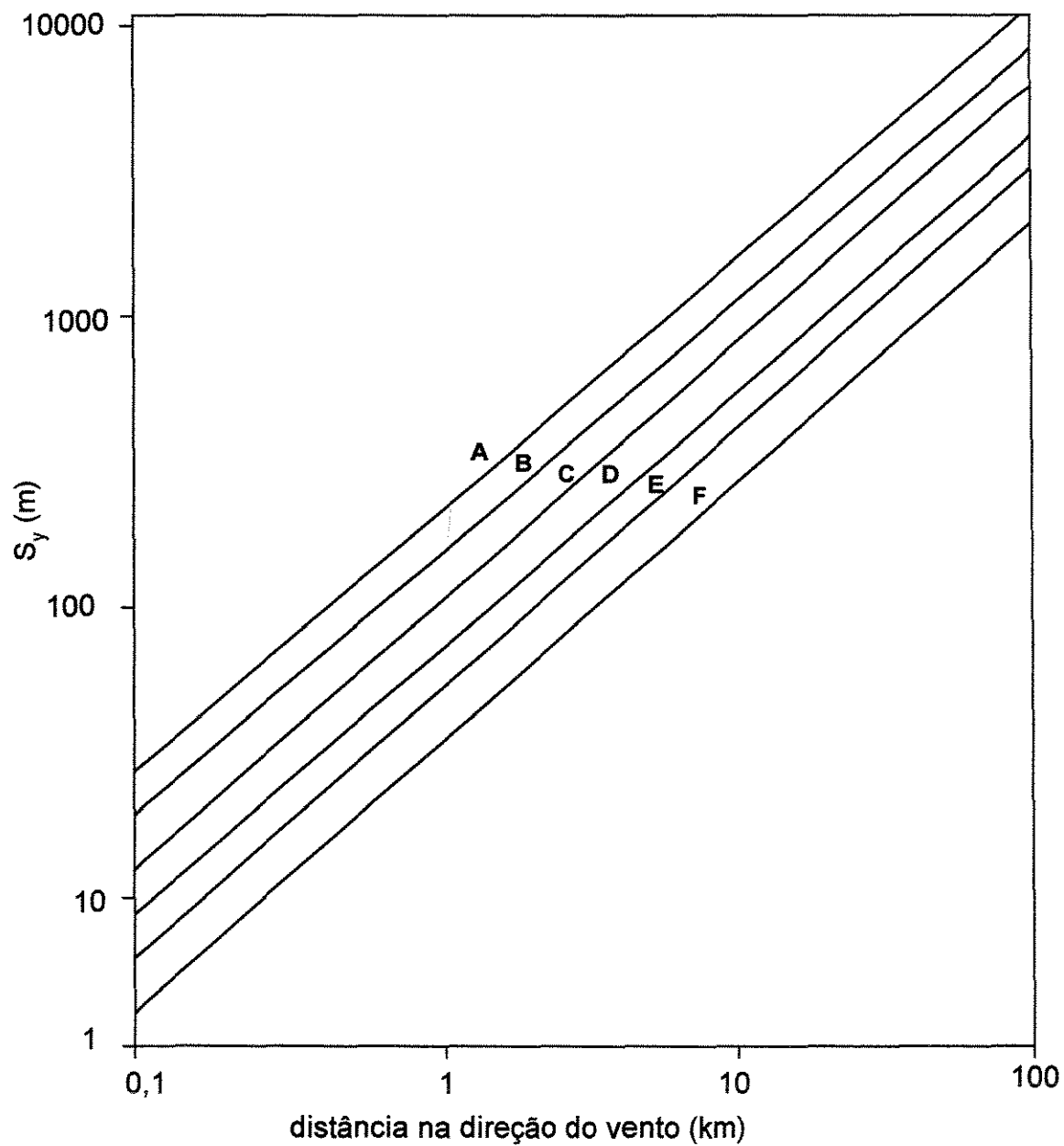


Figura 2.2: Condições de dispersão horizontal

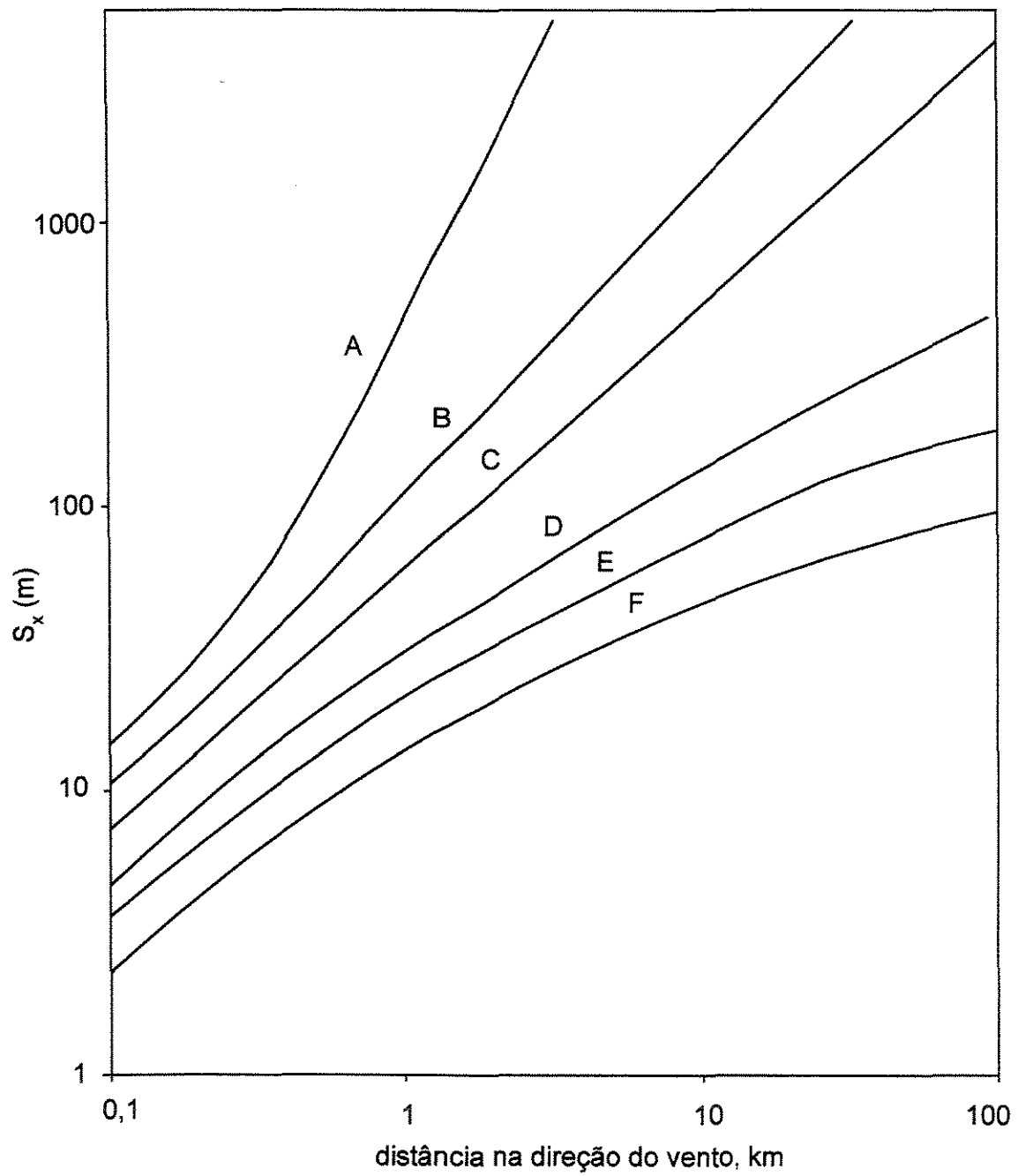


Figura 2.3: Condições de dispersão vertical

Inversão térmica

Quando ocorre uma inversão, a equação básica da difusão deve ser modificada levando em conta que a pluma não se dispersa verticalmente uma vez que alcança a camada de inversão (Figura 2.4). A pluma começará a se misturar quando alcançar a base da camada de inversão. A pluma começa a cair quando está a uma distância X_L da chaminé na direção do vento. A distância X_L é uma função da estabilidade na camada abaixo da inversão. Foi determinado empiricamente [10] que o desvio padrão vertical da pluma pode ser calculada de acordo com a seguinte equação a uma distância X_L :

$$S_z = 0,47 L \quad (2.17)$$

Onde L é a altura da camada de inversão em metros

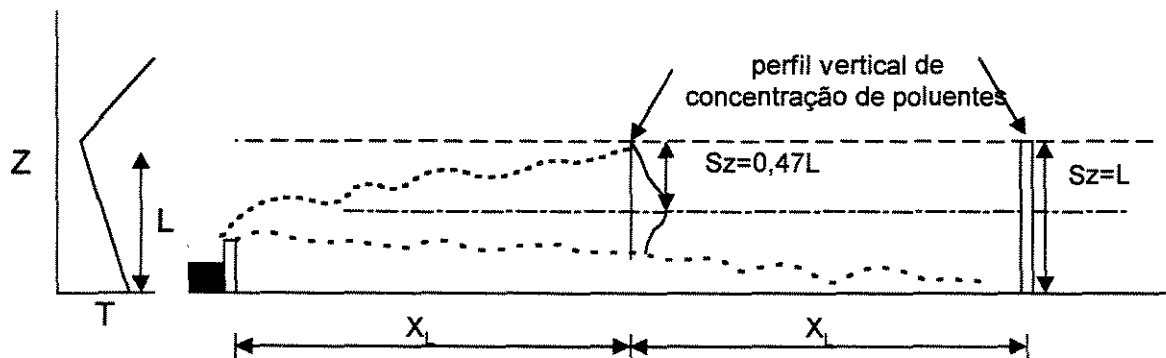


Figura 2.4: Efeitos da dispersão com inversão térmica

Quando a pluma alcança duas vezes a distância do contato inicial com a base da inversão, a pluma é tida como sendo completamente misturada pela camada abaixo da inversão. Além disso, a concentração do poluente a distância de $2 X_L$ pode ser estimada usando a seguinte equação:

$$\chi = \frac{Q}{\sqrt{2\pi} S_y(u)(L)} \quad (2.18)$$

Observe que S_Y é determinado pela estabilidade da camada abaixo da inversão e pela distância do receptor. Isto é chamada de “forma simplificada da equação da dispersão”.

2.10. Algoritmo “Industrial Source Complex (ISC3)”

O modelo de Industrial Source Complex (ISC3) é usado para prever concentrações de poluentes em pontos, áreas ou volume contínuo. Esse modelo está na lista dos modelos preferidos pela United States Environmental Protection Agency (U.S.E.P.A.), tendo sido desenvolvido dentro desta mesma instituição.

O modelo ISC3 é um modelo de pluma Gaussiana de regime permanente que pode ser usado para calcular concentrações de poluentes de uma grande variedade de fontes associadas com um complexo de fontes industriais [31].

Este modelo é apropriado para as seguintes aplicações:

- fontes industriais complexas;
- áreas urbanas ou rurais;
- terreno plano ou elevado;
- transporte a distâncias menores que 50 quilômetros;
- concentrações médias para períodos de 1 hora a 1 ano;
- emissões contínuas de poluentes do ar.

Existem 2 versões do ISC 3, um modelo de curta duração “*Industrial Source Complex Short Term (ISCST3)*” e modelo de longa duração “*Industrial Source Complex Long Term (ISCLT3)*”. Os modelos se diferem pelo período médio disponível para os cálculos, distâncias maiores do terreno, opção de deposição e o formato de dados meteorológicos de entrada.

Para modelos de curta ou longa duração, utiliza-se “Regulatory Default Options”, que considera automaticamente as seguintes opções:

- altura final da pluma;

- *Buoyancy Induced Dispersion* (Dispersão Induzida pela Flutuação da pluma, isto é, que considera o efeito térmico de elevação da pluma);
- gradiente de temperatura vertical;
- tratamento da condição de calmarias;
- expoentes para o perfil vertical dos ventos;
- valor apropriado para o tempo de meia vida de alguns poluentes.

- **Dados de entrada**

Entre os dados de entrada do modelo estão os dados das fontes, dados meteorológicos, dados do receptor, além de outros dados opcionais.

Dados das fontes: os dados das fontes necessários são a localização, taxa de emissão dos poluentes, altura da chaminé, velocidade de saída do gás da chaminé, diâmetro interno da chaminé e temperatura dos gases na saída da chaminé.

Dados meteorológicos: ISCST3 requer dados do clima local horários, como classe de estabilidade horária, direção e velocidade do vento, temperatura e altura de mistura. Para ISCLT3 os dados de entrada incluem estabilidade da rosa do vento, média da altura de mistura da tarde e da manhã e temperatura média do ar.

Dados do receptor: os dados do receptor necessários são as coordenadas e a elevação do terreno para cada receptor.

Dados de entrada opcionais: os dados opcionais incluem elevação da fonte, dimensões da construção, distribuição do tamanho da partícula com correspondentes velocidades de sedimentação e coeficiente de reflexão da superfície.

- **Dados de saída**

Opções de saída incluem:

- parâmetros de controle do programa, dados das fontes e dos receptores;
- tabelas dos dados meteorológicos horários para cada dia específico;
- Concentração média diária ou deposição total calculada para cada receptor ou para qualquer combinação de fontes desejada;
- valores de concentração ou deposição calculadas para qualquer combinação de fontes desejadas em todos os receptores para qualquer dia especificado ou período de tempo no prazo de um dia;
- tabelas dos valores mais altos e os segundos valores mais altos de concentração ou valores de deposição calculado para cada receptor, num período de tempo específico para qualquer combinação de fonte desejada;
- tabelas de concentrações ou deposição dos 50 valores máximos calculados, num período de tempo específico para qualquer combinação de fonte desejada.

- **Tipo do modelo**

ISC3 é um modelo de pluma Gaussiana podendo fazer uma integração dupla para fontes área.

- **Tipo de poluentes**

ISC3 pode ser usado para modelos de poluentes primários e emissões contínuas de poluentes tóxicos ou perigosos. A sedimentação e a deposição de poluentes são considerados.

- **Relação entre fonte-receptor**

ISC3 é aplicado em locais especificados pelo usuário para fonte linha, pontual, área e volume e especificações de localização de receptores ou de grades de recepção.

- **Comportamento da pluma**

ISC3 usa a equação de elevação da pluma Briggs [31] para elevações finais.

$$h_s = h_s + 2d_s \left[\frac{V_s}{u_s} - 1.5 \right] \quad \text{para } V_s < 1.5 u_s \quad (2.19)$$

ou $h_s' = h_s \quad \text{para } V_s \geq 1.5 u_s$

- **Ventos horizontais e verticais**

O modelo ISC3 considera as seguintes hipóteses para os ventos verticais e horizontais:

- Vento constantes e uniformes (regime permanente) são considerados para cada hora;
- É considerado o transporte da pluma em linha reta para todas as distâncias na direção do vento;
- São usados expoentes do perfil da velocidade do vento separados para casos rurais e urbanos;
- A velocidade do vento vertical é considerada igual a zero.

- **Dispersão horizontal**

Para a dispersão rural são usados o coeficiente de Turner (1969), sem ajustes para superfícies rugosas ou tempo médio, para a dispersão urbana o

Revisão da literatura e conceitos básicos sobre poluição do ar

coeficiente de Briggs (Gifford, 1976), dispersão induzida pela flutuação da pluma (Pasquill, 1976) e seis classes de estabilidade [31].

- **Dispersão vertical**

Da mesma forma que para dispersão horizontal são usados o coeficiente de Turner (1969), sem ajustes para superfícies rugosas, dispersão induzida pela flutuação da pluma (Pasquill, 1976) e seis classes de estabilidade [31].

A altura da mistura é calculada com reflexões múltiplas até que o desvio padrão da pluma vertical seja igual a 1,6 vezes a altura de mistura; a mistura vertical fica uniforme acima deste ponto.

A reflexão no solo é considerada especular.

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

- **Transformação química**

No modelo ISC3, as transformações químicas são tratadas usando decaimento exponencial, sendo que a constante do tempo é um dado de entrada fornecido pelo usuário.

- **Remoção Física**

Efeitos de deposição seca para partículas são tratadas usando uma formulação de resistência na qual a velocidade de deposição é a soma de um termo de resistências à transferência dos poluentes dentro da camada da superfície da atmosfera, mais um termo gravitacional de deposição.

2.11. Inventário de emissões de fontes de poluição

Inventário de emissões é o estudo das fontes industriais visando identificar, localizar, quantificar e qualificar todos os componentes que estão sendo descarregados para a atmosfera, podendo incluir estimativas de emissões de fontes pontuais, móveis, biogênicas e fonte área.

Inventário de emissões tem sido um instrumento fundamental no gerenciamento da qualidade do ar. As estimativas de emissões são importantes para o desenvolvimento de estratégias de controle de emissões, determinando aplicabilidade de programas de controle, verificando os efeitos das fontes e estratégias de mitigação apropriada [27].

Muitas refinarias e plantas petroquímicas tem estimado suas emissões. Rastrear emissões de VOC, por exemplo tem grande importância, os VOC's reagem com óxidos de nitrogênio para formar ozônio, que é um poluente regulado pela Lei. Contribuições totais das emissões de VOC dependem dos processos industriais utilizados e dos controles de emissões instalados. Em termos de distribuição das fontes de VOC, aproximadamente 79% são dos tanques de armazenamento, 18% dos vents e 3% dos incidentes, tais como vazamentos acidentais, emissões devido à condições transientes, etc.. Das distribuições de fontes não-pontuais de VOC, aproximadamente 86% são fugitivas e 14% dos tratamento de efluentes. Sendo que das emissões fugitivas, 43% são válvulas, 27% bombas, 18% válvulas de alívio, 8% compressores, 3% flanges e 1% drenos [21].

O Pólo Petroquímico de Camaçari é o maior complexo petroquímico do Brasil. Possui 43 companhias em operação e aproximadamente 150 produtos são manufaturados, dos quais 2.957.800 t/ano são produzidas pela indústria petroquímica e de substâncias químicas básicas, 602.335 t/ano pela indústria petroquímica e de substâncias químicas intermediárias, 807.540 t/ano pela indústria de polímero, 245.820 t/ano pela indústria de substâncias químicas finas, 23.435 t/ano pela indústria de celulose e 240.000 m³/ano pela indústria cervejeira [15].

De acordo com o inventário de emissões feito em 1993, o Pólo Petroquímico de Camaçari emite a seguinte carga de poluentes:

- material particulado = 2.955 t/ano
- dióxido de enxofre = 33.823 t/ano
- óxidos de nitrogênio = 14.669 t/ano

- monóxido de carbono = 18.122 t/ano
- hidrocarbonetos = 13.988 t/ano

2.11.1 Métodos para estimar emissões

Para estimar emissões de poluentes gasosos para a atmosfera pode-se utilizar os seguintes métodos:

- Fatores de emissões
- Balanço de massa
- Amostragem de chaminé
- Modelos de estimativa de emissões (software)

a). Fatores de emissões

Um fator de emissão é um valor representativo que tenta relacionar a quantidade de um poluente liberado para a atmosfera com uma atividade associada à mesma [33].

Fatores de emissão podem estar baseados na medida das amostragem de chaminé, modelagem, balanço de massa ou outras informações.

O documento da United States Environmental Protection Agency (U.S.E.P.A.) "*Compilation of Air Pollutant Emission Factors*" (AP-42) [24] foi publicado em 1972 e vem sendo atualizado desde então, trás várias categorias de fontes e respectivos fatores de emissões. Um fator de emissão relata a quantidade em peso dos poluentes emitidos por uma unidade de atividade da fonte.

O AP-42 foi desenvolvido como um recurso para ajudar as indústrias a calcular suas emissões de fontes pontuais, como por exemplo, caldeiras, fornos, compressores, máquinas de combustão interna, tanques de estocagem e estações de serviço [19].

O método geral de aplicar os fatores de emissões AP-42 está em multiplicar o fator de emissão apropriado pela taxa de alimentação do combustível. Em alguns casos de fontes de poluentes devido à combustão, ocorrem emissões

Revisão da literatura e conceitos básicos sobre poluição do ar

de material particulado, dióxido de enxofre, trióxido de enxofre, monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis (especialmente, emissões de metanos e não-metanos) em unidades da massa de substâncias emitidas por unidade de tempo. Em geral, os fatores de emissão AP-42 estão em unidades da massa de substâncias emitidas por volume de combustível queimado [19].

Para calcular emissões usando fatores de emissões são requeridas as seguintes características:

- Informação da atividade
- Fator de emissão
- Informações dos equipamentos e dispositivos de controle, quando aplicável

A equação básica para estimar emissões quando se usa um fator de emissão para uma fonte desprovida de equipamento de controle de poluição é dada por:

$$E = R \times EF \times (1-C/100) \quad (2.20)$$

Onde:

E = estimativa de emissão para um processo

R = nível de atividade

EF = fator de emissão assumido sem controle

C = controle (expresso em porcentagem); C = 0 se não existe dispositivo de controle para a fonte

$$E = R \times EF \rightarrow \text{fator de emissão não controlado} \quad (2.21)$$

Para cada fator de emissão do AP-42 é atribuída uma classificação de A até D [24]. Esta classificação está baseada na boa qualidade do teste usado no desenvolvimento do fator e nas características e quantidades representativas desses dados. Esta classificação está assim designada:

A = testes são feitos por uma metodologia segura e são apresentadas com bastante detalhes para a validação adequada.

B = testes são feitos geralmente por uma metodologia segura, mas faltam bastante detalhes para validação adequada.

C = testes são baseados em uma metodologia nova ou não aprovada ou está faltando informações da origem da metodologia.

D = testes são baseados geralmente em métodos inaceitáveis, mas os métodos podem fornecer um valor da ordem de magnitude para a fonte.

A qualidade de classificação dos dados do AP-42 ajudam a identificar um bom dado, quando não é possível extrair um fator representativo de uma fonte típica.

b). Balanço de massa

Utilizando-se o conceito da lei de conservação da massa é possível seguir a pista de qualquer material, numa caldeira, num lago, no ar, ou no globo terrestre, por exemplo.

Numa fronteira imaginária em torno de uma região, pode-se então começar a identificar o fluxo de materiais através da fronteira, bem como o acúmulo de materiais dentro de um volume de controle.

Uma substância que entra numa região tem dois destinos possíveis: 1- pode ser levado a uma região desconhecida e 2- pode ser convertido em alguma outra substância através de acúmulo ou decaimento.

A equação de balanço de massa é a seguinte:

$$T_E = T_S + T_D + T_A \quad (2.22)$$

Onde:

T_E é a taxa de entrada da substância no volume de controle

T_S é a taxa de saída da substância no volume de controle

T_D é a taxa de decaimento da substância dentro do volume de controle

T_A é a taxa de acúmulo da substância dentro do volume de controle

Neste caso, o balanço de massa será utilizado para calcular as emissões de poluentes e isto depende do conhecimento da quantidade de certos materiais que entram no processo, a quantidade de produto que deixam o processo e alguma quantidade do material perdido ao longo do processo. Esta técnica é igualmente aplicada para fontes pontuais e fontes área. Processos típicos no qual um balanço de massa é particularmente útil são operações de degradação de solventes, operações de recobrimento de superfícies e análises de combustíveis queimados em caldeiras. Balanço de massa não poderia ser usado para processos onde materiais reagem na forma de produtos secundários ou onde o material recebe significativa mudança química [33].

A equação básica para estimar emissões pelo balanço de massa é:

$$E_x = (Q_{in} - Q_{out}) \cdot C_x \quad (2.23)$$

Onde:

E_x = emissões totais do poluente x;

Q_{in} = quantidade de material que entra no processo;

Q_{out} = quantidade de material deixado no processo como resíduo;

C_x = concentração do poluente x no material.

c). Amostragem de chaminé

Amostragem em chaminé é um procedimento experimental utilizado para avaliar as características dos fluxos gasosos emitidos em processos industriais. O objetivo é quantificar as emissões de poluentes para verificar, entre outras coisas, se estas emissões se enquadram na legislação vigente, se um equipamento de controle está operando nas condições especificadas pelo fabricante ou ainda, para estabelecer padrões de emissão [33].

Em uma amostragem de chaminé deve-se procurar obter dados que sejam representativos do fluxo de gás emitido pela fonte. Para isso, é necessário extrair uma amostra da chaminé em condições tais que reproduzam a medida dos gases que estão sendo emitidos.

Simultaneamente à coleta da amostra, devem ser medidos parâmetros que permitam calcular as concentrações de poluentes e as taxas de emissão. Assim é necessário medir o volume total do gás amostrado e o tempo da coleta.

Para padronizar os resultados, eles são expressos em condições normais de temperatura e pressão (0 °C e 760 mmHg) em base seca. Para isso, é necessário medir parâmetros como pressão, temperatura e teor de umidade.

O equipamento e a aparelhagem necessários em uma amostragem de chaminé são relativamente complexos e variam em função do poluente que se quer analisar. Para cada poluente há uma instrumentação específica.

As metodologias utilizadas no Brasil são as mesmas adotadas pelo United States Environmental Protection Agency (U.S.E.P.A.).

Embora amostragem de chaminé produza mais exatidão nas estimativas de emissões que fatores de emissões ou balanço de massa, o uso desse método para fazer um inventário de emissões pode ser limitado por várias razões. Primeiro, a amostragem de chaminé é cara, especialmente se o custo é composto por um grande número de poluentes a serem testados. Segundo, amostragem de chaminé fornece uma foto instantânea de emissões de teste na fonte levantando-se a estimativa das condições durante a corrida do teste. Finalmente, apesar do método de amostragem de chaminé ser padronizado, nem sempre ele é utilizado corretamente.

d). Modelos de emissão

Alguns modelos de emissões atualmente disponíveis estão baseados em valores empíricos e medidos. Os softwares de estimativa de emissão são usados quando um grande número de equações e interações devem ser manipuladas e o efeito de muitos parâmetros diferentes devem ser considerados para as estimativas de emissões. O (U.S.E.P.A.) desenvolveu códigos de simulação em FORTRAN para os algoritmos dos modelos de emissões, tais como o TANKS e o WATER8.

- TANKS destina-se à realização de estimativas de perdas por estocagem de líquidos orgânicos dos tanques de armazenamento [34].
- WATER8 e CHEMDAT8 destina-se à estimativas de perdas por evaporação do sistema de tratamento de efluentes [28].

Modelo de emissão para estimar perdas por estocagem de líquidos orgânicos dos tanques de armazenamento (TANKS)

Vasos de estocagem contendo líquidos orgânicos podem ser encontrados em muitas indústrias, incluindo produção e refinamento de petróleo, manufatura química e petroquímica, volume de estocagem e operações de transferência e outras indústrias de consumo ou produção de líquidos orgânicos. Líquidos orgânicos em indústrias de petróleo, geralmente são chamados de líquidos de petróleo e em geral são misturas de hidrocarbonetos, como por exemplo, gasolina e óleo cru. Líquidos orgânicos na indústria química, geralmente chamado de líquidos orgânicos voláteis, são compostos de substâncias químicas puras ou misturas de substâncias químicas como por exemplo, benzeno [34].

Muitos produtos são armazenados e manuseados operando próximos à pressão atmosférica. Esses líquidos geralmente tem pressões de vapor bem leves e suportam uma concentração significativa desses produtos no espaço do vapor dentro do tanque. Em temperaturas normais de estocagem, a pressão de vapor é menor que a pressão atmosférica, então o ar deve ser introduzido no espaço do vapor para evitar o vácuo parcial no tanque e fazer a pressão atmosférica total [1].

Evaporação é um processo natural pelo qual o líquido é convertido em vapor. Perdas por evaporação ocorrem quando um líquido estocado evapora e o vapor escapa para atmosfera. E quanto maior o “turnover” do tanque, que é a capacidade dele encher e esvaziar, maior será a perda por evaporação [1].

Existem quatro tipos de projetos de tanques de estocagem de líquidos orgânicos :

- Teto fixo vertical
- Teto fixo horizontal

- Teto flutuante interno
- Teto flutuante externo

a)- Tanques de teto fixo vertical / horizontal

Este tipo de tanque consiste num casco de aço cilíndrico com um teto fixado permanentemente que pode variar o desenho na forma de cone ou cúpula (Figura 2.5).

Perdas por evaporação dos tanques de teto fixo são causados por mudanças na temperatura, pressão e nível do líquido. Os acessórios também permitem emissão de vapores dos produtos, como respirador central e válvula de alívio de pressão/vácuo [34].

Os tanques de teto fixo com ou sem controle terão maiores emissões do que tanques de teto flutuantes [18].

As perdas por evaporação de tanques de teto fixo podem ser divididas em duas categorias:

- Perdas por respirador: vapores expelidos pelo tanque como resultado de uma vaporização adicional e/ou expansão do vapor causado pelo aumento da temperatura e/ou diminuição da pressão barométrica.
- Perdas quando o tanque está em operação de enchimento: vapores expelidos do tanque como resultado da transferência de um líquido para dentro ou para fora do tanque.

Tanques horizontais de teto fixo são construídos acima ou abaixo do nível do solo. São geralmente tanques pequenos com capacidade menor do que 150 m³, estes são equipados com respiradores de pressão/vácuo.

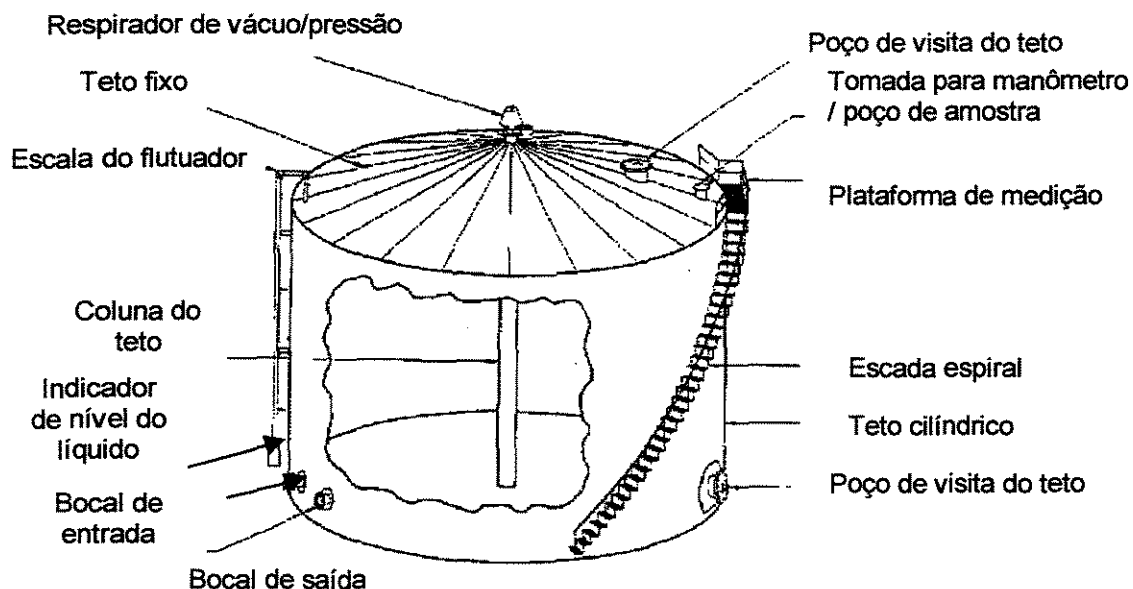


Figura 2.5: Tanque de teto fixo vertical [34]

b)- Tanque de teto flutuante externo

Um tanque de teto flutuante externo consiste em um casco de aço cilíndrico aberto no topo, equipado com um teto que flutua na superfície do líquido. O teto flutuante consiste numa cobertura, acessórios na cobertura e um sistema de selo na borda da cobertura flutuante. São construídos com chapas de aço e são geralmente de dois tipos: ponte flutuante (Figura 2.6) ou dupla cobertura (Figura 2.7). Como todos os tanques de teto flutuante externo, a subida e a descida do teto depende do nível de líquido no tanque. Coberturas flutuantes externas são equipadas com um sistema de selo na borda, que são colocados no perímetro da cobertura e ajustadas à parede do tanque. O propósito do teto flutuante e do sistema de selo na borda é a redução das perdas por evaporação do líquido estocado. Alguma sobra no espaço anular entre o sistema de selo e a parede do tanque pode causar emissões. O sistema de selo escorrega contra a

Revisão da literatura e conceitos básicos sobre poluição do ar
parede do tanque durante a alteração do nível de líquido no esvaziamento ou no
enchimento [34].

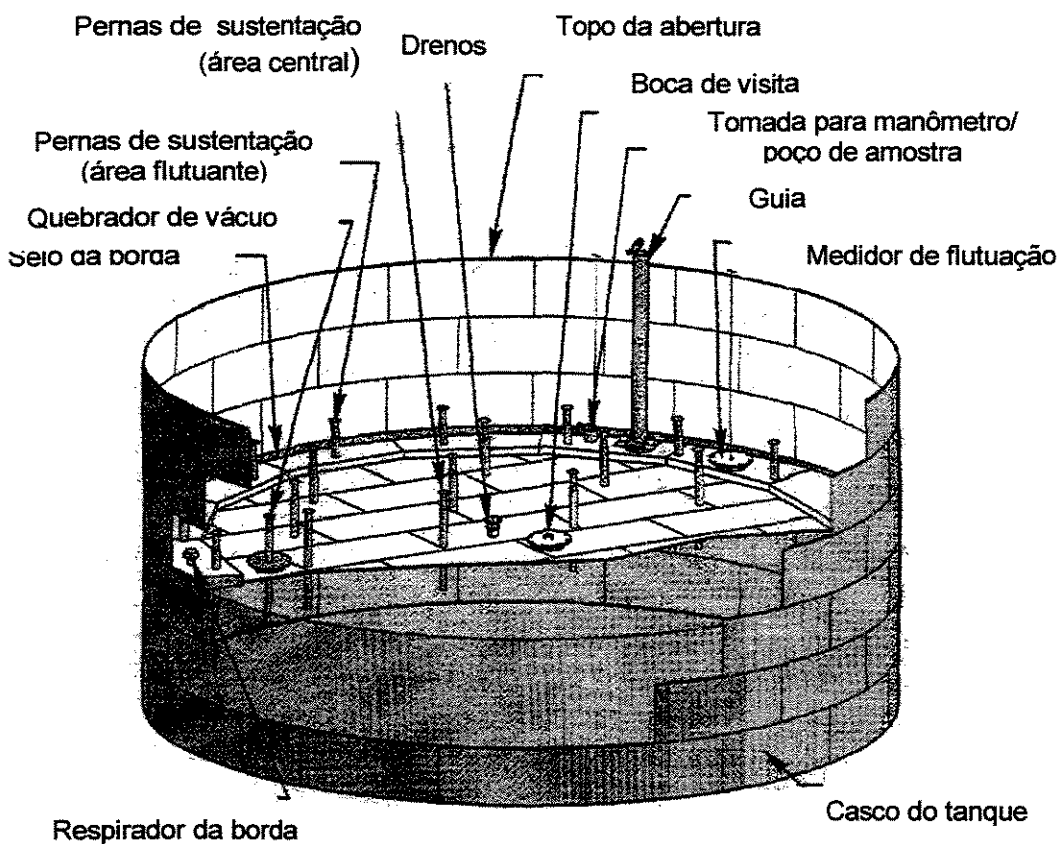


Figura 2.6: Tanque de teto flutuante externo (ponte flutuante) [34]

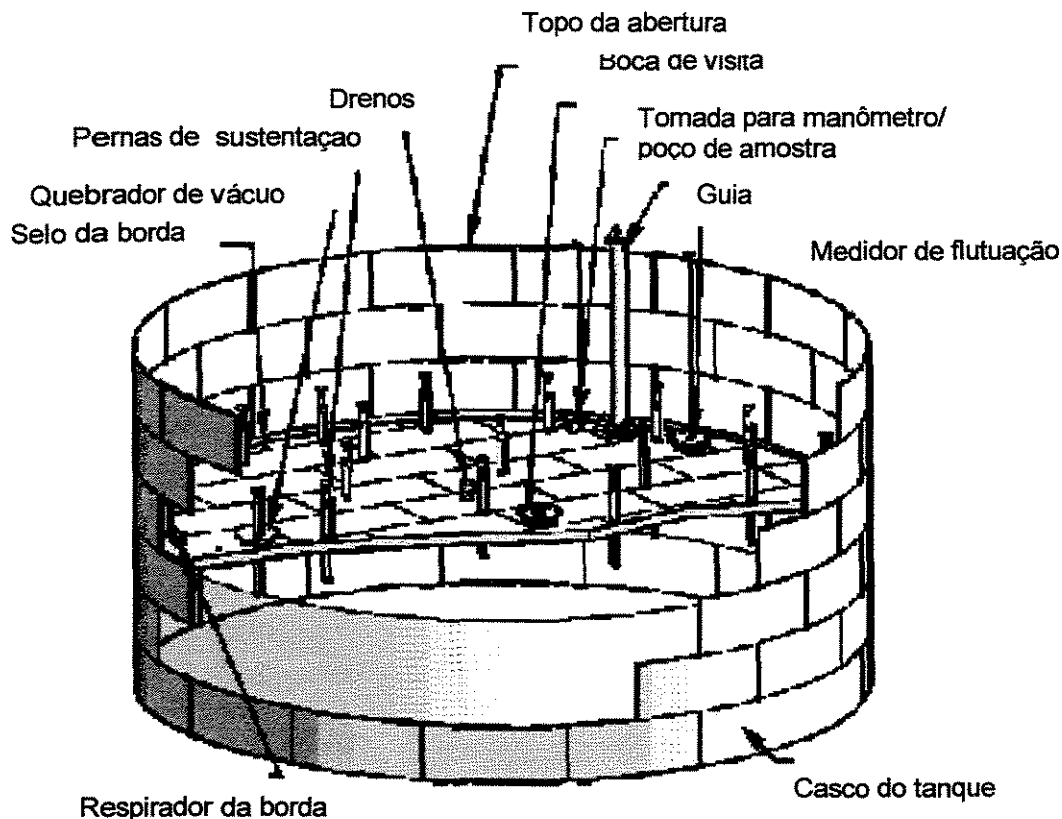


Figura 2.7: Tanque de teto flutuante externo (dupla cobertura) [34]

c)- Tanque de teto flutuante interno

Um tanque de teto flutuante interno possui um teto fixo permanente e um teto flutuante interior (Figura 2.8). Existem dois tipos básicos de tanque de teto flutuante interno: tanques no qual o teto fixo é suportado pela coluna vertical dentro do tanque, e tanque com um teto fixo auto-suportado e não por colunas de suporte interno. Tanques de teto fixo tem sido readaptado para o uso de um teto flutuante e são tipicamente do primeiro tipo. Tanque de teto flutuante externo tem sido convertido em tanque de teto flutuante interno auto-suportado. A cobertura do tanque de teto flutuante interno sobe e desce com o nível do líquido e também flutua diretamente na superfície do líquido (contato com a cobertura) ou apoia em pontos flutuantes várias polegadas acima da superfície do líquido (não tem contato com a cobertura).

Instalando um tanque de teto flutuante interno ocorre diminuição das perdas por evaporação de líquido estocado. Ambas as coberturas com contato ou sem contato incorpora selos na borda e acessórios na cobertura pelo mesmo propósito descrito no tanque de teto flutuante externo. Perdas por evaporação de teto flutuante interno podem ocorrer nos acessórios da cobertura, pela costura da cobertura não soldada e pelo espaço anular entre a cobertura e a parede do tanque. Adicionalmente, estes tanques possuem respiradores no topo do teto fixo. Os respiradores minimizam a possibilidade de acúmulo de vapor orgânico, no espaço do vapor do tanque aproximando-se da concentração de inflamabilidade.

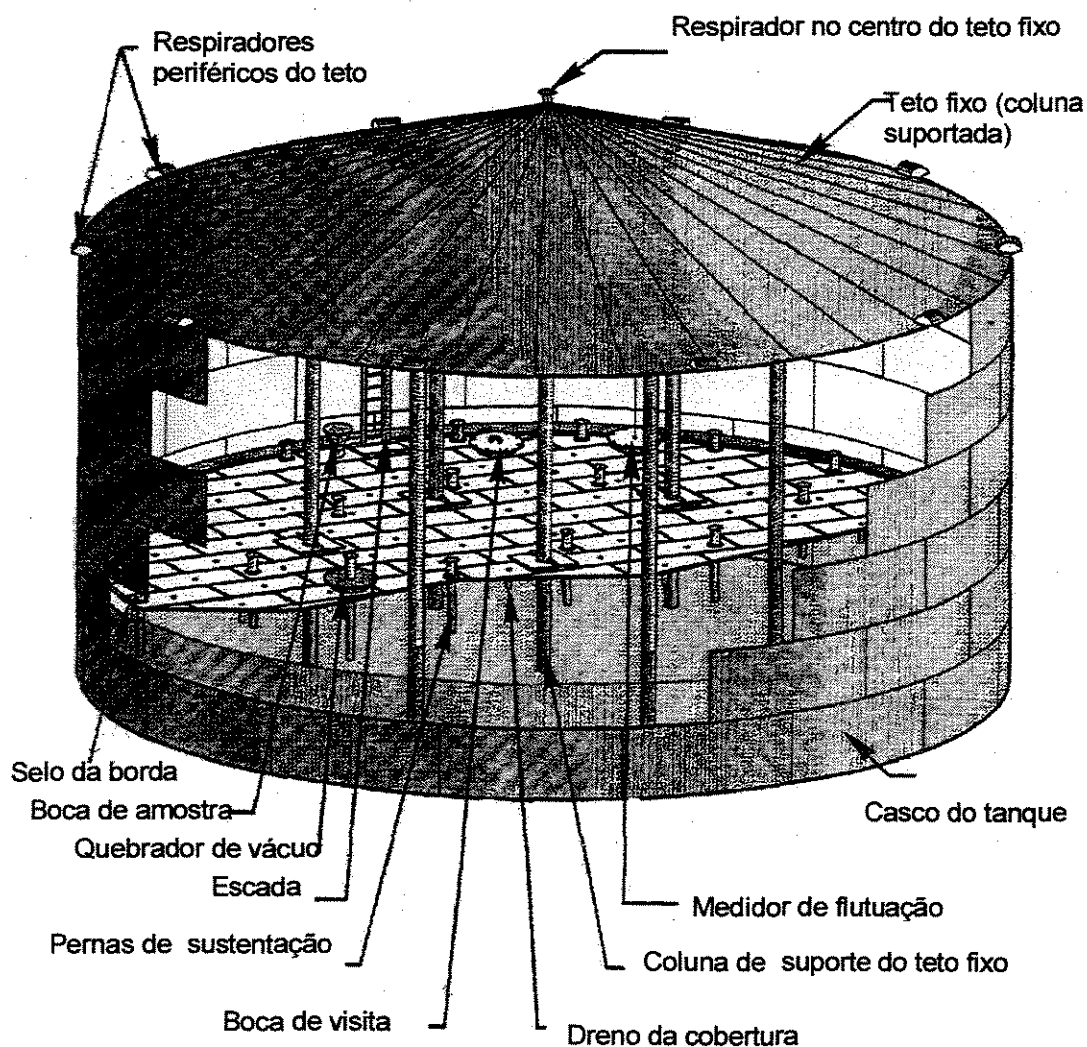


Figura 2.8: Tanque de teto flutuante interno [34]

Procedimento para estimar emissões dos tanques

Esses procedimentos são válidos para todos os líquidos do petróleo, líquidos orgânicos voláteis puros e misturas químicas com pressões de vapor verdadeira similares [34].

É importante observar que em todo procedimento para estimar emissões, as propriedades físicas do vapor não incluem não condensáveis no gás, como por exemplo o ar, mas apenas se refere a componentes condensáveis de líquidos estocados.

- **Perdas totais de tanques de teto fixo**

As seguintes equações são empregadas para estimar emissões de estocagem estagnada e perdas quando o tanque está em operação de enchimento, aplicadas para tanques com casco cilíndricos verticais e teto fixo. Esses tanques devem armazenar líquido e vapor e deve operar aproximadamente a pressão atmosférica. Perdas totais de tanques de teto fixo são iguais a soma de perdas de estocagem estagnada e perdas quando o tanque está em operação de enchimento.

$$L_T = L_S + L_W \quad (2.24)$$

Sendo:

L_T = perdas totais (lb/ano)

L_S = perdas de estocagem estagnada (lb/ano)

L_W = perdas quando o tanque está em operação de enchimento/esvaziamento (lb/ano)

- **Perdas de estocagem estagnada**

As perdas pelo respiro do tanque de teto fixo ou devido à estocagem estagnada pode ser estimada por:

$$L_S = 365 * V_V * W_V * K_E * K_S \quad (2.25)$$

Sendo:

L_S = perdas de estocagem estagnada (lb/ano)

V_V = volume do espaço do vapor (ft^3)

W_V = densidade do vapor (lb/ft^3)

K_E = fator de expansão do espaço do vapor, adimensional

K_S = fator de saturação do vapor descarregado, adimensional

365 = constante, dia/ano

O volume do espaço do vapor no tanque, V_V é calculado usando a seguinte equação:

$$V_V = \frac{\pi}{4} * D^2 * H_{VO} \quad (2.26)$$

Sendo:

V_V = volume do espaço do vapor (ft^3)

D = diâmetro do tanque (ft)

H_{VO} = altura do espaço do vapor (ft)

A altura do espaço do vapor, H_{VO} - é a altura do cilindro de um tanque com diâmetro D , cujo volume é equivalente ao volume do espaço do vapor do tanque de teto fixo, incluindo o volume embaixo do teto cônico ou de cúpula. A altura do espaço do vapor, H_{VO} é estimado por:

$$H_{VO} = H_s - H_L + H_{RO} \quad (2.27)$$

Sendo:

H_{VO} = altura do espaço do vapor do tanque (ft)

H_s = altura do costado do tanque (ft)

H_L = altura do líquido (ft)

H_{RO} = altura do teto (ft)

Observação:

1. Para teto cônico, a altura do teto, H_{RO} , é calculado da seguinte forma:

$$H_{RO} = 1/3 H_R \quad (2.28)$$

Sendo:

H_{RO} = altura do teto (ou altura do costado equivalente ao volume contido abaixo do teto) (ft)

H_R = altura do costado do tanque (ft)

A altura do costado do tanque, H_R é igual a $S_R R_S$

S_R = inclinação do teto cônico, (ft/ft)

R_S = raio do costado do tanque (ft)

A densidade do vapor W_V é calculada usando a seguinte equação:

$$W_V = \frac{M_V * P_{VA}}{R * T_{LA}} \quad (2.29)$$

Sendo:

W_V = densidade do vapor (lb/ft³)

M_V = peso molecular do vapor, (lb/lb-mol)

R = constante do gás ideal, 10,731 (psia.ft³/lb-mol.°R)

P_{VA} = pressão do vapor na temperatura média diária da superfície do líquido (psia)

T_{LA} = temperatura média diária na superfície do líquido (°R)

Observação:

1.O peso molecular do vapor, M_v , pode ser determinado por tabela para líquidos do petróleo e líquidos orgânicos voláteis, respectivamente ou pela análise de uma amostra do vapor. Onde misturas de líquidos orgânicos são estocados no tanque, M_v pode ser calculado pela composição do líquido. O peso molecular do vapor M_v é igual a soma do peso molecular, M_i , multiplicado pela fração molar do vapor, y_i , para cada componente. A fração molar do vapor é igual a pressão parcial do componente i dividido pela pressão de vapor total. A pressão parcial do componente i é igual a pressão de vapor verdadeira do componente i (P) multiplicado pela fração molar do líquido (x_i). Portanto,

$$M_v = \sum M_i y_i = \sum M_i \left(\frac{P x_i}{P_{VA}} \right) \quad (2.30)$$

P_{VA} , pressão de vapor total do líquido estocado, pela Lei de Raoult, é:

$$P_{VA} = \sum P x_i \quad (2.31)$$

2. Pressão de vapor verdadeira é o equilíbrio da pressão parcial exercida pelo líquido orgânico volátil. Pressão de vapor "*reid*" é a pressão de vapor absoluta do óleo cru volátil e líquidos do petróleo não viscosos voláteis, exceto o GLP [34].

Alternativamente, a pressão de vapor verdadeira para estocagem de líquidos do petróleo, na temperatura da superfície do líquido estocado, pode ser determinado usando as seguintes equações:

$$P_{VA} = \exp[A - (B/T_{LA})] \quad (2.32)$$

Sendo:

A = constante da equação da pressão do vapor, adimensional

B = constante da equação da pressão de vapor, °R

T_{LA} = temperatura média diária na superfície do líquido °R

P_{VA} = pressão de vapor verdadeira, psia

A pressão de vapor verdadeira de líquidos orgânicos na temperatura do líquido estocados pode ser estimado pela equação de Antoine:

$$\log P_{VA} = A - \frac{B}{T_{LA} + C} \quad (2.33)$$

Sendo:

A = constante da equação da pressão de vapor

B = constante da equação da pressão de vapor

C = constante da equação da pressão de vapor

T_{LA} = temperatura média diária na superfície do líquido °C

P_{VA} = pressão de vapor na temperatura média da superfície do líquido, mmHg

Para líquidos orgânicos, os valores das constantes A, B e C são tabelados. Observe que na equação (2.33), T_{LA} é determinada em graus Celsius e substituído por graus Rankine e P_{VA} é determinada em mmHg e substituído por psia.

3. Se a temperatura média diária na superfície do líquido, T_{LA} , é desconhecida, será calculada usando a seguinte equação:

$$T_{LA} = 0,44T_{AA} + 0,56T_B + 0,0079\alpha I \quad (2.34)$$

Sendo:

T_{LA} = temperatura média diária na superfície do líquido °R

T_{AA} = temperatura média diária ambiente, °R

T_B = temperatura do volume do líquido, °R

α = absorbância solar com a pintura do tanque

I = fator de insolação solar total diária, BTU/ft²d

4. A média diária da temperatura ambiente, T_{AA} , é calculado usando a seguinte equação:

$$T_{AA} = (T_{AX} + T_{AN})^2 \quad (2.35)$$

Sendo:

T_{AA} = média diária da temperatura ambiente, °R

T_{AX} = máxima diária da temperatura ambiente, °R

T_{AN} = mínima diária da temperatura ambiente, °R

5. A temperatura do volume do líquido, T_B , é calculada usando a seguinte equação:

$$T_B = T_{AA} + 6\alpha - 1 \quad (2.36)$$

Sendo:

T_B = temperatura do volume do líquido, °R

T_{AA} = média diária da temperatura ambiente, °R

α = absorvância solar com a pintura do tanque, adimensional

O fator de expansão do espaço do vapor, K_E , é calculado usando a seguinte equação:

$$K_E = \frac{\Delta T_V}{T_{LA}} + \frac{\Delta P_V - \Delta P_B}{P_A - P_{VA}} \quad (2.37)$$

Sendo:

ΔT_V = variação da temperatura diária do vapor, °R

ΔP_V = variação da pressão de vapor diária, psi

ΔP_B = variação da regulação da pressão do respirador, psi

P_A = pressão atmosférica, psia

P_{VA} = pressão de vapor na temperatura média diária da superfície do líquido, psia

T_{LA} = temperatura média diária na superfície do líquido, °R

Observação:

1. A variação da temperatura diária do vapor, ΔT_V , é calculada usando a seguinte equação:

$$\Delta T_V = 0,72\Delta T_A + 0,028\alpha I \quad (2.38)$$

Sendo:

ΔT_V = variação da temperatura diária do vapor, °R

ΔT_A = variação da temperatura ambiente diária, °R

α = absorvância solar com a pintura do tanque

I = fator de insolação solar total diária, BTU/ft²d

1. A variação da pressão de vapor diária, ΔP_V , pode ser calculada usando a seguinte equação:

$$\Delta P_V = P_{VX} - P_{VN} \quad (2.39)$$

Sendo:

ΔP_V = variação da pressão de vapor diária, psia

P_{VX} = pressão de vapor na temperatura máxima diária da superfície do líquido, psia

P_{VN} = pressão de vapor na temperatura mínima diária da superfície do líquido, psia

O método a seguir pode ser usado como uma média alternativa para o cálculo de ΔP_V para líquidos do petróleo:

$$\Delta P_V = \frac{0,50BP_{VA}\Delta T_V}{T_{LA}^2} \quad (2.40)$$

Sendo:

ΔP_V = variação da pressão de vapor diária, psia

B = constante da equação da pressão de vapor, °R

P_{VA} = pressão de vapor na temperatura média diária da superfície do líquido, psia

T_{LA} = temperatura média diária da superfície do líquido, °R

ΔT_V = variação da temperatura diária do vapor, °R

2. A variação da regulação da pressão do respirador, ΔP_B , é calculada usando a seguinte equação:

$$\Delta P_B = P_{BP} - P_{BV} \quad (2.41)$$

Sendo:

ΔP_B = variação da regulação da pressão do respirador, psig

P_{BP} = regulação da pressão do respirador, psig

P_{BV} = regulação do vácuo do respirador, psig

3. A variação da temperatura ambiente diária, ΔT_A , é calculado usando a seguinte equação:

$$\Delta T_A = T_{AX} - T_{AN} \quad (2.42)$$

Sendo:

ΔT_A = variação da temperatura ambiente diária, °R

T_{AX} = temperatura ambiente máxima diária, °R

T_{AN} = temperatura ambiente mínima diária, °R

Fator de saturação do vapor do respirador, K_S , é calculado usando a seguinte equação:

$$K_S = \frac{1}{1 + 0,053 P_{VA} H_{VO}} \quad (2.43)$$

K_S = Fator de saturação do vapor do respirador, adimensional

P_{VA} = pressão de vapor na temperatura média diária na superfície do líquido, psia

H_{VO} = altura do espaço do vapor (ft)

- ° Perdas quando o tanque está em operação de enchimento/esvaziamento - perdas quando o tanque está em operação, L_W , pode ser estimado por:

$$L_W = 0,0010 M_V P_{VA} Q K_N K_P \quad (2.44)$$

Sendo:

L_W = perdas quando o tanque está em operação de enchimento/esvaziamento, lb/ano

M_V = peso molecular do vapor, lb/lb-mol

P_{VA} = pressão de vapor na temperatura média diária da superfície do líquido, psia

Q = produção anual, barril/ano

K_N = fator do turnover, adimensional

Para turnovers > 36 , $K_N = (180+N)/6N$

Para turnovers ≤ 36 , $K_N = 1$

K_P = fator da perdas de produto quando o tanque está em operação de enchimento/esvaziamento, adimensional. Para todos os líquidos orgânicos, $K_P = 1$

O número de turnovers por ano, pode ser expresso por:

$$N = \frac{5,614Q}{V_{LX}} \quad (2.45)$$

N = número de turnovers por ano, adimensional

Q = produção anual, barril/ano

V_{LX} = volume máximo de líquido no tanque, ft^3

O volume máximo de líquido no tanque é estimado por:

$$V_{LX} = \frac{\pi}{4} D^2 H_{LX} \quad (2.46)$$

D = diâmetro, ft

H_{LX} = altura máxima do líquido, ft

- **Perdas totais de tanques de teto flutuante**

As emissões totais de tanques de teto flutuante são a soma das perdas pelos selos da borda, por esvaziamento, pelos acessórios nas coberturas e pelas perdas nas costuras das coberturas. As equações apresentadas nesta seção é aplicada apenas em tanques do teto flutuante. Essas equações não são aplicadas nos seguintes casos:

1. Estimar perdas de mistura de hidrocarbonetos ou petroquímicos ou grupos com pontos de ebulições próximos ou instáveis;
2. Estimar perdas de tanques de teto flutuante de cúpula externa ou interno fechado (tanques fechado apenas pelo respirador da pressão/vácuo); ou
3. Estimar perdas de tanques em que os materiais usados nos selos da borda e/ou acessórios da cobertura também são deteriorados ou significativamente permeado pelo líquido estocado.

As perdas totais de tanques de teto flutuante pode ser escrito como:

$$L_T = L_R + L_{WD} + L_F + L_D \quad (2.47)$$

Onde:

L_T = perdas totais, lb/ano

L_R = perdas nos selos da borda, lb/ano

L_{WD} = perdas durante o esvaziamento, lb/ano

L_F = perdas nos acessórios da cobertura, lb/ano

L_D = perdas na costura da cobertura, (apenas em tanques de teto flutuante interno) (lb/ano)

- ° Perdas nos selos das bordas - Perdas nos selos da borda pode ser estimado usando a seguinte equação:

$$L_R = (K_{Ra} + K_{Rb}v^n)DP^*M_vK_C \quad (2.48)$$

Sendo:

L_R = perdas nos selos das bordas, lb/ano

K_{Ra} = fator das perdas nos selos das bordas com velocidade do vento igual a zero, lb-mol/ft.ano

K_{Rb} = fator das perdas nos selos das bordas dependente da velocidade do vento, lb-mol/(mph)ⁿ ft.ano

v = velocidade média do vento no local do tanque, milhas/h

n = expoente da velocidade do vento relacionada com selo, adimensional

D = diâmetro do tanque, ft

M_v = peso molecular médio do vapor, lb/lb-mol

K_C = fator do produto; ($K_C = 0,4$ para óleo cru e $K_C = 1$ para todos os líquidos orgânicos)

P^* = função pressão de vapor, adimensional

$$P^* = \frac{P_{VA}/P_A}{\left[1 + \left(1 - [P_{VA}/P_A]\right)^{0.5}\right]^2} \quad (2.49)$$

Onde:

P_{VA} = pressão de vapor da temperatura média diária da superfície do líquido, psia

P_A = pressão atmosférica, psia

Observações:

1. Se o tanque é um tanque de teto flutuante de cúpula externa ou tanque de teto flutuante interno, o valor de v é zero.
2. A American Petroleum Institute (API) recomenda o uso da temperatura do líquido estocado para calcular P_{VA} ao invés da temperatura na superfície do

líquido. Se a temperatura do líquido estocado é desconhecida, recomenda-se que a temperatura de estocagem seja estimada em função da cor do tanque, de acordo com a tabela abaixo.

Tabela 2.4: Estimativa da temperatura média de estocagem

Cor do tanque	Temperatura média de estocagem anual, T_s (°F)
Branco	$T_{AA} + 0^a$
Alumínio	$T_{AA} + 2,5$
Cinza	$T_{AA} + 3,5$
Preto	$T_{AA} + 5,0$

^a T_{AA} é a temperatura ambiente anual média em graus Fahrenheit

- ° Perdas durante o esvaziamento - As perdas durante o esvaziamento de estocagem de tanques de teto flutuante pode ser estimado através da seguinte equação:

$$L_{WD} = \frac{(0,943)QCW_L}{D} \left[1 + \frac{N_C F_C}{D} \right] \quad (2.50)$$

Sendo:

L_{WD} = perdas durante o esvaziamento, lb/ano

Q = produção anual (capacidade do tanque (barril) vezes a taxa de turnover anual), barril/ano

C = fator de aderência do costado, barril/1000ft²

W_L = densidade média dos líquidos orgânicos, lb/gal

D = diâmetro do tanque, ft

N_C = número de colunas de suporte do teto fixo, adimensional

F_C = diâmetro efetivo da coluna, ft (perímetro da coluna/ π)

Observação:

Para um teto fixo auto-suportado ou um tanque de teto flutuante externo:

➤ $N_C = 0$

Para um teto fixo suportado por coluna:

➤ $N_C =$ usar informação específica do tanque

Usar diâmetro efetivo da coluna de um tanque específico:

➤ $F_C = 1,1$ para 9 polegadas por 7 polegadas da coluna

➤ $F_C = 0,7$ para 8 polegadas de diâmetro do tubo da coluna

➤ $F_C = 1,0$ se detalhes da construção da coluna é desconhecido.

◦ Perdas pelos acessórios da cobertura

As perdas pelos acessórios da cobertura para tanques de teto flutuante podem ser estimado pela seguinte equação:

$$L_F = F_F P^* M_V K_C \quad (2.51)$$

L_F = perdas pelos acessórios da cobertura, lb/ano

F_F = fator de perdas totais pelos acessórios da cobertura, lb-mol/ano

O fator de perdas totais pelos acessórios da cobertura pode ser calculado por:

$$F_F = [(N_{F1} K_{F1}) + (N_{F2} K_{F2}) + \dots + (N_{Fn_f} K_{Fn_f})] \quad (2.52)$$

Onde:

N_{Fi} = número de acessórios da cobertura de um tipo particular ($i = 0,1,2,\dots,n_f$), adimensional

K_{Fi} = fator de perdas pelos acessórios da cobertura para um tipo particular de acessório ($i = 0,1,2,\dots,n_f$), lb-mol/ano

n_f = número total de tipos diferentes de acessórios, adimensional

O valor de F_F pode ser calculado usando dados específicos do tanque atual para o número de cada tipo de acessório (N_F) e multiplicando-se pelo fator de perdas dos acessórios para cada acessório (K_F).

O fator de perdas pelos acessórios da cobertura, para um tipo particular de acessório, pode ser estimado pela seguinte equação:

$$K_{Fi} = K_{Fai} + K_{Fbi} (K_V V)^{m_i} \quad (2.53)$$

K_{Fi} = fator de perdas para um tipo particular de acessórios da cobertura, lb-mol/ano

K_{Fai} = fator de perdas para velocidade do vento igual a zero para um tipo particular de acessório, lb-mol/ano

K_{Fbi} = fator de perdas dependente da velocidade do vento para um tipo particular de acessório, lb-mol/(mph)^m ano

m_i = fator de perdas para um tipo particular de acessório da cobertura, adimensional

$i = 1, 2, \dots, n$, adimensional

K_V = fator de correção da velocidade do vento no acessório, adimensional

v = velocidade média do vento, mph

Para tanques de teto flutuante externo, o fator de correção da velocidade do vento no acessório, K_V é igual a 0,7. Para tanques de teto flutuante de cúpula externa e tanques de teto flutuante interno, o valor de v na equação 2.43 é igual a zero:

$$K_{Fi} = K_{Fai} \quad (2.54)$$

Os fatores de perdas K_{Fa} , K_{Fb} e m são tabelados para os acessórios de coberturas mais comuns usados nos tanques de teto flutuante. Desses fatores aplicados apenas para condições dos acessórios típicos da cobertura e quando as velocidades médias do vento está abaixo de 6,7 m/s.

- Perdas pela costura da cobertura - nenhum tanque de teto flutuante interno soldado na cobertura nem tanques de teto flutuante externo tem perdas pela costura da cobertura. Tanques de teto flutuante interno com cobertura rebitada

podem ter perdas na costura da cobertura. As perdas pela costura da cobertura podem ser estimadas pela seguinte equação:

$$L_D = K_D S_D D^2 P^* M_v K_C \quad (2.55)$$

Onde:

K_D = perdas pela costura da cobertura pela unidade do fator do comprimento da costura, lb-mol/ft-ano

Fator empírico, sendo:

$K_D = 0,0$ para coberturas soldadas e $0,14$ para coberturas rebitadas

S_D = fator do comprimento na costura da cobertura, ft/ft²

$$S_D = \frac{L_{\text{costura}}}{A_{\text{cobertura}}} \quad (2.56)$$

Onde:

L_{costura} = comprimento total da costura da cobertura, ft

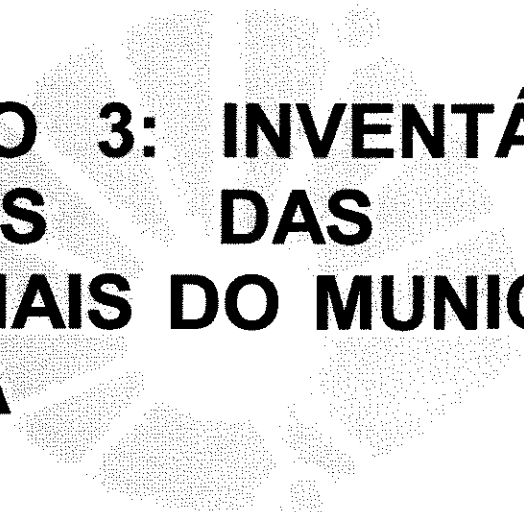
$A_{\text{cobertura}}$ = área da cobertura,

Se o comprimento total da costura da cobertura é desconhecida, S_D pode ser estimado da maneira descrita a seguir:

- para cobertura construída de chapa de metal contínuo com 7 ft de espaço entre a costura, $S_D = 0,14$ ft/ft²;
- para cobertura construída por um painel retangular de 5 ft por 7,5 ft, $S_D = 0,33$ ft/ft²; e
- para representar coberturas parafusadas, $S_D = 0,20$ ft/ft².

Observação: recentemente, os fabricantes de coberturas parafusadas tem usado várias técnicas, como por exemplo, gaxetar a costura da cobertura na tentativa de reduzir perdas pelas costuras. Entretanto, fatores de emissão não são freqüentemente disponíveis no AP-42 para representar reduções de emissões

realizadas por essas técnicas. Alguns fabricantes tem desenvolvido fatores específicos para seus projetos de coberturas, entretanto, o uso desses fatores não é recomendado antes da aprovação e permissão da agência reguladora ou autoridade.



CAPÍTULO 3: INVENTÁRIO DE EMISSIONES DAS FONTES INDUSTRIAIS DO MUNICÍPIO DE PAULÍNIA

UNICAMP

Capítulo 3: Inventário de emissões das fontes industriais do município de Paulínia

3.1 Caracterização da região

Dentre as regiões mais industrializadas no interior do Estado de São Paulo está o município de Paulínia e vizinhanças, pois possui grandes empreendimentos, no setor químico, petroquímico, e no refino e distribuição de petróleo.

O município de Paulínia surgiu com a cultura do café, depois vieram as monoculturas de algodão e cana-de-açúcar [13].

Devido a antiga estação ferroviária José Paulino, da Estrada de Ferro Sorocabana, por onde era feito o escoamento da produção cafeeira até o porto de Santos, deu início ao povoado de Paulínia, onde foi distrito do município de Campinas até se emancipar em 1964.

A partir dos anos 60, o governo começou a implantar uma política de desenvolvimento do interior do estado, com a construção e ampliação de estradas, como as rodovias D. Pedro I, Anhanguera e Bandeirantes, melhoria de infraestrutura urbana, investimentos em telecomunicações, políticas de incentivos e subsídios à exportações, favorecendo a agroindústria da região e por fim a criação do Proálcool em 1975.

Ao lado das políticas federais e estaduais, vários municípios criaram suas próprias políticas visando atrair investimentos. Mas um dos investimentos mais importantes realizado pelo governo federal visando promover a interiorização e a desconcentração dos grandes centros urbano-industrial foi a implantação da refinaria de Paulínia - REPLAN, no início da década de 70.

A refinaria atraiu várias outras indústrias para o seu entorno, principalmente as do setor químico. Segundo dados da prefeitura de Paulínia existem aproximadamente 107 indústrias no município.

Atualmente o município de Paulínia apresenta um potencial de crescimento muito grande em função da sua localização estratégica dentro do Estado de São Paulo, devido à presença da refinaria, de facilidades de

escoamento de produtos e matérias primas, proximidade do mercado consumidor e disponibilidade de mão de obra qualificada. Além disso, a chegada do gasoduto Brasil-Bolívia poderá viabilizar a instalação de novos empreendimentos nos setores petroquímicos e de termoelectricidade. Já existe discussões sobre a implantação de um polo petroquímico ao lado da refinaria e de usinas termoelétricas à gás na Replan.

Dentre as principais indústrias de Paulínia, nos setores químico, petroquímico, refino e distribuição de petróleo podem ser citadas as seguintes indústrias:

- Rhodia Brasil Ltda e Rhodiaco Industrias Químicas Ltda
- Petróleo Brasileiro S/A - Replan
- Galvani S/A
- Bann Química Ltda
- Orsa S/A - Papel, Papelão e Embalagem
- Shell Brasil S/A
- Du Pont do Brasil S/A
- Zeneca do Brasil S/A
- Chevron do Brasil Ltda
- Hércules do Brasil - Produtos Químicos Ltda
- Companhias distribuidoras de gás liquefeito de petróleo (GLP)
- Companhias distribuidoras de derivados líquidos de petróleo

3.2 Uso e Ocupação do solo

É importante classificar o município de acordo com o uso e ocupação do solo, pois desta forma é possível desenvolver uma relação entre as fontes de emissões de poluentes do ar e os receptores atingidos pela dispersão desses poluentes na atmosfera.

O mapa do uso e ocupação do solo (Figura 3.1) está dividido da seguinte forma:

- área urbana de alta e média densidade;
- campo antrópico;
- chácaras;
- área industrial;
- cobertura vegetal e mata ciliar;
- lagos e rios.

A presença intensiva da indústria deu ao município de Paulínia uma feição urbana: a taxa de urbanização do município em 1996 era de 89,96%. O perímetro urbano corresponde a mais de 60 % do território municipal.

A área rural apresenta características de zona de transição para a urbana.

A área urbana pode ser caracterizada como de baixa densidade de ocupação. Dispõe de significativa quantidade de espaços livres e áreas verdes públicas.

A área industrial está afastada uns 10 Km em média da área urbana e está cercada pela área rural.

Para o crescimento de Paulínia, desenvolveu-se em 1968 um Plano Urbanístico Básico no qual definiu-se o eixo constituído pela avenida José Paulino e a via de acesso para João Aranha, como limite entre a área residencial e a industrial.

Três vetores principais orientam a expansão urbana do município, partindo do centro da cidade:

- na direção sudeste - ligação com a cidade de Campinas, através da via D. Pedro I, onde vem ocorrendo um processo de subdivisão de glebas em chácaras;
- na direção sudoeste - em paralelo à avenida José Paulino, com o suporte das avenidas Antonio Batista Piva e Brasília, foram implantados alguns núcleos habitacionais; e,

- na direção noroeste - os novos loteamentos vão fazendo a ligação da área central da cidade com o bairro de João Aranha.

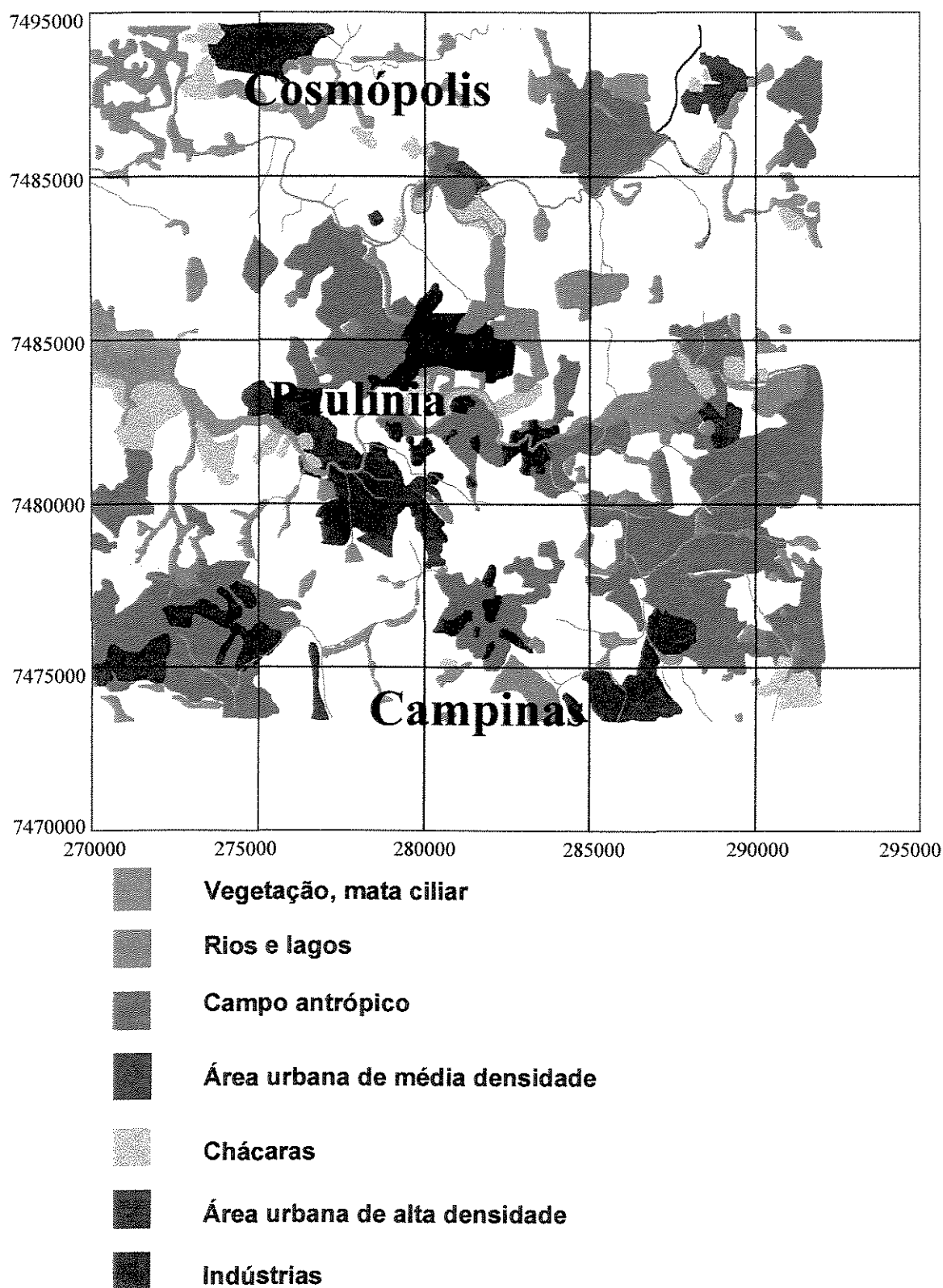


Figura 3.1: Mapa do uso e ocupação do solo de Paulínia

Para facilitar o entendimento e a análise dos resultados, a área objeto de estudo foi dividida em sub-áreas denotadas por letras de “A” até “F” de acordo com o impacto ambiental.

- área “A”, compreende os bairros de Jardim Leonor, Alto dos Pinheiros e CDHU, com coordenadas geográficas no eixo X (leste, oeste) entre 276000 e 277000 e no eixo Y (norte, sul) entre 7482700 e 7484000;
- área “B”, compreende o bairro de João Aranha, com coordenadas geográficas no eixo X 277000 e 280000 e no eixo Y entre 7483700 e 7487000;
- área “C”, compreende a região mais povoada e inclui o centro de Paulínia, com coordenadas geográficas no eixo X 277000 e 280500 e no eixo Y entre 7478700 e 7482000;
- área “D”, compreende regiões de pastagem, com coordenadas geográficas entre 282100 e 283600 no eixo X e entre 7483100 e 7484200 no eixo Y, além de outra parte com coordenadas entre 283000 e 284500 no eixo X e entre 7480800 e 7482000 no eixo Y;
- área “E”, compreende regiões de culturas anuais, com coordenadas geográficas entre 282200 e 284000 no eixo X e 7482200 e 7484200 no eixo Y, além de outra região com coordenadas 281800 e 284500 no eixo X e 7479000 e 7482000 no eixo Y;
- área “F”, compreende regiões industriais, com coordenadas geográficas entre 278200 e 282700 no eixo X e 7484000 e 7486700 no eixo Y.

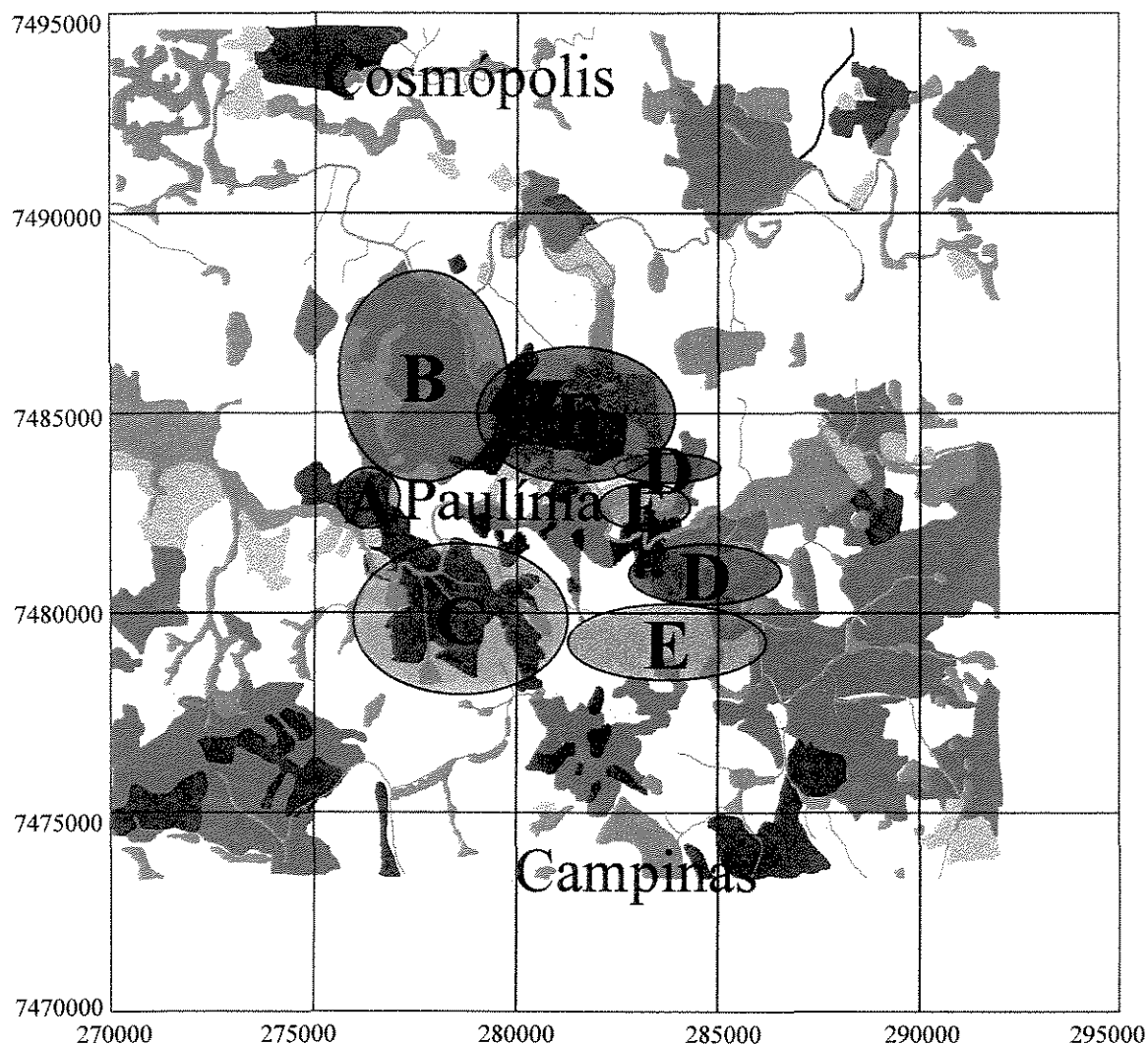


Figura 3.2: Mapa do uso e ocupação do solo de Paulínia dividido em sub-áreas

3.3 Dados meteorológicos

Os dados meteorológicos utilizados foram obtidos da estação meteorológica automática da indústria Rhodia Brasil Ltda com dados informatizados de temperatura do ar, direção e velocidade do vento, umidade do ar, pressão atmosférica, radiação e precipitação pluviométrica coletados a cada minuto, obtendo-se uma média a cada 15 minutos, construindo desta forma um banco de dados chamado de DATAMET.

Para utilização do modelo matemático de dispersão atmosférica, ISC3, é necessário montar um arquivo de dados meteorológicos sequenciais no formato

ASCII contendo as seguintes variáveis: ano, mês do ano, dia do mês, hora do dia, vetor do fluxo do vento, velocidade do vento, temperatura ambiente, classe de estabilidade, altura de mistura rural e altura de mistura urbana.

Tabela 3.1: Exemplo de um arquivo meteorológico

Ano	Mês	Dia	Hora	Fluxo do Vento (Grau)	Velocidade do Vento (m/s)	Temperatura Ambiente (K)	Classe de Estab.	Altura de Mistura Rural (m)	Altura de Mistura Urbana (m)
98	1	1	1	134,0	1,257	296,9	5	700,0	700,0
98	1	1	2	123,0	1,960	296,7	5	700,0	700,0
98	1	1	3	129,0	2,108	295,8	6	700,0	700,0
98	1	1	4	119,0	1,301	295,7	6	700,0	700,0
98	1	1	5	133,0	1,481	295,3	6	700,0	700,0
98	1	1	6	121,0	1,978	295,4	6	700,0	700,0
98	1	1	7	119,0	1,860	298,2	2	700,0	700,0
98	1	1	8	132,0	1,167	299,8	1	700,0	700,0
98	1	1	9	123,0	2,246	302,8	1	700,0	700,0
98	1	1	10	128,0	1,972	303,8	1	700,0	700,0
98	1	1	11	121,0	0,661	305,0	1	700,0	700,0
98	1	1	12	128,0	1,497	304,6	1	700,0	700,0
98	1	1	13	139,0	1,502	306,4	1	700,0	700,0
98	1	1	14	125,0	0,574	307,7	1	700,0	700,0
98	1	1	15	143,0	1,274	308,3	1	700,0	700,0
98	1	1	16	126,0	2,798	304,0	2	700,0	700,0
98	1	1	17	126,0	2,582	300,9	2	700,0	700,0
98	1	1	18	127,0	3,762	300,5	6	700,0	700,0
98	1	1	19	136,0	2,922	297,3	6	700,0	700,0
98	1	1	20	117,0	2,877	296,5	6	700,0	700,0
98	1	1	21	127,0	3,505	295,8	6	700,0	700,0
98	1	1	22	121,0	3,553	295,1	6	700,0	700,0
98	1	1	23	123,0	1,650	294,9	6	700,0	700,0
98	1	1	24	124,0	3,000	294,8	6	700,0	700,0

Nota: Fluxo do vento é o sentido para onde o vento vai, ou seja, é o oposto da direção do vento que é o sentido de onde o vento vem.

Foram utilizados dados meteorológicos do ano de 1997, 1998 e 1999. De acordo com o formato do arquivo meteorológico exigido, as variáveis meteorológicas: fluxo do vento, velocidade do vento, temperatura ambiente, classe de estabilidade e altura de mistura rural e urbana tem que ter valores horários.

Para as variáveis meteorológicas de fluxo do vento, velocidade do vento e temperatura ambiente utilizou-se os valores horários fornecidos diretamente pelo banco de dados Datamet.

Para calcular a variável classe de estabilidade é necessário utilizar a classe de estabilidade de Pasquill [35], que relaciona a velocidade do vento com radiação solar e cobertura de nuvens.

Tanto a velocidade do vento quanto a radiação solar foram obtidos pela estação meteorológicas da Rhodia.

Para o período noturno, podemos considerar que:

- cobertura de nuvens no céu $\leq 40\%$, para os meses de Março a Novembro, pois são os meses com baixa taxa de precipitação pluviométrica na região de Paulínia;
- cobertura de nuvens no céu $> 50\%$, para os meses de Dezembro, Janeiro e Fevereiro, pois são os meses com alta taxa de precipitação pluviométrica na região de Paulínia.

As classes de estabilidade de Pasquill [35] são definidas como: A, muito instável; B, instável; C, levemente instável; D, neutra; E, levemente estável e F, estável.

Tabela 3.2: Classe de estabilidade de Pasquill relacionada com velocidade do vento e com radiação solar e cobertura de nuvens

Velocidade do vento (m/s)	Radiação solar no período diurno			Cobertura de nuvens no período noturno	
	forte	moderada	leve	> 50% de nuvem	< 40% de nuvem
<2	A	A	B	F	F
2-3	A	B	C	E	F
3-5	B	B	C	D	E
5-6	C	C	D	D	D
>6	C	D	D	D	D

Tabela 3.3: Relação entre radiação solar e insolação

Radiação Solar (J/s.m ²)	Insolação
> 597,74	Forte
300,96 – 597,74	Moderada
< 300,96	Fraca

Para calcular a variável altura de mistura rural e urbana utilizou-se dados da sonda acústica do aeroporto de Congonhas no período de 1992 a 1995 [13], já que a região de Paulínia não dispõe de dados de perfil térmico para o cálculo da distribuição e frequência das inversões térmicas. Entretanto, considerando-se a extensão do raio de atuação do anticiclone (1000Km), conclui-se que a região de Paulínia está inserida sobre seus efeitos.

A tabela 3.4 apresenta a distribuição da frequência mensal das inversões térmicas por faixa de altura da base.

Tabela 3.4: Distribuição da frequência mensal das inversões térmicas por faixa de altura da base

Altura da base (mês)	0-200 m	201-400 m	401-700 m	> 700 m	Altura Total (m)
Janeiro	0	9	24	29	700
Fevereiro	7	11	11	37	700
Março	18	27	9	0	300
Abril	80	0	7	33	100
Maio	73	10	20	23	100
Junho	74	13	13	55	100
Julho	75	5	20	10	100
Agosto	87	10	19	45	100
Setembro	42	8	15	23	100
Outubro	78	19	0	33	100
Novembro	35	15	15	23	100
Dezembro	4	22	33	26	550

3.3.1 Rosa dos ventos

As figuras 3.3, 3.4 e 3.5 apresentam a representação gráfica da velocidade e direção dos ventos associada à frequência de ocorrência, denominada rosa dos ventos. Estes gráficos foram obtidos a partir do banco de dados meteorológicos para os anos de 1997, 1998 e 1999, mostrados no item 3.3.

Observa-se que as distribuições das frequências de ocorrência de direção e velocidade do vento nos três anos não apresentam diferenças significativas, com predominância na direção sudeste.

Outras direções de vento são igualmente importantes, uma vez que ocorrem em grande parte com baixas velocidades e portanto, em condições desfavoráveis de dispersão.

Esta situação pode permitir o surgimento de picos de curta duração de concentração de poluentes (médias de 1 hora, 8 horas ou 24 horas), mas que não afetam significativamente a média anual devido à sua baixa frequência de ocorrência.

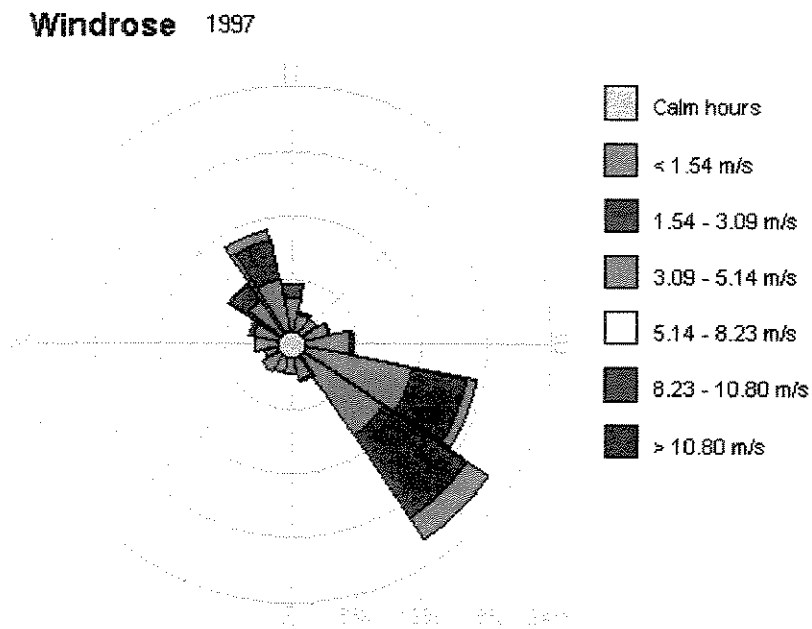


Figura 3.3: Rosa dos ventos para o ano de 1997

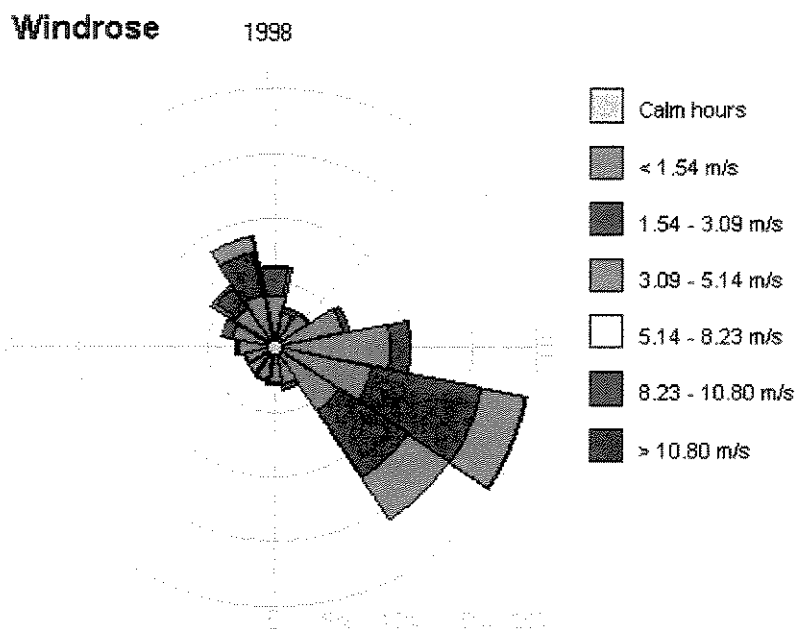


Figura 3.4: Rosa dos ventos para o ano de 1998

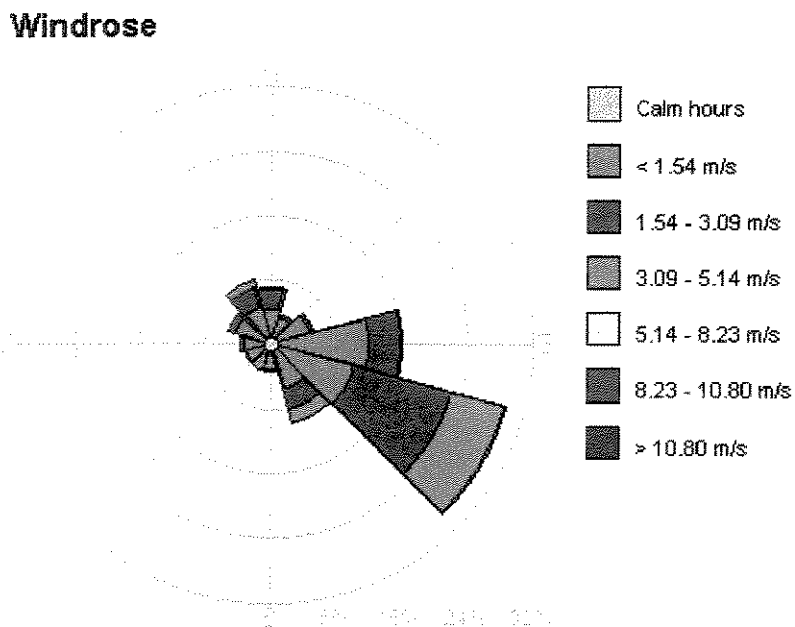


Figura 3.5: Rosa dos ventos para o ano de 1999

3.4 Inventário de emissões

A região objeto de estudo selecionada contempla a área de influência industrial do município de Paulínia, compreendendo um quadrado de 25 Km de lado, de tal forma que as principais fontes situam-se na região central.

As fontes de poluição selecionadas seguiram os seguintes critérios: o tipo e o tamanho da indústria, a capacidade de produção da mesma, bem como, o tipo de poluentes emitidos. Desta forma, foram analisados as empresas atualmente em funcionamento em Paulínia e região, na qual foi selecionado 8 delas para compor o inventário de emissão. Estima-se que estas empresas selecionadas sejam responsáveis por mais de 95% das emissões de poluentes do ar na região objeto de estudo.

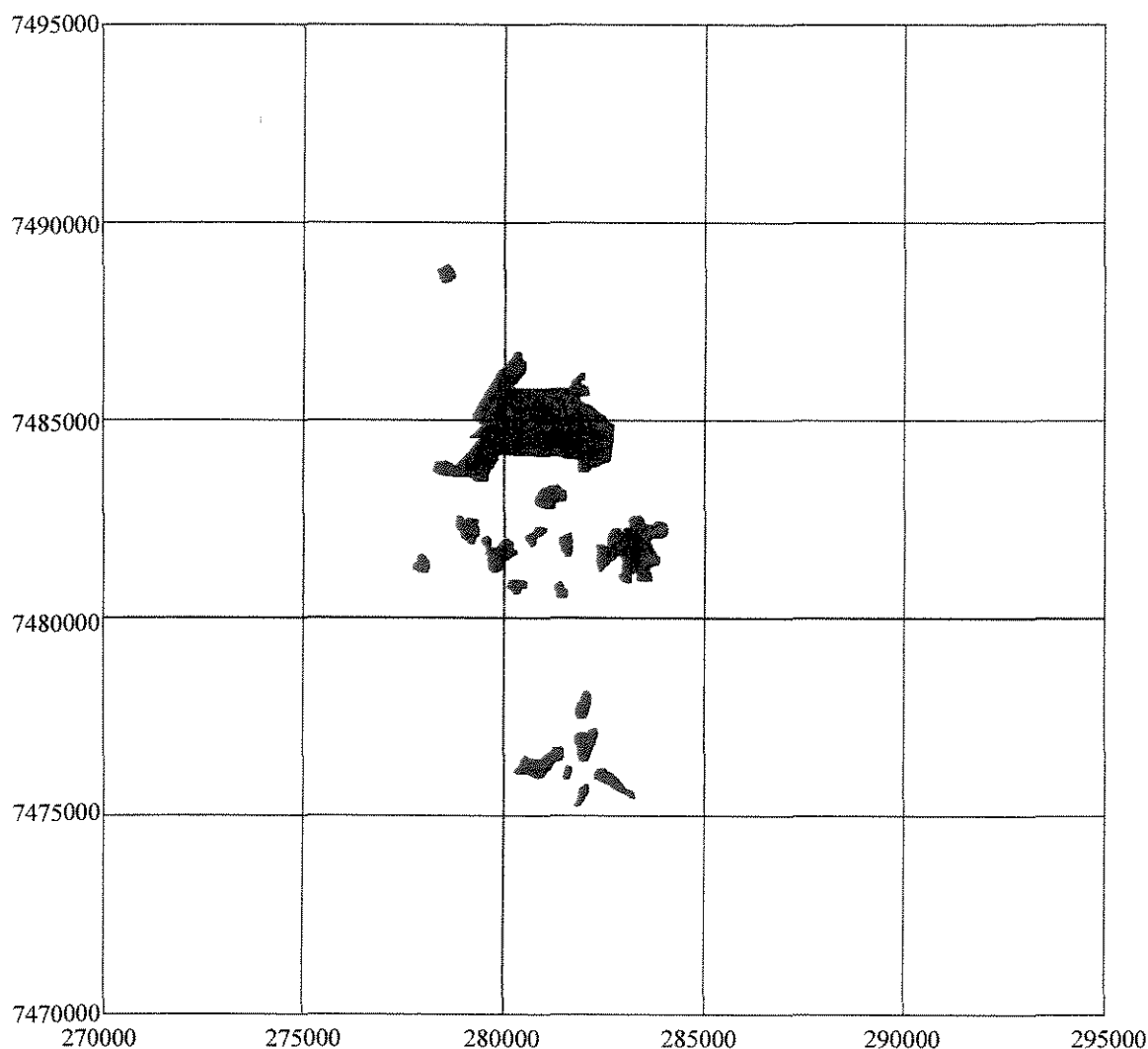


Figura 3.6: Localização da área industrial na região objeto de estudo

As fontes industriais foram divididas de duas formas: fontes pontuais e fontes áreas.

• FONTES PONTUAIS

As fontes pontuais em geral, são caldeiras ou fornos que queimam óleo ou gás combustível (QC) ou queima de gases do próprio processo industrial (EP) formando um grupo de 34 fontes pontuais identificadas da forma simbólica (F-01 a F-34) com suas localizações em termos de coordenadas globais mostrados na tabela 3.5 a seguir.

Tabela 3.5: Identificação e localização das fontes pontuais

FONTE	IDENTI-FICAÇÃO	COORD. X	COORD. Y	ALT. DO TERRENO (m)
F-01	QC	280690	7484900	596
F-02	QC	280700	7484940	596
F-03	QC	280700	7484850	596
F-04	QC	280650	7484900	596
F-05	QC	280640	7484940	596
F-06	QC	280640	7484850	596
F-07	QC	281380	7485470	596
F-08	QC	281423	7485536	596
F-09	QC	281600	7485460	596
F-10	QC/EP	281045	7484830	596
F-11	QC/EP	280825	7484830	596
F-12	QC	281280	7485000	596
F-13	QC	281280	7484990	596
F-14	QC	281280	7484980	596
F-15	EP	283593	7482235	552
F-16	EP	283518	7482272	552
F-17	QC	283480	7481805	552
F-18	QC	283490	7481805	552
F-19	QC	283391	7482408	552
F-20	QC	283401	7482408	552
F-21	QC	283411	7482408	552
F-22	EP	282300	7477300	600
F-23	QC	281800	7482200	580
F-24	QC	280850	7483350	548
F-25	QC	277500	7482200	570
F-26	QC	277510	7482200	570
F-27	QC	277520	7482200	570
F-28	QC	277530	7482200	570
F-29	QC	277540	7482200	570
F-30	QC	278500	7489200	600
F-31	QC	282550	7481800	570
F-32	EP	282550	7481800	570
F-33	QC	281000	7482600	548
F-34	QC	281000	7482600	548

Para cada fonte pontual de poluição do ar foram obtidos os seguintes dados:

- altura e diâmetro da chaminé;
- velocidade, vazão e temperatura dos gases na saída da chaminé;
- localização das fontes pontuais;
- concentração dos poluentes ou taxa de emissão;
- tipo de combustível queimado e teor de enxofre;
- taxa de alimentação de combustível para as fontes de combustão.

As taxas de emissões dos poluentes foram obtidas de várias maneiras. Quando disponível, foram empregados os dados de amostragem de chaminé. Caso contrário, foram utilizadas técnicas como balanço de massa para dióxido de enxofre e fatores de emissões para óxidos de nitrogênio e material particulado.

• FONTES ÁREAS

Para o presente estudo foram consideradas as seguintes fontes áreas:

(1) Emissões dos tanques de estocagem de líquidos orgânicos, óleos crus ou derivados do petróleo, identificada por (A-01), utilizou-se modelo de emissão para calcular as emissões dos hidrocarbonetos (HC) que evaporam desses tanques;

(2) Emissões provenientes das lagoas de tratamento de efluentes com filmes de óleos na superfície dos separadores água-óleo, identificada por (A-02), utilizou-se fator de emissão para calcular as emissões de hidrocarbonetos (HC); e

(3) Bacia de águas oleosas, identificada por (A-03) e também utilizou-se fator de emissão para calcular as emissões de hidrocarbonetos (HC).

As localizações dessas 3 fontes áreas em termos de coordenadas globais será mostrado na tabela 3.6.

Tabela 3.6: Identificação e localização das fontes áreas

Fonte	Coordenada X	Coordenada Y	Altura do terreno (m)
A-01	279800	7485200	600
A-02	281740	7483945	600
A-03	281930	7483937	600

3.4.1 Cálculo das taxas de emissões

- Fontes Pontuais

a). Emissões de óxido de nitrogênio (NO_x)

De acordo com a Agência de Proteção do Meio Ambiente dos Estados Unidos (U.S.E.P.A) onde foi desenvolvido o documento *Compilation of air pollutant emission factors, vol, I: Stationary Point and Area Sources (AP-42)* [24], no qual estimou-se um valor para a taxa de emissão do óxido de nitrogênio (NO_x) com a queima de óleo combustível nº 6 em caldeiras com capacidade de queima maior que 100 milhões de BTU/h.

Na tabela 1.3-1 da seção 3 do capítulo 1 do (AP-42) [24] que trata dos fatores de emissão de poluentes pela combustão de óleo combustível, tem-se o fator de emissão de $47 \text{ lb}/10^3 \text{ gal}$ para o NO_x com classificação A para esse fator.

A tabela 3.7 apresenta a emissão de NO_x para as 34 fontes estudadas.

Tabela 3.7: Taxa de emissão dos óxidos de nitrogênio (NO_x)

Fonte	Tipo de Combustível	Combustível					Emissões obtidas por fator de emissão (g/s)	Emissões obtidas por amostragem de chaminé (g/s)
		Consumo de combustível		Massa Específica (g/l)	Fator de emissão			
		kg/h	g/s		lb/1000gal	emissão (g)/cons. de óleo (g)		
F-01	Óleo/gás	11655	3237,50				12,85	inexistentes
F-02	Óleo/gás	2795	776,39				4,32	inexistentes
F-03	Óleo/gás	1549	430,28				2,40	inexistentes
F-04	Óleo/gás	11812	3281,11				13,09	inexistentes
F-05	Óleo/gás	2152	597,78				3,31	inexistentes
F-06	Óleo/gás	2412	670,00				3,72	inexistentes
F-07	Óleo/gás	6459	1794,17				0,14	inexistentes
F-08	Óleo/gás	12854	3570,56				0,15	inexistentes
F-09	Óleo/gás	5960	1655,56				9,21	inexistentes
F-10	Óleo/gás	19411	5392,83					1,43
F-11	Óleo/gás	23264	6462,61					1,89
F-12	Óleo/gás	5661	1572,50				8,76	inexistentes
F-13	Óleo/gás	5661	1572,50				8,76	inexistentes
F-14	Óleo/gás	5661	1572,50				8,76	inexistentes
F-15	Gás							21,84
F-16	Gás							11,20
F-17	Óleo	3810	1058,33	1017	47	0,0055	5,86	inexistentes
F-18	Óleo	5760	1600,00	1017	47	0,0055	8,86	inexistentes
F-19	Óleo	3900	1083,33	1017	47	0,0055	6,00	inexistentes
F-20	Óleo	2800	777,78	1017	47	0,0055	4,31	inexistentes
F-21	Óleo	1200	333,33	1017	47	0,0055	1,85	inexistentes
F-23	Óleo	66	18,33	1017	47	0,0055	0,10	inexistentes
F-24	Óleo							1,36
F-25	Óleo	1950	541,67	1017	47	0,0055	3,00	inexistentes
F-26	Óleo	2680	744,44	1017	47	0,0055	4,12	inexistentes
F-27	Óleo	3900	1083,33	1017	47	0,0055	6,00	inexistentes
F-28	Óleo	2680	744,44	1017	47	0,0055	4,12	inexistentes
F-29	Óleo	1462	406,11	1017	47	0,0055	2,25	inexistentes
F-30	Óleo	2464	684,44	1017	47	0,0055	3,80	inexistentes
F-31	Óleo	4800	1333,33	1017	47	0,0055	7,38	inexistentes
F-32	Óleo	2600	722,22	1017	47	0,0055	4,00	inexistentes
F-33	Óleo	900	250,00	1017	47	0,0055	1,38	inexistentes
F-34	Óleo	900	250,00	1017	47	0,0055	1,38	inexistentes

Das fontes F-01 a F-16 e F-24 a taxa de emissão dos óxidos de nitrogênio (NO_x) foi fornecida pelas próprias empresas, sendo que algumas fontes foram obtidas por fator de emissão e outras por amostragem de chaminé.

Das fontes F-17 a F-23 e F-25 a F-34 a taxa de emissão dos óxidos de nitrogênio (NO_x) foi calculado por fator de emissão.

Das fontes F-01 a F-14 utilizou-se uma mistura de combustíveis. Gás combustível e em alguns casos, gases ácidos provenientes do sistema de tratamento de águas ácidas para queima em fornos do próprio processo e óleo combustível de refinaria para queima de caldeiras, cujas taxas de emissões foram fornecidas pela empresa.

As fontes F-15 e F-16 a emissão do (NO_x) originou-se do próprio equipamento do processo.

Das fontes F-17 a F-34 a emissão do (NO_x) originou-se da queima de óleo combustível em caldeiras, sendo que a taxa de emissão do (NO_x) da fonte F-24 foi obtida por amostragem de chaminé e as demais fontes por fatores de emissões.

b) Emissões de material particular (MP)

De acordo com a Agência de Proteção do Meio Ambiente dos Estados Unidos (U.S.E.P.A) onde foi desenvolvido o documento *Compilation of air pollutant emission factors, vol. I: Stationary Point and Area Sources (AP-42)* [24], no qual estimou-se um valor para a taxa de emissão do material particulado (MP) com a queima de óleo combustível nº 6 em caldeiras com capacidade de queima maior que 100 milhões de BTU/h.

Na tabela 1.3-1 da seção 3 do capítulo 1 do (AP-42) [24] que trata dos fatores de emissão de poluentes pela combustão de óleo combustível, tem-se o fator de emissão de $9,19 (S) + 3,22 \text{ lb}/10^3 \text{ gal}$ para o MP com classificação A para esse fator, sendo que (S) é a porcentagem do enxofre no óleo combustível e vale 1,18%.

A tabela 3.8 apresenta a emissão de MP para as 34 fontes estudadas.

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

Tabela 3.8: Taxa de emissão do material particulado (MP)

Fonte	Tipo de combustível	Combustível						Emissões obtidas por fator de emissão (g/s)	Emissões obtidas por amostragem de chaminé (g/s)
		Consumo de combustível		%S no óleo	Massa Específica (g/l)	Fator de emissão			
		kg/h	g/s			lb / 1000gal	emissão (g)/ cons. de óleo (g)		
F-01	óleo/gás	11655	3237,50	1,18				1,81	inexistentes
F-02	óleo/gás	2795	776,39	1,18				0,54	inexistentes
F-03	óleo/gás	1549	430,28	1,18				0,46	inexistentes
F-04	óleo/gás	11812	3281,11	1,18				1,81	inexistentes
F-05	óleo/gás	2152	597,78	1,18				0,21	inexistentes
F-06	óleo/gás	2412	670,00	1,18				0,30	inexistentes
F-07	óleo/gás	6459	1794,17	1,18				0,00	inexistentes
F-08	óleo/gás	12854	3570,56	1,18				0,00	inexistentes
F-09	óleo/gás	5960	1655,56	1,18				0,76	inexistentes
F-10	óleo/gás	19411	5392,83	1,18					19,62
F-11	óleo/gás	23264	6462,61	1,18					25,82
F-12	óleo/gás	5661	1572,50	1,18				1,53	inexistentes
F-13	óleo/gás	5661	1572,50	1,18				1,53	inexistentes
F-14	óleo/gás	5661	1572,50	1,18				1,53	inexistentes
F-17	Óleo	3810	1058,33	1,18	1017	14,0642	0,0017	1,75	inexistentes
F-18	Óleo	5760	1600,00	1,18	1017	14,0642	0,0017	2,65	inexistentes
F-19	Óleo	3900	1083,33	1,18	1017	14,0642	0,0017	1,80	inexistentes
F-20	Óleo	2800	777,78	1,18	1017	14,0642	0,0017	1,29	inexistentes
F-21	Óleo	1200	333,33	1,18	1017	14,0642	0,0017	0,55	inexistentes
F-23	Óleo	66	18,33	1,18	1017	14,0642	0,0017	0,03	inexistentes
F-24	Óleo			1,18	1017				0,41
F-25	Óleo	195	54,17	1,18	1017	14,0642	0,0017	0,09	inexistentes
F-26	Óleo	268	74,44	1,18	1017	14,0642	0,0017	0,12	inexistentes
F-27	Óleo	390	108,33	1,18	1017	14,0642	0,0017	0,18	inexistentes
F-28	Óleo	268	74,44	1,18	1017	14,0642	0,0017	0,12	inexistentes
F-29	Óleo	1462,5	406,25	1,18	1017	14,0642	0,0017	0,67	inexistentes
F-30	Óleo	246,4	68,44	1,18	1017	14,0642	0,0017	0,11	inexistentes
F-31	Óleo	480	133,33	1,18	1017	14,0642	0,0017	0,22	inexistentes
F-32	Óleo	260	72,22	1,18	1017	14,0642	0,0017	0,12	inexistentes
F-33	Óleo	90	25,00	1,18	1017	14,0642	0,0017	0,04	inexistentes
F-34	Óleo	90	25,00	1,18	1017	14,0642	0,0017	0,04	inexistentes

Das fontes F-01 a F-14 e F-24 a taxa de emissão do material particulado (MP) foi fornecido pelas próprias empresas, sendo que algumas fontes foram obtidas por fator de emissão e outras por amostragem de chaminé.

Das fontes F-17 a F-23 e F-25 a F-34 a taxa de emissão do material particulado (MP) foi calculado por fator de emissão.

Das fontes F-01 a F-14 utilizou-se uma mistura de combustíveis. Gás combustível e em alguns casos, gases ácidos provenientes do sistema de tratamento de águas ácidas para queima em fornos do próprio processo e óleo combustível de refinaria para queima de caldeiras, cujas taxas de emissões foram fornecidas pela empresa.

Das fontes F-17 a F-34 a emissão do (MP) originou-se da queima de óleo combustível em caldeiras, sendo que a taxa de emissão do (MP) da fonte F-24 foi obtida por amostragem de chaminé e as demais fontes por fatores de emissões.

c) Emissões de dióxido de enxofre (SO_2)

As emissões de óxidos de enxofre (SO_x) são geradas pela combustão do óleo combustível em caldeiras e fornos. Todo enxofre contido no combustível é oxidado em 98 % a dióxido de enxofre (SO_2) e 2 % a trióxido de enxofre (SO_3). Desta forma, torna-se aceitável e confiável calcular a taxa de emissão do dióxido de enxofre (SO_2) por balanço de massa, pois todo enxofre do combustível é de fato oxidado.

A tabela 3.9 apresenta a emissão de SO_2 para as 34 fontes estudadas.

Tabela 3.9: Taxa de emissão do dióxido de enxofre (SO₂)

Fonte	Tipo de combustível	consumo de combustível		%S	Estequio- metria	Emissões obtidas por balanço de massa (g/s)	Emissões obtidas por amostragem de chaminé (g/s)
		kg/h	g/s				
F-01	Óleo/gás	11655	3237,5	1,18		25,60	inexistentes
F-02	Óleo/gás	2795	776,39	1,18		7,40	inexistentes
F-03	Óleo/gás	1549	430,28	1,18		6,40	inexistentes
F-04	Óleo/gás	11812	3281,11	1,18		25,60	inexistentes
F-05	Óleo/gás	2152	597,78	1,18		2,80	inexistentes
F-06	Óleo/gás	2412	670	1,18		4,10	inexistentes
F-07	Óleo/gás	6459	1794,17	1,18		49,60	inexistentes
F-08	Óleo/gás	12854	3570,56	1,18		79,50	inexistentes
F-09	Óleo/gás	5960	1655,56	1,18		18,70	inexistentes
F-10	Óleo/gás	19411	5392,83	1,18		182,20	inexistentes
F-11	Óleo/gás	23264	6462,61	1,18		239,90	inexistentes
F-12	Óleo/gás	5661	1572,5	1,18		21,10	inexistentes
F-13	Óleo/gás	5661	1572,5	1,18		21,10	inexistentes
F-14	Óleo/gás	5661	1572,5	1,18		21,10	inexistentes
F-17	Óleo	3810	1058,33	1,18	2	24,97	inexistentes
F-18	Óleo	5760	1600	1,18	2	37,76	inexistentes
F-19	Óleo	3900	1083,33	1,18	2	25,56	inexistentes
F-20	Óleo	2800	777,78	1,18	2	18,35	inexistentes
F-21	Óleo	1200	333,33	1,18	2	7,86	inexistentes
F-22	Gás	48367	13435,28				8,82
F-23	Óleo	66	18,33	1,18	2	0,43	
F-24	Óleo						4,01
F-25	Óleo	195	54,17	1,18	2	1,27	inexistentes
F-26	Óleo	268	74,44	1,18	2	1,75	inexistentes
F-27	Óleo	390	108,33	1,18	2	2,55	inexistentes
F-28	Óleo	268	74,44	1,18	2	1,75	inexistentes
F-29	Óleo	1462,5	406,25	1,18	2	9,58	inexistentes
F-30	Óleo	246,4	68,44	1,18	2	1,61	inexistentes
F-31	Óleo	480	133,33	1,18	2	3,14	inexistentes
F-32	Óleo	260	72,22	1,18	2	1,70	inexistentes
F-33	Óleo	90	25,00	1,18	2	0,05	inexistentes
F-34	Óleo	90	25,00	1,18	2	0,05	inexistentes

Das fontes F-01 a F-14, F-22 e F-24 a taxa de emissão do dióxido de enxofre (SO₂) foi fornecido pelas próprias empresas, sendo que algumas fontes foram obtidas por balanço de massa e outras por amostragem de chaminé.

Das fontes F-17 a F-21, F-23 e F-25 a F-34 a taxa de emissão do dióxido de enxofre (SO₂) foi calculado por balanço de massa, considerando que o óleo combustível tem 1,18% de enxofre (S).

Das fontes F-01 a F-14 utilizou-se uma mistura de combustíveis. Gás combustível e em alguns casos, gases ácidos provenientes do sistema de tratamento de águas ácidas para queima em fornos do próprio processo e óleo combustível de refinaria para queima de caldeiras, cujas taxas de emissões foram fornecidas pela empresa.

Das fontes F-17 a F-21 e F-23 a F-34 a emissão do (SO_2) se originou da queima de óleo combustível em caldeiras e a F-22 se originou do próprio equipamento do processo.

- Fontes Áreas

- a) Emissões de hidrocarbonetos dos tanques de estocagem (HC)

As emissões de hidrocarbonetos por evaporação de tanques de estocagem foram calculadas utilizando o modelo de emissão TANKS. Este modelo ainda é pouco conhecido no Brasil e devido a complexidade deste assunto e na tentativa de representar o mais próximo da realidade utilizou-se esta ferramenta para o cálculo das taxas de emissões dos hidrocarbonetos, para isso foram necessários os seguintes dados de entrada para alimentar o modelo:

- Tipo de teto do tanque (Tabela 3.10)
- Dados físicos do tanque (como, dimensões, características e acessórios do costado e do teto) (Tabelas 3.10 e 3.11)
- Propriedades físico-químicas do produto armazenado (como, peso molecular do líquido e do vapor, densidade, pressão de vapor e coeficiente de Antoine) (Tabela 3.12)
- Dados meteorológicos da região (como, temperatura média, mínima e máxima do ar, radiação solar, velocidade do vento e pressão atmosférica) (Tabela 3.13)
- Frequência de enchimento e esvaziamento do tanque ("turnover") (Tabelas 3.14 e 3.15)

Todos os dados citados acima foram fornecidos pelas empresas, quando disponíveis, ou adquiridos em parceria quando algum cálculo era necessário.

Neste parque de armazenagem existem 152 tanques de estocagem, divididos em produtos líquidos orgânicos, óleos crus e derivados do petróleo que podem ser produtos finais ou intermediários.

Desses 152 tanques de estocagem, 3 tanques possuem teto flutuante interno, 70 tanques possuem teto flutuante externo e 79 tanques possuem teto fixo vertical.

As tabelas 3.10 e 3.11 apresentam as características construtivas dos tanques de armazenamento.

Tabela 3.10: Dados do tipo de teto, dimensões e quantidades dos tanques

Número do tanque	Produto	Tipo teto	Qde	Dimensões (ft)		Volume (gal)	AML (ft)	MAL (ft)
				Diâm.	ALT.			
1,2,3	Diesel	FL	3	218,94	48,00	12.204.746	43,3	18,7
4,5,6	Diesel	FL	3	218,94	48,00	12.204.746	43,3	18,7
7	Gasóleo/Res, Atmosf.	FL	1	218,94	48,00	12.204.746	43,3	18,7
8,9	Petróleo	FL	2	218,94	48,00	12.204.746	43,3	18,7
10	Gasóleo/Res, Atmosf.	FL	1	218,94	48,00	12.204.746	43,3	18,7
11,12,13	Gasóleo/Res, Atmosf.	FL	3	218,94	48,00	12.204.746	43,3	18,7
14,15	Petróleo	FL	2	218,94	48,00	12.204.746	43,3	18,7
16,17,18	Petróleo	FL	3	218,94	48,00	12.204.746	43,3	18,7
19,20,21,22, 23,24	Petróleo	FL	6	283,92	48,00	20.503.974	43,3	18,4
25	Petróleo	FL	1	283,92	48,00	20.503.974	43,3	18,4
26,27,28	Nafta Craqueada	FL	3	120,00	40,00	2.912.496	34,4	13,6
29,30,31	Nafta Craqueada	FL	3	120,00	40,00	2.967.972	35,1	14,6
32,33	Nafta Leve	FL	2	100,00	40,00	2.063.447	35,1	15,3
34,35	Nafta Leve	FL	2	100,00	48,00	2.564.846	43,6	19,5
36	Nafta Craqueada	FL	1	89,97	40,00	1.667.718	35,1	15,3
37	Nafta Pesada	FL	1	89,97	40,00	1.667.718	35,1	15,3
38	Nafta Pesada	FL	1	89,97	48,00	2.072.958	43,6	19,5
39,40	Nafta de Coque	FL	2	73,31	40,00	1.102.390	35,1	15,3
41	Nafta de Coque	FL	1	73,31	48,00	1.370.260	43,6	19,5
42	Nafta p/Tratamento	FL	1	51,99	40,00	565.328	35,1	15,3
43	Nafta p/Tratamento	FL	1	73,31	47,33	1.359.957	43,3	19,4
44,45	QAV intermediário	FX	2	66,98	40,00	1.002.533	37,7	17,5
46	Aguarrás intermed.	FX	1	73,33	40,00	1.184.756	37,7	17,6
47,48	QAV intermediário	FX	2	73,31	40,00	1.184.811	37,7	17,5
49	Metanol	TD	1	66,98	40,00	902.279	33,9	14,6
50,51	Óleo Leve	FX	2	73,31	40,00	1.184.811	37,7	17,5
52	QAV intermediário	FL	1	73,31	40,00	1.184.811	37,7	17,5
53,54	Diesel Pesado	FL	2	109,95	55,73	3.962.580	49,2	21,3
55	Gasóleo/Res. Atmosf.	FX	1	120,00	40,00	3.189.877	37,7	17,5
56	Gasóleo/Res. Atmosf.	FX	1	120,00	40,00	3.189.877	37,7	17,5
57,58	Gasóleo/Res. Atmosf.	FX	2	120,00	40,00	3.189.877	37,7	17,5
59,60,61,62	Gasóleo/Res. Atmosf.	FX	4	139,83	40,00	4.344.309	37,7	17,2
63,64	Resíduo p/ Reproce.	FX	2	73,31	40,00	1.184.811	37,7	17,5
65,66	Resíduo de Vácuo	FX	2	110,04	55,89	3.962.580	52,5	19,7
67,68	Querosene intermed.	FL	2	89,97	40,00	1.667.718	35,1	15,3
69	Aguarrás	FL	1	89,97	40,00	1.667.718	35,1	15,3
70	Aguarrás	FL	1	89,97	40,00	1.667.718	35,1	15,3
71	Aguarrás	FL	1	89,97	40,00	1.667.718	35,10	15,25
72	Nafta Petroquímica	FL	1	150,00	48,00	5.762.120	43,62	18,86
73	Nafta Petroquímica	FL	1	150,00	48,00	5.762.120	43,62	18,86
74,75	Nafta Petroquímica	FL	2	150,00	48,00	5.762.120	43,62	18,86
76,77	Gasolina	FL	2	150,00	48,00	5.762.120	43,62	18,86
78,79,80,81	Gasolina	FL	4	179,94	48,00	8.291.831	43,62	18,53
82,83,84	Alcool Hidratado	FL	3	179,94	48,00	8.291.831	43,62	18,37

Tabela 3.10: Dados do tipo de teto, dimensões e quantidades dos tanques (continuação)

Número do tanque	Produto	Tipo teto	Qde	Dimensões (ft)		Volume (gal)	AML (ft)	MAL (ft)
				Diâm.	ALT.			
85,86	Gasolina	FL	2	164,95	56,25	8.180.350	51,17	22,63
87,88	Nafta p/ geração de gás	FL	2	70,03	39,03	992.468	34,44	14,76
89,90	Nafta p/ geração de gás	FL	2	70,03	39,03	992.468	34,44	14,76
91,92	Metil-Terc-Butil Éter	TD	2	100,04	40,02	1.880.244	43,62	13,61
93,94	Álcool Hidratado	FX	2	179,94	48,00	8.291.831	43,62	20,17
95,96	Querosene de Aviação	FX	2	66,98	39,98	1.002.533	37,72	17,55
97	Querosene de Aviação	FX	1	140,00	48,00	5.213.170	45,26	21,16
98,99	Querosene de Aviação	FX	2	89,97	48,00	2.150.888	45,26	21,16
100,101	Querosene de Aviação	FX	2	73,31	40,00	1.184.811	37,72	20,17
102,103, 104,105,106	Diesel	FX	5	140,00	40,00	4.344.309	37,72	17,22
107,108,109, 110	Diesel Pesado	FX	4	150,00	48,00	5.978.741	45,26	20,99
111,112,113	Alcool Anidro	FX	3	179,94	48,00	8.291.831	45,26	20,99
114,115	Gasóleo/Res. Atmosf.	FX	2	150,00	48,00	5.978.741	45,26	21,16
116,117,118, 119,120,121	Óleo Combustível	FX	6	150,00	48,00	5.978.741	45,26	21,16
122,123,124, 125,126,127	Óleo Combustível	FX	6	179,94	48,00	8.603.554	45,26	21,16
128,129,130, 131	CAP 20 (Asfalto)	FX	4	73,31	40,00	1.184.811	37,72	15,58
132,133	Óleo Combustível 4A	FX	2	73,31	40,00	1.184.811	37,72	17,22
134,135	Óleo Decantado	FX	2	73,31	40,00	1.184.811	37,72	17,22
136	Querosene Diluente	FX	1	25,00	24,01	77.270	21,32	9,02
137	Nafta Diluente	FX	1	25,00	24,01	77.270	21,32	9,02
138,139,140	CR-250 (Asfalto)	FX	3	25,00	24,01	77.270	21,32	9,02
141,142,143, 144	Óleo Combustível 7A	FX	4	68,88	56,25	1.499.018	53,79	25,26
145,146	Ocref	FX	2	57,24	39,36	634.013	36,08	11,48
147	Óleo Leve	FX	1	15,88	20,66	26.417	19,68	8,20
148,149	Resíduos	FX	2	30,00	24,00	126.803	21,32	9,84
150	Resíduos	FX	1	24,30	23,78	84.535	21,32	9,84
151	Resíduos	FX	1	15,97	18,01	26.946	16,40	9,84
152	Resíduos	FX	1	31,16	32,80	167.749	29,52	9,84

Os tipos de teto dos tanques possuem a seguinte nomenclatura:

FX = teto fixo vertical

AML = altura máxima do líquido (ft)

FL = teto flutuante externo

MAL = altura média do líquido (ft)

TD = teto flutuante interno

Tabela 3.11: Características e acessórios do teto e do costado

Número do tanque	Características Teto				Caract. Costado		Acessórios Teto		
	Cor	Cond.	Alt.	Incl.	Cor	Cond.	Selo	Bv	Pe
1,2,3	AL	B			AL	B	7-1.6.B	2	104
4,5,6	AL	B			AL	B	7-1.6.B	2	104
7	AL	B			AL	B	7-1.6.B	2	104
8,9	BR	B			AL	B	7-1.6.A	2	104
10	AL	B			AL	B	7-1.6.B	2	104
11,12,13	AL	B			AL	B	7-1.6.A	2	104
14,15	BR	B			AL	B	7-1.6.B	2	104
16,17,18	BR	B			AL	B	7-1.6.B	2	104
19,20,21,22,23,24	BR	B			AL	B	7-1.6.B	4	164
25	BR	B			AL	B	7-1.6.B	4	164
26,27,28	BR	B			BR	B	7-1.6.B	2	41
29,30,31	BR	B			BR	B	7-1.6.B	2	41
32,33	BR	B			AL	B	7-1.6.B	2	41
34,35	BR	B			AL	B	7-1.6.B	2	41
36	BR	B			AL	B	7-1.6.B	2	20
37	BR	B			AL	B	7-1.6.B	2	20
38	BR	B			AL	B	7-1.6.B	2	20
39,40	BR	B			AL	B	7-1.6.B	2	20
41	BR	B			AL	B	7-1.6.B	2	20
42	BR	B			AL	B	7-1.6.A/B	2	20
43	BR	B			BR	B	7-1.6.A/B	2	20
44,45	AL	B	0,64	0,05	AL	B			
46	AL	B	0,7	0,05	AL	B			
47,48	AL	B	0,7	0,05	AL	B			
49	AL	B			AL	B	7-1.6.B	1	
50,51	AL	LE	0,7	0,05	AL	LE			
52	AL	B	0,7	0,05	AL	LE			
53,54	BR	B			BR	B	7-1.6.B	2	62
55	AL	B	1,14	0,05	AL	B			
56	AL	B	1,14	0,05	AL	B			
57,58	AL	B	1,14	0,05	AL	B			
59,60,61,62	AL	B	1,33	0,05	AL	B			
63,64	AL	B	0,7	0,05	(AL)	B			
65,66	AL	B	1,05	0,05	(AL)	B			
67,68	BR	B			BR	B	7-1.6.B	2	20
69	AL	B			BR	B	7-1.6.B	2	20
70	BR	B			BR	B	7-1.6.B	2	20
71	AL	B			BR	B	7-1.6.B	2	20
72	BR	LE			BR	B	7-1.6.A	2	58
73	BR	LE			BR	B	7-1.6.A	2	58
74,75	BR	LE			BR	B	7-1.6.A	2	58
76,77	BR	LE			BR	B	7-1.6.B	2	58
78,79,80,81	BR	B			BR	B	7-1.6.B	2	70
82,83,84	BR	B			BR	B	7-1.6.B	2	70
85,86	BR	B			BR	B	7-1.6.B	2	70
87,88	AL	B			BR	B	7-1.6.B	2	20

Tabela 3.11: Características e acessórios do teto e do costado (continuação)

Número do tanque	Características Teto				Caract. Costado		Acessórios Teto		
	Cor	Cond.	Alt.	Incl.	Cor	Cond.	Selo	Bv	Pe
89,90	AL	B			BR	B	7-1.6.B	2	20
91,92	AL	B			AL	B	7-1.6.B	2	
93,94	BR	B	1,71	0,05	BR	B			
95,96	AL	LE	0,64	0,05	BR	B			
97	BR	B	1,33	0,05	BR	B			
98,99	AL	LE	0,86	0,05	AL	B			
100,101	AL	LE	0,7	0,05	AL	LE			
102,103,104,105,106	AL	B	1,33	0,05	AL	B			
107,108,109,110	AL	B	1,43	0,05	AL	B			
111,112,113	AL	B	1,71	0,05	AL	B			
114,115	AL	LE	1,43	0,05	AL	B			
116,117,118,119,120 121	AL	LE	1,43	0,05	AL	B			
122,123,124,125,126 127	AL	LE	1,71	0,05	AL	B			
128,129,130,131	PR	B	0,7	0,05	(AL)	B			
132,133	PR	B	0,7	0,05	(AL)	B			
134,135	PR	B	0,7	0,05	(AL)	B			
136	AL	B	0,24	0,05	(AL)	B			
137	AL	B	0,24	0,05	(AL)	B			
138,139,140	AL	B	0,24	0,05	(AL)	B			
141,142,143,144	PR	B	0,66	0,05	(AL)	B			
145,146	AL	B	0,55	0,05	AL	B			
147	AL	B	0,15	0,05	(AL)	B			
148,149	AL	B	0,29	0,05	(AL)	B			
150	AL	B	0,24	0,05	(AL)	B			
151	AL	B	0,15	0,05	(AL)	B			
152	AL	B	0,3	0,05	(AL)	B			

Nomenclatura:

O teto e o costado do tanque podem ser caracterizados pelas seguintes cores: BR – branca, AL – alumínio, (AL) costado isolado termicamente e PR – preto (isolamento térmico) e podem ter as seguintes condições: B – boa, R – ruim ou LE – levemente enferrujada.

Observações:

1. Somente nos tanques de teto fixo são necessárias as dimensões da altura e inclinação do teto.

2. Os tanques de teto flutuante interno possuem os seguintes acessórios:

- selo primário *vapor mounted* tipo *flexible-wiper* figura 7.1.6-B;
- boca de visita (Bv), a quantidade de boca de visita de cada tanque é encontrada na tabela 3.11;
- 7 colunas de suporte do teto fixo;
- tubo coberto (24 in Diâmetro);
- guia.

3. Somente os tanques de nafta para tratamento possuem selo secundário *vapor mounted* tipo *resilient-filled* e *flexible-wiper* (figura 7.1.6.A/B).

4. Os tanques de teto flutuante externo possuem os seguintes acessórios:

- selo primário *vapor mounted* tipo *resilient-filled* (figura 7.1.6-A) ou *flexible-wiper* (figura 7.1.6-B);
- boca de visita (Bv), a quantidade de boca de visita de cada tanque é encontrada na tabela 3.11;
- medidor de flutuação;
- 2 tomadas para manômetros/poço de amostra;
- guia;
- pernas de sustentação do teto (Pe), a quantidade das pernas de sustentação do teto é encontrado na tabela 3.11;

A tabela 3.12 apresenta as propriedades físico-químicas dos produtos armazenados nos tanques.

Tabela 3.12: Tabela de dados físico-químicos dos produtos

Produto	Dens. (lb/gal)	PML lb/lbmol	PMV lb/lbmol	Coef.de Antoine		Pressão de vapor (psi)						
				A	B	40°F	50°F	60°F	70°F	80°F	90°F	100°F
Diesel	7,09	209	130			0,0031	0,0045	0,0074	0,009	0,012	0,016	0,022
Gasóleo/ Res.Atm.	7,76	562	190			0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Petróleo	7,34	271	50			1,8	2,3	2,8	3,4	4,0	4,8	5,7
Nafta Craquea.	6,26	119	66			3,4	4,2	5,2	6,2	7,4	8,8	10,5
Nafta Leve	6,00	92	62			4,7	5,7	6,9	8,3	9,9	11,7	13,8
Nafta Pesada	6,17	119	66			3,4	4,2	5,2	6,2	7,4	8,8	10,5
Nafta de Coque	6,17	119	66			3,4	4,2	5,2	6,2	7,4	8,8	10,5
Nafta p/ Trat.	6,17	119	66			3,4	4,2	5,2	6,2	7,4	8,8	10,5
QAV intermed.	6,59	155	130			0,0041	0,0060	0,0085	0,011	0,015	0,021	0,029
Aguarrás intermed.	6,51	155	130			0,0041	0,0060	0,0085	0,011	0,015	0,021	0,029
Metanol	6,59	32	32	-8,5470	0,7698							
Óleo Leve	8,09	562	190			0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Diesel Pesado	7,17	282	130			0,0031	0,0045	0,0074	0,009	0,012	0,016	0,022
Resíduo Reproce.	8,26	209	190			0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Resíduo de Vácuo	8,42	854	190			0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Queros. intermed.	6,59	154	130			0,0041	0,006	0,0085	0,011	0,015	0,021	0,029
Aguarrás	6,51	155	130			0,0041	0,006	0,0085	0,011	0,015	0,021	0,029
Nafta Petroq.	6,00	92	62			4,7	5,7	6,9	8,3	9,9	11,7	13,8
Gasolina	5,84	119	66			3,4	4,2	5,2	6,2	7,4	8,8	10,5
Alcool Hidratado	6,67	46	46	-8,5180	0,3416							
Nafta p/ geração de gás	5,67	92	62			4,7	5,7	6,9	8,3	9,9	11,7	13,8
Metil-Terc- Butil Éter	6,17	88	88	-7,8250	2,9549							
Quer. de Aviação	6,59	154	130			0,0041	0,006	0,0085	0,011	0,015	0,021	0,029
Alcool Anidro	6,59	46	46	-8,5180	0,3416							
Óleo Comb	8,42	854	190			0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
CAP 20 (Asfalto)	8,51	854	190			0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Óleo Comb. 4A	8,51	854	190			0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Óleo Decantado	8,84	562	190			0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Querosene Diluyente	6,42	155	130			0,0041	0,006	0,0085	0,011	0,015	0,021	0,029
Nafta Diluyente	6,26	92	62			4,7	5,7	6,9	8,3	9,9	11,7	13,8
CR-250 (Asfalto)	7,92	854	190			0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Óleo Comb. 7A	8,51	854	190			0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Ocref	8,09	854	190			0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Óleo Leve	8,09	562	190			0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Resíduos	8,26	209	190			0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001

Observações:

1. Os valores do peso molecular do vapor (lb/lbmol) e pressão de vapor (psi) foram obtidos no documento *Compilation of air pollutant emission factors (AP-42), chapter 7: Organic Liquid Storage Tanks* [34].
2. Como essas propriedades físico-químicas não são disponíveis para todos os produtos, foi necessário fazer algumas aproximações, levando em consideração a densidade de cada produto.
3. Os valores do peso molecular do líquido (lb/lbmol) foram fornecidos pela empresa.
4. Os valores das massas específicas dos produtos (lb/gal) foram obtidas no banco de dados das Análises Químicas da empresa.

A tabela 3.13 apresenta os dados meteorológicos da região.

Tabela 3.13: Dados meteorológicos da região

1999	Temperatura do ar			Pressão atmosférica	Velocidade do vento	Radiação solar
	méd.	máx.	mín	méd.	méd.	
mês	° F	° F	° F	psig	milha/h	BTU/dia.m ²
Jan	75,92	87,80	68,54	19,54	0,19	2980,03
Fev	75,02	87,44	68,00	19,56	0,15	2966,45
Mar	75,38	87,62	66,56	19,57	0,20	3330,66
Abr	70,70	83,84	60,80	19,65	0,20	3099,81
Mai	64,58	78,44	53,24	19,67	0,19	2906,90
Jun	62,24	75,74	51,44	18,14	0,15	2350,22
Jul	66,38	80,96	55,22	19,66	0,24	2827,81
Ago	65,66	82,04	51,08	19,65	0,22	3190,12
Set	70,52	86,00	57,02	19,58	0,31	3367,05
Out	70,88	83,84	61,16	19,58	0,38	3434,45
Nov	71,42	84,92	60,62	19,54	0,29	3418,02
Dez	75,02	87,80	65,66	19,54	0,24	3385,75
méd.	70,31	158,56	59,95	19,47	0,23	3104,77

Os dados meteorológicos utilizados foram obtidos da estação meteorológica automática da indústria Rhodia Brasil Ltda com dados informatizados de temperatura do ar, radiação solar, velocidade do vento e precipitação pluviométrica coletados a cada minuto, obtendo-se uma média a cada 15 minutos, construindo desta forma um banco de dados chamado de DATAMET.

As tabelas 3.14 e 3.15 apresentam os dados do volumes armazenados de derivados de petróleo nos tanques e a frequência de enchimento e esvaziamento, respectivamente.

O enchimento e esvaziamento dos tanques não são feitos simultaneamente.

Inventário de emissões das fontes industriais do município de Paulínia

Tabela 3.14: Volumes armazenados de derivados nos tanques

Número do tanque	Produção Jan. (m³)	Produção Fev. (m³)	Produção Março (m³)	Produção Abril (m³)	Produção Maio (m³)	Produção Junho (m³)	Produção Julho (m³)	Produção Agosto (m³)	Produção Set. (m³)	Produção Out. (m³)	Produção Nov. (m³)	Produção Dez. (m³)
1,2,3	8,39E+05	9,57E+05	1,11E+06	1,24E+06	1,22E+06	1,05E+06	9,67E+05	1,15E+06	1,09E+06	1,21E+06	1,11E+06	1,04E+06
4,5,6	8,39E+05	9,57E+05	1,11E+06	1,24E+06	1,22E+06	1,05E+06	9,67E+05	1,15E+06	1,09E+06	1,21E+06	1,11E+06	1,04E+06
7	2,29E+05	2,21E+05	3,74E+05	3,43E+05	3,64E+05	2,93E+05	2,88E+05	3,24E+05	3,23E+05	4,02E+05	3,60E+05	2,68E+05
8,9	1,50E+06	1,32E+06	1,25E+06	1,01E+06	1,33E+06	1,59E+06	1,33E+06	1,80E+06	1,63E+06	1,75E+06	1,42E+06	1,54E+06
10	2,29E+05	2,21E+05	3,74E+05	3,43E+05	3,64E+05	2,93E+05	2,88E+05	3,24E+05	3,23E+05	4,02E+05	3,60E+05	2,68E+05
11,12,13	2,29E+05	2,21E+05	3,74E+05	3,43E+05	3,64E+05	2,93E+05	2,88E+05	3,24E+05	3,23E+05	4,02E+05	3,60E+05	2,68E+05
14,15	1,50E+06	1,32E+06	1,25E+06	1,01E+06	1,33E+06	1,59E+06	1,33E+06	1,80E+06	1,63E+06	1,75E+06	1,42E+06	1,54E+06
16,17,18	1,50E+06	1,32E+06	1,25E+06	1,01E+06	1,33E+06	1,59E+06	1,33E+06	1,80E+06	1,63E+06	1,75E+06	1,42E+06	1,54E+06
19,20,21,22,23,24	1,50E+06	1,32E+06	1,25E+06	1,01E+06	1,33E+06	1,59E+06	1,33E+06	1,80E+06	1,63E+06	1,75E+06	1,42E+06	1,54E+06
25	1,50E+06	1,32E+06	1,25E+06	1,01E+06	1,33E+06	1,59E+06	1,33E+06	1,80E+06	1,63E+06	1,75E+06	1,42E+06	1,54E+06
26,27,28	3,74E+04	6,60E+04	8,27E+04	1,44E+05	2,06E+05	1,38E+05	1,21E+05	1,95E+05	1,27E+05	1,72E+05	1,48E+05	1,23E+05
29,30,31	3,74E+04	6,60E+04	8,27E+04	1,44E+05	2,06E+05	1,38E+05	1,21E+05	1,95E+05	1,27E+05	1,72E+05	1,48E+05	1,23E+05
32,33	1,60E+05	1,31E+05	1,64E+05	1,34E+05	1,39E+05	1,39E+05	1,54E+05	9,61E+04	1,44E+05	1,47E+05	1,54E+05	1,42E+05
34,35	1,60E+05	1,31E+05	1,64E+05	1,34E+05	1,39E+05	1,39E+05	1,54E+05	9,61E+04	1,44E+05	1,47E+05	1,54E+05	1,42E+05
36	3,74E+04	6,60E+04	8,27E+04	1,44E+05	2,06E+05	1,38E+05	1,21E+05	1,95E+05	1,27E+05	1,72E+05	1,48E+05	1,23E+05
37	4,07E+04	2,97E+04	3,37E+04	1,60E+04	4,14E+04	9,92E+04	7,73E+04	3,91E+04	2,21E+04	2,94E+04	5,63E+04	3,78E+04
38	4,07E+04	2,97E+04	3,37E+04	1,60E+04	4,14E+04	9,92E+04	7,73E+04	3,91E+04	2,21E+04	2,94E+04	5,63E+04	3,78E+04
39,40	6,84E+03	3,70E+04	3,71E+04	3,83E+04	2,81E+04	2,60E+04	2,43E+04	3,20E+04	2,86E+04	2,20E+04	2,63E+04	2,16E+04
41	6,84E+03	3,70E+04	3,71E+04	3,83E+04	2,81E+04	2,60E+04	2,43E+04	3,20E+04	2,86E+04	2,20E+04	2,63E+04	2,16E+04
42	5,83E+04	3,60E+04	5,06E+04	1,23E+04	5,06E+04	4,94E+04	6,10E+04	6,95E+04	3,91E+04	4,58E+04	7,10E+04	6,97E+04
43	5,83E+04	3,60E+04	5,06E+04	1,23E+04	5,06E+04	4,94E+04	6,10E+04	6,95E+04	3,91E+04	4,58E+04	7,10E+04	6,97E+04
44,45	5,03E+04	4,94E+04	3,28E+04	4,28E+04	5,24E+04	4,67E+04	4,56E+04	4,06E+04	3,74E+04	3,76E+04	4,90E+04	2,64E+05
46	5,03E+04	4,94E+04	3,28E+04	4,28E+04	5,24E+04	4,67E+04	4,56E+04	4,06E+04	3,74E+04	3,76E+04	4,90E+04	2,64E+05
47,48	0,00E+00	2,45E+04	1,87E+04	0,00E+00	0,00E+00	9,03E+03	7,15E+03	4,88E+03	0,00E+00	5,53E+03	1,16E+03	1,83E+04
49	2,11E+03	6,96E+02	3,17E+03	2,63E+03	3,93E+03	8,47E+02	1,25E+03	3,21E+03	8,41E+03	2,99E+03	3,09E+03	3,00E+03
50,51	9,09E+04	1,17E+05	8,98E+04	1,01E+05	1,01E+05	1,22E+05	8,72E+04	1,29E+05	1,11E+05	1,20E+05	1,55E+05	8,95E+04
52	5,03E+04	4,94E+04	3,28E+04	4,28E+04	5,24E+04	4,67E+04	4,56E+04	4,06E+04	3,74E+04	3,76E+04	4,90E+04	2,64E+05
53,54	1,39E+05	1,30E+05	1,47E+05	1,50E+05	2,35E+05	2,50E+05	2,48E+05	2,57E+05	2,49E+05	2,61E+05	2,58E+05	2,64E+05
55	2,29E+05	2,21E+05	3,74E+05	3,43E+05	3,64E+05	2,93E+05	2,88E+05	3,24E+05	3,23E+05	4,02E+05	3,60E+05	2,68E+05
56	2,29E+05	2,21E+05	3,74E+05	3,43E+05	3,64E+05	2,93E+05	2,88E+05	3,24E+05	3,23E+05	4,02E+05	3,60E+05	2,68E+05
57,58	2,29E+05	2,21E+05	3,74E+05	3,43E+05	3,64E+05	2,93E+05	2,88E+05	3,24E+05	3,23E+05	4,02E+05	3,60E+05	2,68E+05
59,60,61,62	1,24E+05	1,62E+05	1,71E+05	2,19E+05	1,07E+05	1,48E+05	1,40E+05	1,10E+05	5,71E+04	1,84E+05	1,19E+05	1,08E+05
63,64	3,14E+03	4,87E+03	8,27E+03	3,69E+04	1,99E+04	1,97E+04	6,24E+03	3,10E+03	5,07E+03	6,13E+03	1,84E+04	1,55E+04
65,66	2,38E+04	1,16E+05	6,81E+04	1,53E+04	8,46E+04	7,02E+04	8,60E+04	8,75E+04	8,72E+04	8,02E+04	9,17E+04	9,52E+04
67,68	1,91E+04	8,26E+03	1,37E+03	0,00E+00	1,46E+03	2,11E+03	2,44E+03	3,09E+03	1,10E+03	5,98E+04	8,07E+04	2,46E+04
69	7,86E+03	1,36E+04	1,40E+04	0,00E+00	2,95E+03	6,99E+03	6,08E+03	2,97E+03	0,00E+00	3,15E+03	2,30E+03	1,40E+04
70	7,86E+03	1,36E+04	1,40E+04	0,00E+00	2,95E+03	6,99E+03	6,08E+03	2,97E+03	0,00E+00	3,15E+03	2,30E+03	1,40E+04
71	7,86E+03	1,36E+04	1,40E+04	0,00E+00	2,95E+03	6,99E+03	6,08E+03	2,97E+03	0,00E+00	3,15E+03	2,30E+03	1,40E+04
72	4,67E+04	4,93E+04	3,37E+04	2,95E+04	6,23E+04	1,52E+05	7,36E+04	1,28E+05	9,33E+04	9,37E+04	8,74E+04	8,27E+02
73	4,67E+04	4,93E+04	3,37E+04	2,95E+04	6,23E+04	1,52E+05	7,36E+04	1,28E+05	9,33E+04	9,37E+04	8,74E+04	8,27E+02
74,75	4,67E+04	4,93E+04	3,37E+04	2,95E+04	6,23E+04	1,52E+05	7,36E+04	1,28E+05	9,33E+04	9,37E+04	8,74E+04	8,27E+02
76,77	4,66E+05	4,43E+05	4,38E+05	4,76E+05	4,63E+05	4,26E+05	4,59E+05	4,18E+05	4,64E+05	4,49E+05	4,08E+05	4,80E+05
78,79,80,81	4,66E+05	4,43E+05	4,38E+05	4,76E+05	4,63E+05	4,26E+05	4,59E+05	4,18E+05	4,64E+05	4,49E+05	4,08E+05	4,80E+05
82,83,84	4,52E+04	6,45E+04	7,70E+04	8,21E+04	9,55E+04	4,35E+04	4,61E+04	5,29E+04	7,70E+04	8,65E+04	1,13E+05	5,92E+04
85,86	4,66E+05	4,43E+05	4,38E+05	4,76E+05	4,63E+05	4,26E+05	4,59E+05	4,18E+05	4,64E+05	4,49E+05	4,08E+05	4,80E+05
87,88	4,45E+03	6,26E+03	2,04E+04	6,86E+02	1,39E+04	2,43E+04	9,47E+03	1,64E+04	7,36E+03	4,17E+03	1,39E+04	4,81E+03
89,90	4,45E+03	6,26E+03	2,04E+04	6,86E+02	1,39E+04	2,43E+04	9,47E+03	1,64E+04	7,36E+03	4,17E+03	1,39E+04	4,81E+03
91,92	5,56E+03	6,79E+03	7,14E+03	8,85E+03	8,49E+03	7,80E+03	8,81E+03	7,21E+03	8,41E+03	7,85E+03	6,89E+03	6,69E+03
93,94	4,52E+04	6,45E+04	7,70E+04	8,21E+04	9,55E+04	4,35E+04	4,61E+04	5,29E+04	7,70E+04	8,65E+04	1,13E+05	5,92E+04
95,96	4,27E+04	4,06E+04	2,94E+04	1,53E+04	3,22E+04	4,52E+04	3,77E+04	2,68E+04	4,49E+04	2,90E+04	4,05E+04	5,21E+04
97	4,27E+04	4,06E+04	2,94E+04	1,53E+04	3,22E+04	4,52E+04	3,77E+04	2,68E+04	4,49E+04	2,90E+04	4,05E+04	5,21E+04
98,99	2,40E+04	2,05E+04	3,20E+04	5,24E+04	6,04E+04	5,64E+04	4,50E+04	4,63E+04	6,32E+04	5,98E+04	6,84E+04	5,21E+04
100,101	4,27E+04	4,06E+04	2,94E+04	1,53E+04	3,22E+04	4,52E+04	3,77E+04	2,68E+04	4,49E+04	2,90E+04	4,05E+04	5,21E+04
102,103,104,105,106	8,39E+05	9,57E+05	1,11E+06	1,24E+06	1,22E+06	1,05E+06	9,67E+05	1,15E+06	1,09E+06	1,21E+06	1,11E+06	1,04E+06
107,108,109,110	1,39E+05	1,30E+05	1,47E+05	1,50E+05	2,35E+05	2,50E+05	2,48E+05	2,57E+05	2,49E+05	2,61E+05	1,58E+05	2,64E+05
111,112,113	4,52E+04	4,44E+04	7,59E+04	7,47E+04	5,88E+04	4,68E+04	5,73E+04	7,99E+04	8,55E+04	1,03E+05	8,91E+04	6,66E+04
114,115	1,24E+05	1,62E+05	1,71E+05	2,19E+05	1,07E+05	1,48E+05	1,40E+05	1,10E+05	5,71E+04	1,84E+05	1,19E+05	1,08E+05
116,117,118,119,120,121	4,76E+05	2,45E+05	2,95E+05	2,21E+05	3,17E+05	1,33E+05	2,11E+05	3,26E+05	4,25E+05	3,13E+05	5,36E+05	3,76E+05
122,123,124,125,126,127	4,76E+05	2,45E+05	2,95E+05	2,21E+05	3,17E+05	1,33E+05	2,11E+05	3,26E+05	4,25E+05	3,13E+05	5,36E+05	3,76E+05
128,129,130,131	0,00E+00	1,03E+04	9,42E+03	0,00E+00	1,44E+04	5,21E+03	0,00E+00	2,01E+04	3,84E+04	1,40E+04	1,38E+04	1,26E+04
132,133	1,22E+04	7,42E+03	8,78E+03	8,45E+03	1,48E+04	1,27E+04	1,40E+04	1,46E+04	1,57E+04	1,64E+04	1,40E+04	1,58E+04
134,135	2,21E+03	0,00E+00	3,98E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	7,66E+03	0,00E+00	4,37E+04
136	0,00E+00	1,58E+02	0,00E+00	2,81E+02	0,00E+00	0,00E+00	2,53E+02	0,00E+00	0,00E+00	2,46E+02	0,00E+00	0,00E+00
137	0,00E+00	2,68E+02	0,00E+00	0,00E+00	1,99E+02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,30E+01	2,45E+02	0,00E+00	1,09E+02
138,139,140	2,07E+02	6,90E+02	2,46E+02	7,10E+02	6,82E+02	6,33E+02	3,09E+02	4,33E+02	1,12E+03	5,37E+02	4,20E+02	7,40E+02
141,142,143,144	3,60E+04	1,94E+04	2,10E+04	1,61E+04	1,93E+04	2,56E+04	2,31E+04	4,19E+04	3,15E+04	3,13E+04	2,38E+04	2,91E+04
145,146	2,28E+04	1,59E+04	1,57E+04	9,41E+03	1,28E+04	3,15E+04	1,72E+04	2,29E+04	3,61E+04	2,48E+04	6,79E+03	6,02E+03
147	9,09E+04	1,17E+05	8,98E+04	1,01E+05	1,01E+05	1,22E+05	8,72E+04	1,29E+05	1,11E+05	1,20E+05	7,81E+04	8,95E+04
148,149	3,14E+03	4,87E+03	8,27E+03	3,69E+04	1,99E+04	1,97E+04	6,24E+03	3,10E+03	5,07E+03	6,13E+03	1,84E+04	1,55E+04
150	3,14E+03	4,87E+03	8,27E+03	3,69E+04	1,99E+04	1,97E+04	6,24E+03	3,10E+03	5,07E+03	6,13E+03	1,84E+04	1,55E+04
151	3,14E+03	4,87E+03	8,27E+03	3,69E								

Tabela 3.15: Frequência de enchimento e esvaziamento do tanque ("turnover")

Número do tanque	Volume oper. (m3)	Turnover Janeiro	Turnover Fevereiro	Turn. Março	Turn. Abril	Turn. Maio	Turn. Junho	Turn. Julho	Turn. Agosto	Turn. Set.	Turn. Out.	Turn. Nov.	Turn. Dez.	Turn. med. an.
1,2,3	39825	21,1	24,0	27,9	31,3	30,7	26,4	24,3	29,0	27,3	30,4	27,8	26,2	27,2
4,5,6	39874	21,1	24,0	27,9	31,2	30,7	26,4	24,2	28,9	27,3	30,4	27,7	26,2	27,2
7	39847	5,7	5,6	9,4	8,6	9,1	7,4	7,2	8,1	8,1	10,1	9,0	6,7	7,9
8,9	39842	37,7	33,1	31,3	25,3	33,5	40,0	33,5	45,1	41,0	43,9	35,7	38,6	36,6
10	39877	5,7	5,5	9,4	8,6	9,1	7,4	7,2	8,1	8,1	10,1	9,0	6,7	7,9
11,12,13	39905	5,7	5,5	9,4	8,6	9,1	7,3	7,2	8,1	8,1	10,1	9,0	6,7	7,9
14,15	39868	37,7	33,1	31,3	25,3	33,5	39,9	33,4	45,1	40,9	43,9	35,7	38,6	36,5
16,17,18	39884	37,7	33,1	31,3	25,3	33,4	39,9	33,4	45,1	40,9	43,9	35,7	38,6	36,5
19,20,21,22,23,24	65593	22,9	20,1	19,0	15,4	20,3	24,3	20,3	27,4	24,9	26,7	21,7	23,5	22,2
25	61883	24,3	21,3	20,2	16,3	21,6	25,7	21,5	29,1	26,4	28,3	23,0	24,9	23,5
26,27,28	8721	4,3	7,6	9,5	16,5	23,6	15,8	13,9	22,4	14,5	19,8	16,9	14,1	14,9
29,30,31	9380	4,0	7,0	8,8	15,3	21,9	14,7	12,9	20,8	13,5	18,4	15,7	13,1	13,9
32,33	6784	23,6	19,4	24,2	19,7	20,5	20,5	22,6	14,2	21,2	21,6	22,7	20,9	20,9
34,35	8691	18,4	15,1	18,9	15,4	16,0	16,0	17,7	11,1	16,6	16,9	17,7	16,3	16,3
36	5497	8,8	12,0	15,0	26,2	37,4	25,1	22,0	35,5	23,0	31,3	26,9	22,3	23,6
37	5495	7,4	5,4	6,1	2,9	7,5	18,1	14,1	7,1	4,0	5,4	10,3	6,9	7,9
38	7010	5,8	4,2	4,8	2,3	5,9	14,2	11,0	5,6	3,1	4,2	8,0	5,4	6,2
39,40	3691	1,9	10,0	10,0	10,4	7,6	7,0	6,6	8,7	7,8	6,0	7,1	5,9	7,4
41	4669	1,5	7,9	7,9	8,2	6,0	5,6	5,2	6,8	6,1	4,7	5,6	4,6	5,9
42	1837	31,7	19,6	27,5	6,7	27,6	26,9	33,2	37,8	21,3	24,9	38,7	37,9	27,8
43	5148	11,3	7,0	9,8	2,4	9,8	9,6	11,8	13,5	7,6	8,9	13,8	13,5	9,9
44,45	3487	14,4	14,2	9,4	12,3	15,0	13,4	13,1	11,6	10,7	10,8	14,0	75,7	17,9
46	3840	13,1	12,9	8,5	11,2	13,6	12,2	11,9	10,6	9,7	9,8	12,7	68,7	16,2
47,48	2899	0,0	8,4	6,5	0,0	0,0	3,1	2,5	1,7	0,0	1,9	0,4	6,3	2,6
49	4199	0,5	0,2	0,8	0,6	0,9	0,2	0,3	0,8	2,0	0,7	0,7	0,7	0,7
50,51	4485	20,3	26,0	20,0	22,5	22,4	27,1	19,4	28,7	24,7	26,8	34,6	20,0	24,4
52	11679	4,3	4,2	2,8	3,7	4,5	4,0	3,9	3,5	3,2	3,2	4,2	5,7	3,9
53,54	11242	12,3	11,6	13,1	13,3	20,9	22,2	22,1	22,8	22,1	23,3	22,9	23,5	19,2
55	11029	20,7	20,1	33,9	31,1	33,0	26,6	26,1	29,3	29,3	36,4	32,6	24,3	28,6
56	11140	20,5	19,9	33,6	30,8	32,7	26,3	25,9	29,0	29,0	36,1	32,3	24,1	28,3
57,58	14521	15,8	15,2	25,8	23,7	25,1	20,2	19,8	22,3	22,3	27,7	24,8	18,5	21,7
59,60,61,62	4191	29,7	38,6	40,8	52,3	25,4	35,3	33,5	26,3	13,6	43,8	28,3	25,7	32,8
63,64	10600	0,3	0,5	0,8	3,5	1,9	1,9	0,6	0,3	0,5	0,6	1,7	1,5	1,2
65,66	1415	16,8	82,3	48,1	10,8	59,8	49,6	60,8	61,8	61,6	56,7	64,8	67,3	53,4
67,68	5500	3,5	1,5	0,2	0,0	0,3	0,4	0,4	0,6	0,2	10,9	14,7	4,5	3,1
69	5500	1,4	2,5	2,5	0,0	0,5	1,3	1,1	0,5	0,0	0,6	0,4	2,5	1,1
70	5494	1,4	2,5	2,6	0,0	0,5	1,3	1,1	0,5	0,0	0,6	0,4	2,5	1,1
71	18876	0,4	0,7	0,7	0,0	0,2	0,4	0,3	0,2	0,0	0,2	0,1	0,7	0,3
72	18874	2,5	2,6	1,8	1,6	3,3	8,1	3,9	6,8	4,9	5,0	4,6	0,0	3,8
73	18930	2,5	2,6	1,8	1,6	3,3	8,0	3,9	6,7	4,9	4,9	4,6	0,0	3,7
74,75	18895	2,5	2,6	1,8	1,6	3,3	8,1	3,9	6,8	4,9	5,0	4,6	0,0	3,7
76,77	26542	17,6	16,7	16,5	17,9	17,4	16,0	17,3	15,8	17,5	16,9	15,4	18,1	16,9
78,79,80,81	26542	17,6	16,7	16,5	17,9	17,4	16,0	17,3	15,8	17,5	16,9	15,4	18,1	16,9
82,83,84	26324	1,7	2,5	2,9	3,1	3,6	1,7	1,8	2,0	2,9	3,3	4,3	2,2	2,7
85,86	27709	16,8	16,0	15,8	17,2	16,7	15,4	16,6	15,1	16,7	16,2	14,7	17,3	16,2
87,88	5115	0,9	1,2	4,0	0,1	2,7	4,8	1,9	3,2	1,4	0,8	2,7	0,9	2,1
89,90	5115	0,9	1,2	4,0	0,1	2,7	4,8	1,9	3,2	1,4	0,8	2,7	0,9	2,1
91,92	6055	0,9	1,1	1,2	1,5	1,4	1,3	1,5	1,2	1,4	1,3	1,1	1,1	1,2
93,94	29094	1,6	2,2	2,6	2,8	3,3	1,5	1,6	1,8	2,6	3,0	3,9	2,0	2,4
95,96	3485	12,2	11,7	8,4	4,4	9,2	13,0	10,8	7,7	12,9	8,3	11,6	15,0	10,4
97	18461	2,3	2,2	1,6	0,8	1,7	2,5	2,0	1,5	2,4	1,6	2,2	2,8	2,0
98,99	7631	3,1	2,7	4,2	6,9	7,9	7,4	5,9	6,1	8,3	7,8	9,0	6,8	6,3
100,101	4202	10,2	9,7	7,0	3,6	7,7	10,8	9,0	6,4	10,7	6,9	9,6	12,4	8,7
102,103,104,105,106	15016	55,9	63,7	74,0	82,9	81,5	70,1	64,4	76,8	72,4	80,6	73,6	69,5	72,1
107,108,109,110	21045	6,6	6,2	7,0	7,1	11,2	11,9	11,8	12,2	11,8	12,4	7,5	12,5	9,8
111,112,113	29096	1,6	1,5	2,6	2,6	2,0	1,6	2,0	2,7	2,9	3,5	3,1	2,3	2,4
114,115	21178	5,9	7,6	8,1	10,4	5,0	7,0	6,6	5,2	2,7	8,7	5,6	5,1	6,5
116,117,118,119,120,121	21152	22,5	11,6	13,9	10,4	15,0	6,3	10,0	15,4	20,1	14,8	25,3	17,8	15,3
122,123,124,125,126,127	30524	15,6	8,0	9,7	7,2	10,4	4,4	6,9	10,7	13,9	10,3	17,6	12,3	10,6
128,129,130,131	3742	0,0	2,7	2,5	0,0	3,8	1,4	0,0	5,4	10,3	3,8	3,7	3,4	3,1
132,133	3628	3,4	2,0	2,4	2,3	4,1	3,5	3,9	4,0	4,3	4,5	3,9	4,4	3,6
134,135	4120	0,5	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	0,0	10,6	1,2
136	272	0,0	0,6	0,0	1,0	0,0	0,0	0,9	0,0	0,0	0,9	0,0	0,0	0,3
137	252	0,0	1,1	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	0,1	1,0	0,0	0,5	0,4	0,3
138,139,140	272	0,8	2,5	0,9	2,6	2,5	2,3	1,1	1,6	4,1	2,0	1,5	2,7	2,1
141,142,143,144	5336	6,7	3,6	3,9	3,0	3,6	4,8	4,3	7,9	5,9	5,9	4,4	5,5	5,0
145,146	1697	13,4	9,4	9,2	5,5	7,5	18,6	10,1	13,5	21,3	14,6	4,0	3,5	10,9
107	95	3,8	5,7	5	6,4	5,3	2,5	3,1	3,5	3,4	2,2	0,2	5,9	3,9
148,149	320	9,8	15,2	25,9	115,4	62,2	61,6	19,5	9,7	15,9	19,2	57,6	48,3	38,4
150	320	9,8	15,2	25,9	115,4	62,2	61,6	19,5	9,7	15,9	19,2	57,6	48,3	38,4
151	102	30,8	47,8	81,1	361,9	195,3	193,4	61,2	30,4	49,7	60,1	180,8	151,6	120,3
152	635	4,9	7,7	13,0	58,1	31,4	31,1	9,8	4,9	8,0	9,7	29,0	24,4	19,3

Observações:

1. Para calcular a quantidade de vezes que o tanque encheu e esvaziou é necessário saber os volumes de derivados armazenados nos tanques e dividir pelo volume operacional do mesmo dentro do período de um ano.
2. O valor da produção mensal é a soma de todas as operações de entrada dos produtos para cada mês.
3. O valor do volume operacional do tanque é a soma entre o estoque do produto e o espaço operacional.

Tabela 3.16: Taxa de emissão de hidrocarbonetos de tanques de estocagem (HC)

PRODUTO	Identificação do tanque	Qde	Emissões de HC lb/ano	Emissões totais de HC lb/ano	Emissões totais de HC Kg/h
<i>Diesel</i>	TQ-4101/03	3	394,82	1184,46	0,061
<i>Diesel</i>	TQ-4104/06	3	394,82	1184,46	0,061
<i>Gasóleo/Res. Atmosf.</i>	TQ-4107	1	117,00	117,00	0,006
<i>Petróleo</i>	TQ-4108/09	2	3821,07	7642,14	0,395
<i>Gasóleo/Res. Atmosf.</i>	TQ-4110	1	117,00	117,00	0,006
<i>Gasóleo/Res. Atmosf.</i>	TQ-4111/13	3	117,00	351,00	0,018
<i>Petróleo</i>	TQ-4116/17	2	3821,07	7642,14	0,395
<i>Petróleo</i>	TQ-4118/20	3	3036,68	9110,04	0,471
<i>Petróleo</i>	TQ-4121/26	6	4079,93	24479,58	1,266
<i>Petróleo</i>	TQ-4127	1	3472,91	3472,91	0,180
<i>Nafta Craqueada</i>	TQ-4201/03	3	6565,94	19697,82	1,018
<i>Nafta Craqueada</i>	TQ-4204/06	3	6603,80	19811,40	1,024
<i>Nafta Leve</i>	TQ-4210/11	2	7665,20	15330,40	0,793
<i>Nafta Leve</i>	TQ-4212/13	2	7722,87	15445,74	0,799
<i>Nafta Craqueada</i>	TQ-4220	1	4784,34	4784,34	0,247
<i>Nafta Pesada</i>	TQ-4221	1	4776,19	4776,19	0,247
<i>Nafta Pesada</i>	TQ-4222	1	4786,60	4786,60	0,247
<i>Nafta de Coque</i>	TQ-4230/31	2	3938,73	7877,46	0,407
<i>Nafta de Coque</i>	TQ-4232	1	4156,53	4156,53	0,215
<i>Nafta p/Tratamento</i>	TQ-4240	1	1779,80	1779,80	0,092
<i>Nafta p/Tratamento</i>	TQ-4241	1	1255,28	1255,28	0,065
<i>QAV intermediário</i>	TQ-4301/02	2	1687,56	3375,12	0,174
<i>Aguarrás intermed.</i>	TQ-4304	1	1253,78	1253,78	0,065
<i>QAV intermediário</i>	TQ-4303/04	2	1258,65	2517,30	0,130
<i>Metanol</i>	TQ-4305	1	43,72	43,72	0,002
<i>Óleo Leve</i>	TQ-4310/11	2	25,42	50,84	0,003
<i>QAV intermediário</i>	TQ-4320	1	30,91	30,91	0,002
<i>Diesel Pesado</i>	TQ-4330/31	2	180,78	361,56	0,019
<i>Gasóleo/Res. Atmosf.</i>	TQ-4401	1	71,23	71,23	0,004

Tabela 3.16: Taxa de emissão de hidrocarbonetos de tanques de estocagem (HC)
(continuação)

PRODUTO	Identificação do tanque	Qde	Emissões de HC lb/ano	Emissões totais de HC lb/ano	Emissões totais de HC Kg/h
Gasóleo/Res. Atmosf.	TQ-4402	1	64,38	64,38	0,003
Gasóleo/Res. Atmosf.	TQ-4403/04	2	61,50	123	0,006
Gasóleo/Res. Atmosf.	TQ-4405/08	4	105,66	422,64	0,022
Resíduo p/ Reproce.	TQ-4410/11	2	11,28	22,56	0,001
Resíduo de Vácuo	TQ-4412/13	2	104,49	208,98	0,011
Querosene intermed.	TQ-4601/02	2	26,79	53,58	0,003
Aguarrás	TQ-4610	1	21,43	21,43	0,001
Aguarrás	TQ-4611	1	18,52	18,52	0,001
Aguarrás	TQ-4612	1	19,40	19,4	0,001
Nafta Petroquímica	TQ-4620	1	12625,05	12625,05	0,653
Nafta Petroquímica	TQ-4621	1	12625,05	12625,05	0,653
Nafta Petroquímica	TQ-4622/23	2	12625,05	25250,1	1,305
Gasolina	TQ-4624/25	2	9187,12	18374,24	0,950
Gasolina	TQ-4626/29	4	9949,32	39797,28	2,058
Alcool Hidratado	TQ-4630/32	3	66,17	198,51	0,010
Gasolina	TQ-4633/34	2	8529,46	17058,92	0,882
Nafta p/ ger. de gás	TQ-4640/41	2	6040,60	12081,2	0,625
Nafta p/ ger. de gás	TQ-4650/51	2	6040,60	12081,2	0,625
Metil-Terc-Butil Éter	TQ-4660/61	2	67439,37	134878,7	6,973
Alcool Hidratado	TQ-4670/71	2	7983,82	15967,64	0,826
QVA	TQ-4701/02	2	1243,41	2486,82	0,129
QVA	TQ-4703	1	3001,88	3001,88	0,155
QVA	TQ-4704/05	2	2936,97	5873,94	0,304
QVA	TQ-4710/11	2	1846,65	3693,3	0,191
Diesel	TQ-4720/24	5	10301,33	51506,65	2,663
Diesel Pesado	TQ-4726/29	4	6832,94	27331,76	1,413
Alcool Anidro	TQ-4730/32	3	12601,12	37803,36	1,954
Gasóleo/Res. Atmosf.	TQ-4801/02	2	64,94	129,88	0,007
Óleo Combustível	TQ-4803/08	6	76,09	456,54	0,024
Óleo Combustível	TQ-4809/14	6	145,05	870,3	0,045
CAP 20 (Asfalto)	TQ-4901/04	4	20,07	80,28	0,004
Óleo Combustível 4A	TQ-4905/06	2	15,04	30,08	0,002
Óleo Decantado	TQ-4907/08	2	13,90	27,8	0,001
Querosene Diluente	TQ-4910	1	87,64	87,64	0,005
Nafta Diluente	TQ-4911	1	19234,74	19234,74	0,994
CR-250 (Asfalto)	TQ-4920/22	3	0,89	2,67	0,000
Óleo Combustível 7A	TQ-4930/33	4	19,34	77,36	0,004
Ocref	TQ-6303/04	2	11,45	22,9	0,001
Óleo Leve	TQ-6305	1	0,32	0,32	0,000
Resíduos	TQ-7401/02	2	2,97	5,94	0,000
Resíduos	TQ-7403	1	0,59	0,59	0,000
Resíduos	TQ-7404	1	0,74	0,74	0,000
Resíduos	TQ-7405	1	3,38	3,38	0,000

Observações:

1. As emissões totais de hidrocarbonetos são obtidas pela multiplicação entre a emissão de hidrocarbonetos de um produto pela quantidade de tanques em que o mesmo está armazenado.
2. A estimativa total das perdas de hidrocarbonetos para atmosfera dos tanques de estocagem são de 31,92 Kg/h.

b) Emissões de hidrocarbonetos (HC) do separador água-óleo e da bacia de águas oleosas

Para calcular as emissões de hidrocarbonetos (HC) do separador água-óleo e da bacia de águas oleosas foram utilizados fatores de emissão do documento *Compilation of air pollutant emission factors, vol. I: Stationary Point and Area Sources (AP-42), Chapter 5.1 – Petroleum Refining* [22], no qual estimou-se um valor individual de 14.600 kg/dia de uma refinaria de petróleo com capacidade de 52500 m³/dia.

3.4.2 Dados necessários para utilização do modelo ISC 3

Toda vez que o modelo ISC 3 for utilizado é necessário incluir algumas informações das fontes de poluição, dos tipos de poluentes, dos dados meteorológicos e topográficos da região e a resposta desejada em termos de concentração no período de tempo.

Dentre as opções do modelo é necessário selecionar:

- 1)- Opções de controle: que incluem títulos dos gráficos de isoconcentração; tipo de poluentes e coeficiente de decaimento; período do tempo médio de dispersão dos poluentes que podem ser de 1, 2, 3, 4, 6, 8, 12 ou 24 horas, meses, 1 ano ou qualquer outro período, como um dia, uma semana, três meses. etc....
- 2)- Opções meteorológicas: como mostrado no item 3.3 foi necessário montar um banco de dados com informações meteorológicas da região.

3)- Opções das grades dos terrenos: nesta parte que foi adicionada a região de estudo, ou seja, a área física selecionada para o cálculo das concentrações dos poluentes.

As grades de receptores podem ser no sistema cartesiano uniforme, cartesiano não-uniforme, polar uniforme ou polar não-uniforme.

Neste caso, utilizou-se a grade cartesiana uniforme para melhor compreensão da região.

Foi escolhido uma área de 25 Km² que engloba a área industrial, urbana e rural do município de Paulínia.

O ponto inicial da grade foi 270000 na coordenada X e 7470000 na coordenada Y, aumentando 500 metros em X e Y, formando dessa forma uma grade com 50 pontos em X e 50 pontos em Y.

Para caracterizar a topografia do terreno na região de Paulínia (figura 3.7) foi utilizado a seguinte aproximação:

- a altura do terreno nas margens do Rio Atibaia mede 550 metros de altitude;
- a altura de terreno 500 metros após o Rio Atibaia mede 570 metros de altitude;
- a altura do terreno das outras áreas da grade mede 600 metros.

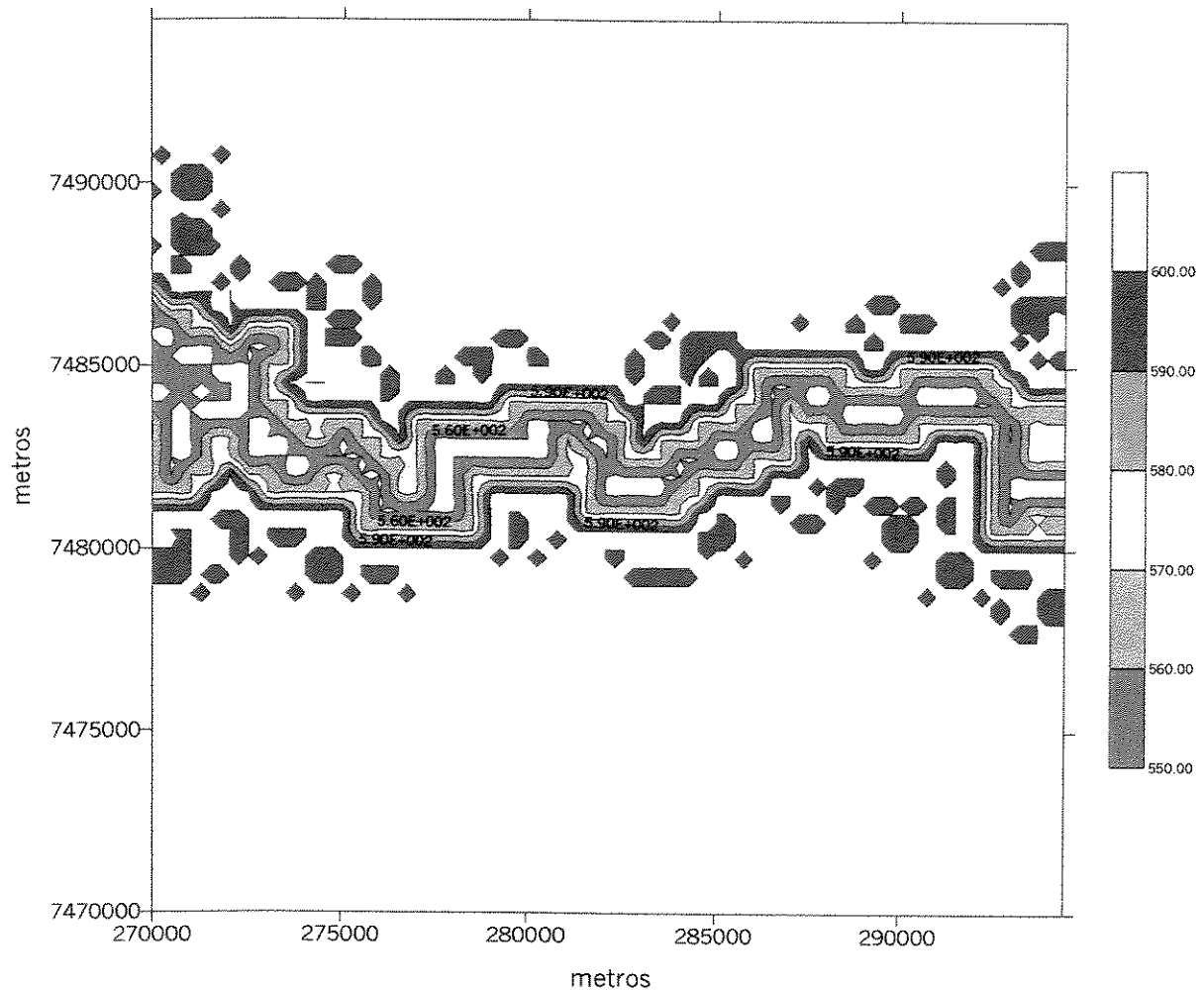


Figura 3.7: Topografia do terreno em coordenadas XY na região objeto de estudo

4)- Opções das fontes: os dados de entrada exigido pelo programa ISC3 variam para cada tipo de fonte.

• FONTES PONTUAIS

Os dados de entrada das fontes pontuais são:

- ✓ Identificação da fonte;
- ✓ Coordenadas X e Y;
- ✓ Elevação do terreno;
- ✓ Taxa de emissão (g/s);

- ✓ Altura da chaminé (m);
- ✓ Temperatura na saída da chaminé (K);
- ✓ Diâmetro da chaminé (m); e
- ✓ Velocidade de saída do gás da chaminé (m/s).

Os dados das coordenadas X e Y e elevação do terreno foram medidas com um GPS (Global Polar System) quando as empresas não possuíam estas informações.

Os dados da taxa de emissão das fontes pontuais foram calculados anteriormente no item 3.4.1 e a taxa de emissão total dos poluentes dióxido de enxofre, material particulado e óxidos de nitrogênio foram, respectivamente, 73,9 t/dia, 5,8 t/dia e 15,4 t/dia.

Os dados da altura da chaminé, temperatura na saída da chaminé, diâmetro da chaminé e velocidade da saída do gás da chaminé foram fornecidos pelas empresas.

A tabela 3.19 apresentam as taxas de emissões dos poluentes dióxido de enxofre, material particulado e óxidos de nitrogênio, além dos dados de altura e diâmetro da chaminé e temperatura e velocidade do gás na saída da chaminé.

Tabela 3.19: Dados das fontes pontuais

FONTE	TAXA DE EMISSÃO (g/s)			TEMP. (k)	DIÂM. (m)	VEL. (m/s)	ALTURA (m)
	SO ₂	MP	NO _x				
F-01	25,60	1,81	12,85	466	3,74	5,68	61,0
F-02	7,40	0,54	4,32	465	1,58	10,41	62,0
F-03	6,40	0,46	2,40	467	1,58	5,71	62,9
F-04	25,60	1,81	13,09	466	3,74	5,91	61,0
F-05	2,80	0,21	3,31	448	2,00	4,90	61,0
F-06	4,10	0,30	3,72	462	2,59	3,45	61,0
F-07	49,60		0,14	923	1,32	5,69	45,7
F-08	79,50		0,15	1023	1,30	11,30	65,0
F-09	18,70	0,76	9,21	591	2,70	9,68	73,0
F-10	182,20	19,62	1,43	543	3,05	16,01	61,0
F-11	239,90	25,82	1,89	463	3,70	12,21	80,0
F-12	21,10	1,53	8,76	463	2,00	11,71	35,0
F-13	21,10	1,53	8,76	463	2,00	11,71	35,0
F-14	21,10	1,53	8,76	463	2,00	11,71	35,0
F-15			21,84	342	1,43	22,00	40,0
F-16			11,20	300	0,80	20,00	25,0
F-17	24,97	1,75	5,86	438	2,20	14,00	35,2
F-18	37,76	2,65	8,86	438	2,20	15,00	35,2
F-19	25,56	1,80	6,00	438	2,60	11,00	21,2
F-20	18,345	1,29	4,31	438	1,96	11,00	21,2
F-21	7,86	0,55	1,85	438	2,60	6,00	21,2
F-22	8,82			355	0,90	76,67	60,0
F-23	0,43	0,03		3207	0,45	18,20	9,0
F-24	4,01	0,41	1,36	456	0,90	6,90	35,0
F-25	1,27	0,09	3,00	493	0,50	5,37	6,0
F-26	1,75	0,12	4,12	493	0,60	5,12	6,0
F-27	2,55	0,18	6,00	493	0,70	5,47	6,0
F-28	1,75	0,12	4,12	493	0,60	5,12	6,0
F-29	9,58	0,67	2,25	493	1,50	4,48	6,0
F-30	1,61	0,11	3,80	493	0,63	3,92	9,0
F-31	3,14	0,22	7,38	450	0,93	3,55	13,4
F-32	1,70	0,12	4,00	450	0,64	4,00	23,4
F-33	0,05	0,04	1,38	503	0,60	2,14	30,0
F-34	0,05	0,04	1,38	443	0,40	1,50	12,0

• FONTES ÁREAS

Os dados de entrada das fontes áreas são:

- ✓ Identificação das fontes;
- ✓ Coordenadas X e Y;
- ✓ Altura do terreno (m);
- ✓ Taxa de emissão (g/m²);
- ✓ Altura da liberação (m);

- ✓ Comprimento X e Y;
- ✓ Ângulo (graus); e
- ✓ Diâmetro vertical inicial

Os dados das coordenadas X e Y e elevação do terreno foram medidas com um GPS (Global Polar System) quando as empresas não possuíam estas informações.

Os dados da taxa de emissão foi calculado anteriormente no item 3.4.1.

A altura de liberação da fonte A-01 foi calculado através das altura média dos tanques de estocagem.

Os dados de comprimento X e Y foram fornecidos pelas empresas.

Tabela 3.18: Dados de entrada de fontes áreas

Fonte	Taxa de emissão (g/s.m ²)	Altura da liberação (m)	Comprimento X	Comprimento Y	Ângulo	Diâmetro vertical inicial
A-01	0,0000062	25,68	0,0	0,0	0	0
			1950,0	-300,0		
			1850,0	-820,0		
			2380,0	-1030,0		
			2570,0	-50,0		
			80,0	360,0		
A-02	0,0192	0	160,0	55,0	0	0
A-03	0,1038	0	44,0	37,0	0	0

É importante observar que a taxa de emissão de uma fonte área tem que ser dividida pela área.

A fonte A-01 que corresponde as fontes área dos tanques de armazenagem tem a área de um polígono (Figura 3.8) e o comprimento X e Y está descrito na forma relativizada ao ponto da extrema esquerda (0,0). Para chegar no valor da tabela acima é necessário dividir o valor da taxa de emissão de 8,87 g/s obtida na tabela 3.16 pela área deste polígono que mede 1414840,84 m².

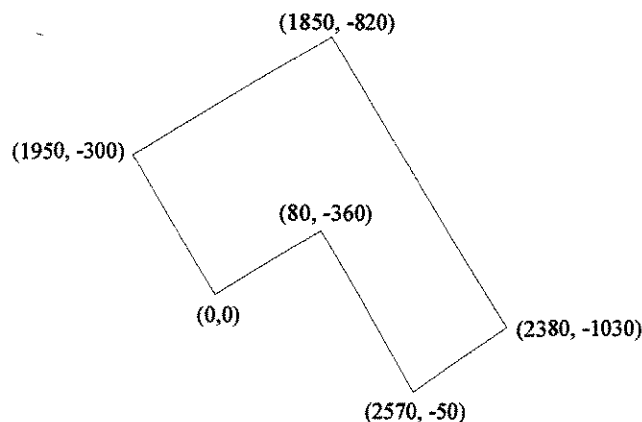
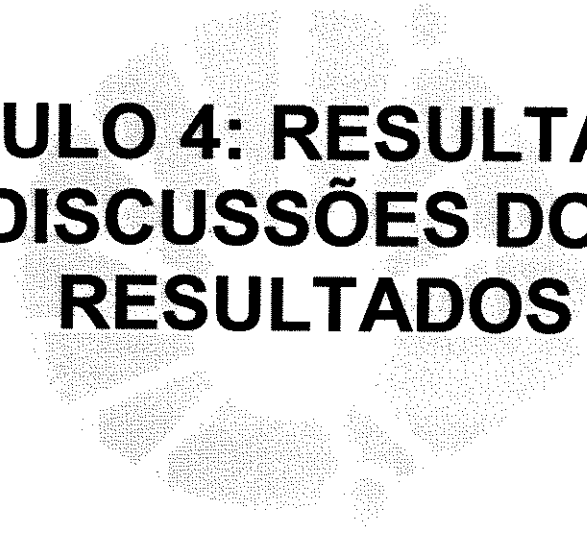


Figura 3.8: Área dos tanques de estocagem dos derivados de petróleo

A fonte A-02 que corresponde a fonte área da bacia de águas oleosas tem área de um retângulo, com comprimento X e Y. Para chegar no valor da tabela acima é necessário dividir o valor da taxa de emissão de 169 g/s pela área deste retângulo que mede 8800 m².

A fonte A-03 que corresponde a fonte área do separador água-óleo tem área de um retângulo, com comprimento X e Y. Para chegar no valor da tabela acima é necessário dividir o valor da taxa de emissão de 169 g/s pela área deste retângulo que mede 1628 m².

5)- Opção de saída: Para dispersão em cada período médio de tempo, 1 hora, 24 horas, alguns meses ou 1 ano e para o conjunto total de fontes de poluição do ar tem-se como resultado os valores máximos de concentração dos poluentes, os segundo valores máximos de concentrações dos poluentes, os terceiros valores máximos de concentrações dos poluentes, os quartos valores máximos de concentrações dos poluentes, os quintos valores máximos de concentrações dos poluentes ou os sextos valores máximos de concentrações dos poluentes.



CAPÍTULO 4: RESULTADOS E DISCUSSÕES DOS RESULTADOS

UNICAMP

Capítulo 4: Resultados e discussões dos resultados

Este capítulo está dividido em duas partes. A primeira parte será uma análise comparativa entre os resultados preditos pelo modelo de dispersão ISC3 e os valores medidos pela Estação Móvel da Cetesb localizada em Paulínia nos períodos de 04 de Junho a 13 de Agosto de 1998 e 31 de Julho a 12 de Novembro de 1999. A segunda parte será uma análise comparativa entre os resultados preditos pelo modelo de dispersão ISC3 para um ciclo sazonal completo e os padrões nacionais de qualidade do ar definidos através do Decreto Estadual nº8468/76 e da Resolução CONAMA nº 3, de 28/06/90.

Nesta seção, são discutidos os resultados da simulação de duas formas diferentes para cada poluente. Uma delas está na forma de médias das concentrações anuais. Ou seja, para cada receptor pré-definido com pontos na grade, são calculados as concentrações médias horárias e é tomada a média aritmética dos dados compreendidos dentro do período de 1 ano.

A outra forma de apresentação dos resultados é em termos de médias horárias, e neste caso, são apresentados os valores máximos para cada ponto na grade (receptor) no período de 1 ano avaliado.

Para o caso da comparação dos dados preditos pelo modelo com os dados medidos pela Cetesb em períodos menores que um ano, as médias anuais foram substituídas por médias aritmética do período.

4.1. Comparação entre os dados preditos pelo modelo de dispersão ISC3 com dados experimentais da Estação Móvel da Cetesb

Com o objetivo de avaliar e validar o modelo de dispersão ISC3 foi feita uma comparação entre o resultado deste modelo com os dados medidos pela estação móvel de monitorização da qualidade do ar da Cetesb localizada em Paulínia no período de 04 de Junho a 13 de Agosto para o ano de 1998 e de 31 de Julho a 12 de Novembro para o ano de 1999.

Para predição da qualidade do ar através do modelo ISC3, utilizou-se os dados meteorológicos reais do período especificado acima.

O local selecionado para a instalação da estação móvel foi o pátio do Centro Municipal de Ensino Profissionalizante de Paulínia, na Av. Brasil, nº 330 no bairro Vila Bressani cujas coordenadas globais são 279450 em X e 7480700 em Y.

A monitorização da qualidade do ar em Paulínia foi efetuada através de uma estação volante integrada à rede telemétrica da Cetesb. Para cada poluente avaliado, foi utilizado um equipamento automático específico, de acordo com a tabela 4.1.

Tabela 4.1: Poluentes e métodos de medições

Poluente	Método de Medição
Partículas Inaláveis(PI)	Absorção de radiação Beta
Dióxido de enxofre (SO ₂)	Fluorescência
Monóxido de Carbono (CO)	Infra-vermelho não-dispersivo
Dióxido de Nitrogênio (NO ₂)	Quimiluminescência
Ozônio (O ₃)	Fotométrico com radiação ultravioleta

Conforme descrito no capítulo anterior os poluentes estudados foram: material particulado, dióxido de enxofre e dióxido de nitrogênio.

As tabelas seguintes (4.2 e 4.3) apresentam as concentrações dos poluentes monitorados nos anos de 1998 e 1999, respectivamente.

Tabela 4.2: Concentrações diárias obtidas pela estação móvel da Cetesb no município de Paulínia no ano de 1998

Partículas Inaláveis		Dióxido de enxofre		Óxido de nitrogênio		
Data	Média diária ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Data	Média diária ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Data	Hora	Máxima Diária ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
04/06/1998	39	04/06/1998	4	05/06/1998	19:00	61
05/06/1998	40	05/06/1998	20	06/06/1998	19:00	63
06/06/1998	54	06/06/1998	34	10/06/1998	08:00	70
09/06/1998	73	09/06/1998	29	11/06/1998	01:00	78
10/06/1998	83	10/06/1998	33	12/06/1998	01:00	42
11/06/1998	85	11/06/1998	33	13/06/1998	18:00	27
12/06/1998	41	12/06/1998	7	14/06/1998	19:00	49
13/06/1998	32	13/06/1998	16	15/06/1998	24:00	87
14/06/1998	41	14/06/1998	12	16/06/1998	01:00	76
15/06/1998	62	15/06/1998	34	17/06/1998	23:00	52
16/06/1998	57	16/06/1998	22	18/06/1998	19:00	79
17/06/1998	55	17/06/1998	15	01/07/1998	19:00	84
18/06/1998	84	18/06/1998	39	02/07/1998	19:00	80
19/06/1998	35	19/06/1998	19	03/07/1998	11:00	63
27/06/1998	69	07/07/1998	52	04/07/1998	19:00	27
28/06/1998	76	08/07/1998	43	07/07/1998	23:00	152
29/06/1998	80	09/07/1998	26	08/07/1998	01:00	79
30/06/1998	78	10/07/1998	13	09/07/1998	01:00	40
01/07/1998	84	11/07/1998	15	10/07/1998	20:00	40
02/07/1998	103	12/07/1998	16	11/07/1998	08:00	23
03/07/1998	80	13/07/1998	25	12/07/1998	20:00	14
04/07/1998	55	14/07/1998	7	13/07/1998	20:00	35
07/07/1998	114	15/07/1998	15	14/07/1998	19:00	53
08/07/1998	100	16/07/1998	23	15/07/1998	20:00	81
09/07/1998	44	17/07/1998	35	16/07/1998	20:00	93
10/07/1998	24	18/07/1998	16	17/07/1998	19:00	83
11/07/1998	25	19/07/1998	7	18/07/1998	04:00	61
12/07/1998	24	20/07/1998	23	19/07/1998	20:00	45
13/07/1998	30	21/07/1998	13	20/07/1998	16:00	68
14/07/1998	44	22/07/1998	7	21/07/1998	23:00	75
15/07/1998	86	23/07/1998	9	22/07/1998	20:00	103
16/07/1998	108	24/07/1998	7	23/07/1998	20:00	93
17/07/1998	146	25/07/1998	10	24/07/1998	19:00	75
18/07/1998	104	30/07/1998	19	25/07/1998	21:00	104
19/07/1998	51	31/07/1998	26	30/07/1998	19:00	28
20/07/1998	70	01/08/1998	51	31/07/1998	19:00	88
21/07/1998	73	02/08/1998	47	01/08/1998	23:00	93
22/07/1998	90	03/08/1998	26	02/08/1998	24:00	91
23/07/1998	63	04/08/1998	33	03/08/1998	20:00	86
24/07/1998	72	05/08/1998	22	04/08/1998	21:00	57
25/07/1998	80	06/08/1998	20	05/08/1998	09:00	56
30/07/1998	46	07/08/1998	9	06/08/1998	19:00	60
31/07/1998	70	08/08/1998	9	07/08/1998	18:00	52
01/08/1998	84	09/08/1998	8	08/08/1998	19:00	40
02/08/1998	49	10/08/1998	4	09/08/1998	06:00	36
03/08/1998	60	11/08/1998	13	10/08/1998	20:00	57

Tabela 4.2: Concentrações diárias obtidas pela estação móvel da Cetesb no município de Paulínia no ano de 1998 (continuação)

Partículas Inaláveis		Dióxido de enxofre		Óxido de nitrogênio		
Data	Média diária ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Data	Média diária ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Data	Hora	Máxima Diária ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
04/08/1998	79	12/08/1998	25	11/08/1998	07:00	75
05/08/1998	54	13/08/1998	29	12/08/1998	02:00	115
06/08/1998	53			13/08/1998	19:00	106
07/08/1998	61					
08/08/1998	39					
09/08/1998	32					
10/08/1998	41					
11/08/1998	55					
12/08/1998	84					
13/08/1998	101					
Média	65	Média	21	Média das máx.		67
Máxima	146	Máxima	52	Máxima		152
Mínima	24	Mínima	4	Mínima		14

Tabela 4.3: Concentrações diárias obtidas pela estação móvel da Cetesb no município de Paulínia no ano de 1999

Partículas Inaláveis		Dióxido de enxofre	
Data	Média diária ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Data	Média diária ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
31/07/1999		31/07/1999	6
01/08/1999		01/08/1999	13
02/08/1999		02/08/1999	22
03/08/1999		03/08/1999	9
04/08/1999		04/08/1999	9
05/08/1999		05/08/1999	19
06/08/1999		06/08/1999	24
10/08/1999		10/08/1999	21
11/08/1999		11/08/1999	23
12/08/1999		12/08/1999	21
13/08/1999		13/08/1999	35
14/08/1999		14/08/1999	5
15/08/1999		15/08/1999	0
16/08/1999		16/08/1999	4
17/08/1999		17/08/1999	3
18/08/1999		18/08/1999	12
19/08/1999		19/08/1999	12
20/08/1999	178	20/08/1999	10
21/08/1999	167	21/08/1999	8
22/08/1999	248	22/08/1999	22
23/08/1999	184	23/08/1999	15
24/08/1999	106	24/08/1999	15
25/08/1999	118	25/08/1999	18
26/08/1999	145	26/08/1999	25
27/08/1999	164	27/08/1999	27
28/08/1999	124	28/08/1999	23
29/08/1999	200	29/08/1999	27
30/08/1999	214	30/08/1999	32
04/09/1999	166	04/09/1999	29
05/09/1999	141	05/09/1999	8
06/09/1999	149	06/09/1999	28
07/09/1999	125	07/09/1999	18
08/09/1999	176	08/09/1999	20
09/09/1999	45	09/09/1999	8
10/09/1999	27	10/09/1999	4
11/09/1999	28	11/09/1999	2
12/09/1999	26	12/09/1999	3
13/09/1999	52	13/09/1999	6
14/09/1999	69	14/09/1999	
15/09/1999	39	15/09/1999	
16/09/1999	45	16/09/1999	
17/09/1999	50	17/09/1999	7
18/09/1999	63	18/09/1999	21
19/09/1999	48	19/09/1999	9
20/09/1999	63	20/09/1999	9
21/09/1999	69	21/09/1999	14

Tabela 4.3: Concentrações diárias obtidas pela estação móvel da Cetesb no município de Paulínia no ano de 1999 (continuação)

Partículas Inaláveis		Dióxido de enxofre	
Data	Média diária ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Data	Média diária ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
22/09/1999	61	22/09/1999	3
23/09/1999	38	23/09/1999	2
24/09/1999	43	24/09/1999	6
25/09/1999	46	25/09/1999	20
26/09/1999	57	26/09/1999	15
27/09/1999	75	27/09/1999	12
28/09/1999	93	28/09/1999	33
29/09/1999	98	29/09/1999	21
30/09/1999	49	30/09/1999	6
01/10/1999	100	01/10/1999	22
02/10/1999	94	02/10/1999	14
03/10/1999	26	03/10/1999	1
04/10/1999	24	04/10/1999	2
05/10/1999	37	05/10/1999	11
06/10/1999	58	06/10/1999	16
07/10/1999	62	07/10/1999	19
08/10/1999	50	08/10/1999	8
09/10/1999	35	09/10/1999	6
10/10/1999	28	10/10/1999	5
11/10/1999	40	11/10/1999	9
12/10/1999	50	12/10/1999	6
13/10/1999	74	13/10/1999	13
14/10/1999	105	14/10/1999	34
15/10/1999	135	15/10/1999	16
16/10/1999	123	16/10/1999	17
17/10/1999	63	17/10/1999	14
18/10/1999	61	18/10/1999	6
19/10/1999	40	19/10/1999	
20/10/1999	39	20/10/1999	
21/10/1999	65	21/10/1999	13
22/10/1999	47	22/10/1999	6
23/10/1999	36	23/10/1999	8
24/10/1999	37	24/10/1999	7
25/10/1999	44	25/10/1999	8
26/10/1999	40	26/10/1999	11
27/10/1999	37	27/10/1999	26
28/10/1999	45	28/10/1999	25
29/10/1999	52	29/10/1999	20
30/10/1999	49	30/10/1999	11
31/10/1999	33	31/10/1999	8
01/11/1999	34	01/11/1999	7
02/11/1999	41	02/11/1999	11
03/11/1999	77	03/11/1999	16
04/11/1999	66	04/11/1999	12
05/11/1999	42	05/11/1999	6
06/11/1999	34	06/11/1999	4
07/11/1999	51	07/11/1999	16

Tabela 4.3: Concentrações diárias obtidas pela estação móvel da Cetesb no município de Paulínia no ano de 1999 (continuação)

Partículas Inaláveis		Dióxido de enxofre	
Data	Média diária ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Data	Média diária ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
07/11/1999	51	07/11/1999	16
08/11/1999		08/11/1999	23
09/11/1999		09/11/1999	35
10/11/1999	22	10/11/1999	30
11/11/1999	30	11/11/1999	37
12/11/1999	28	12/11/1999	
Média	72	Média	14
Máxima	248	Máxima	37
Mínima	21	Mínima	0

a. Material particulado:

A tabela 4.4 apresenta os valores da concentração máxima diária e média da concentração anual de partículas inaláveis obtidas pelo modelo ISC3 e estação móvel da Cetesb.

Tabela 4.4: Resultados comparativos entre o modelo ISC3 e a estação móvel da Cetesb para o material particulado ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nas coordenadas globais 279450 em X e 7480700 em Y

Material Particulado	Resultado predito pelo modelo ISC3 para o período de 1998	Resultado medido pela estação da Cetesb para o período de 1998	Resultado predito pelo modelo ISC3 para o período de 1999	Resultado medido pela estação da Cetesb para o período de 1999
Máxima concentração da média diária	5,09	146	2,25	248
Concentração média do período	2,18	65	1,05	72

A comparação entre os resultados preditos pelo modelo e os dados obtidos pela monitorização para material particulado deve ser realizado com

cautela. Em primeiro lugar porque o inventário de emissões não contempla a especificação das partículas em termos de tamanhos, ou seja, considera as partículas totais. A monitorização ambiental em questão mede as partículas inaláveis, ou seja, abaixo de 10 μm , denominada PM10. Em segundo lugar, o inventário de emissões de material particulado realizado considerou apenas as fontes industriais, não contabilizando portanto, a ressuspensão de partículas devido à ação dos ventos e à atividades antrópicas e nem as emissões veiculares.

De acordo com o esperado, os resultados obtidos pelo modelo estão bem abaixo dos resultados medidos pela estação móvel da Cetesb, tanto para a concentração máxima diária e média do período de medição em 1998 (Figuras 4.1 e 4.2) quanto para a concentração máxima diária e média do período de medição em 1999 (Figuras 4.3 e 4.4).

A importância dos resultados obtidos para material particulado está no aspecto qualitativo principalmente no que se refere à identificação das áreas mais afetadas pela poluição de origem industrial, como pode ser observado nas figuras 4.1 a 4.4. Na seção 4.2 serão estudadas as áreas mais afetadas baseado nos resultados do modelo para um ciclo anual completo.

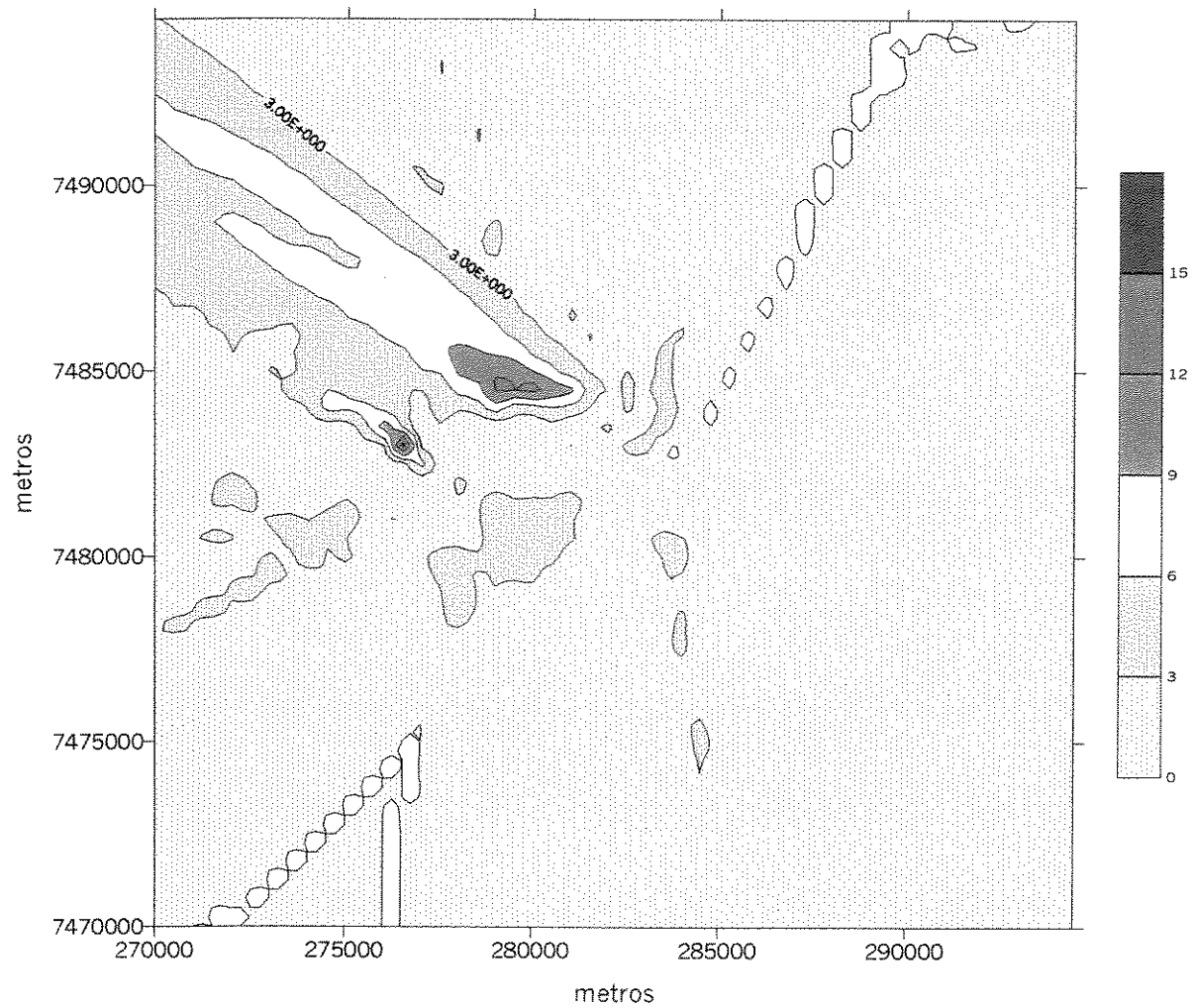


Figura 4.1: Valores máximos das concentrações médias diárias de material particulado no período médio de 4 de Junho a 13 de Agosto de 1998 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

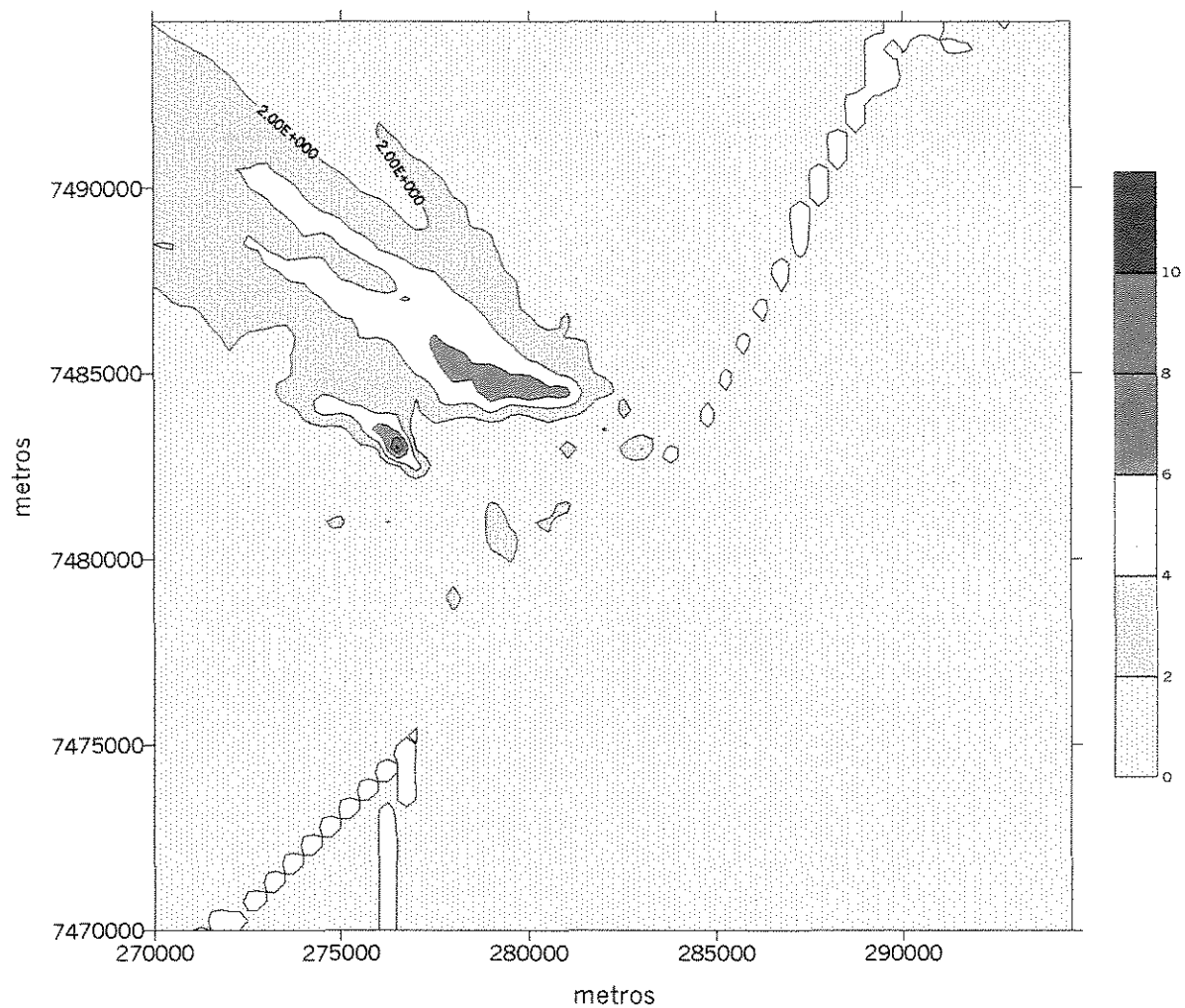


Figura 4.2: Concentrações médias diárias de material particulado no período de 4 de Junho a 13 de Agosto de 1998 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

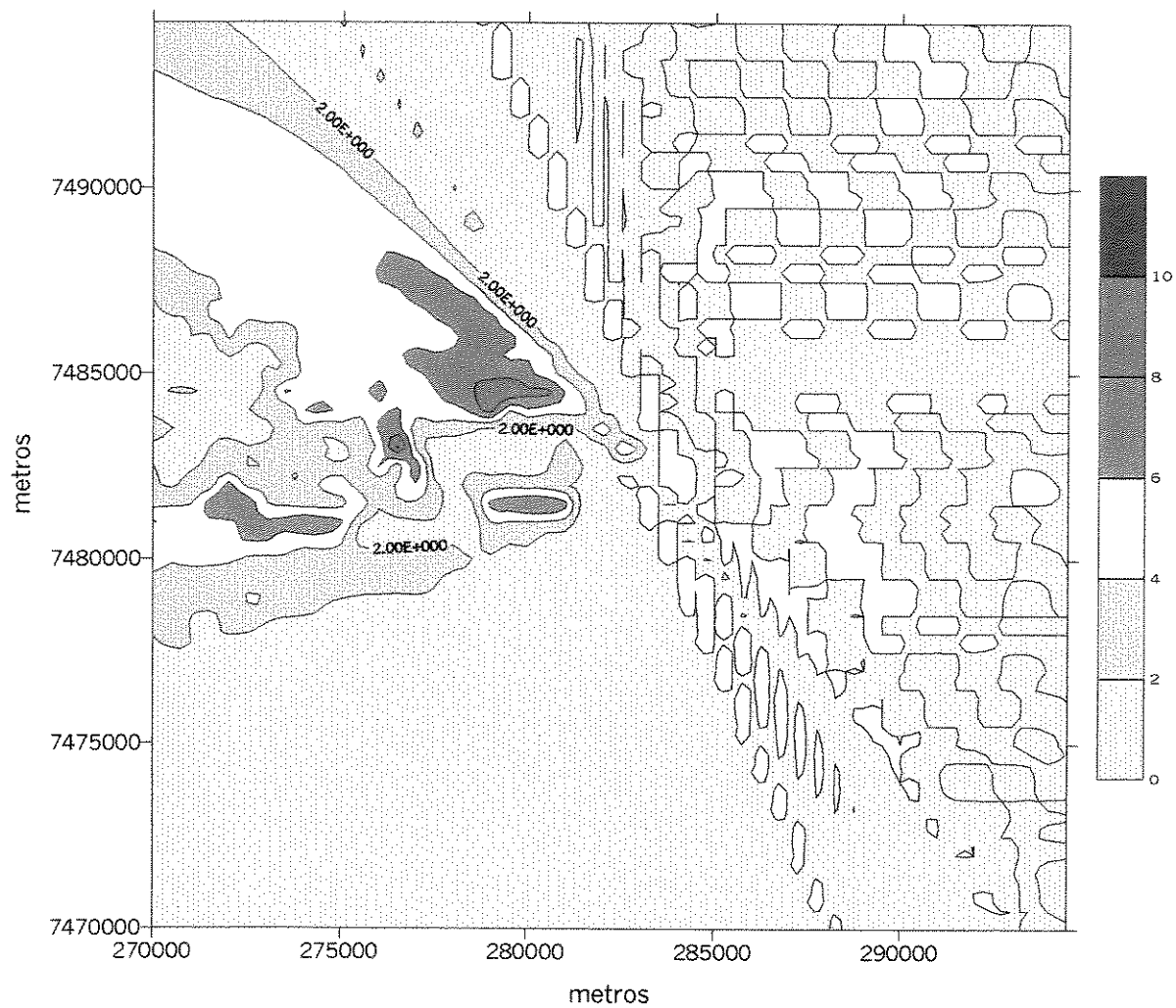


Figura 4.3: Valores máximos das concentrações médias diárias de material particulado no período de 31 de Julho a 12 de Novembro de 1999 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

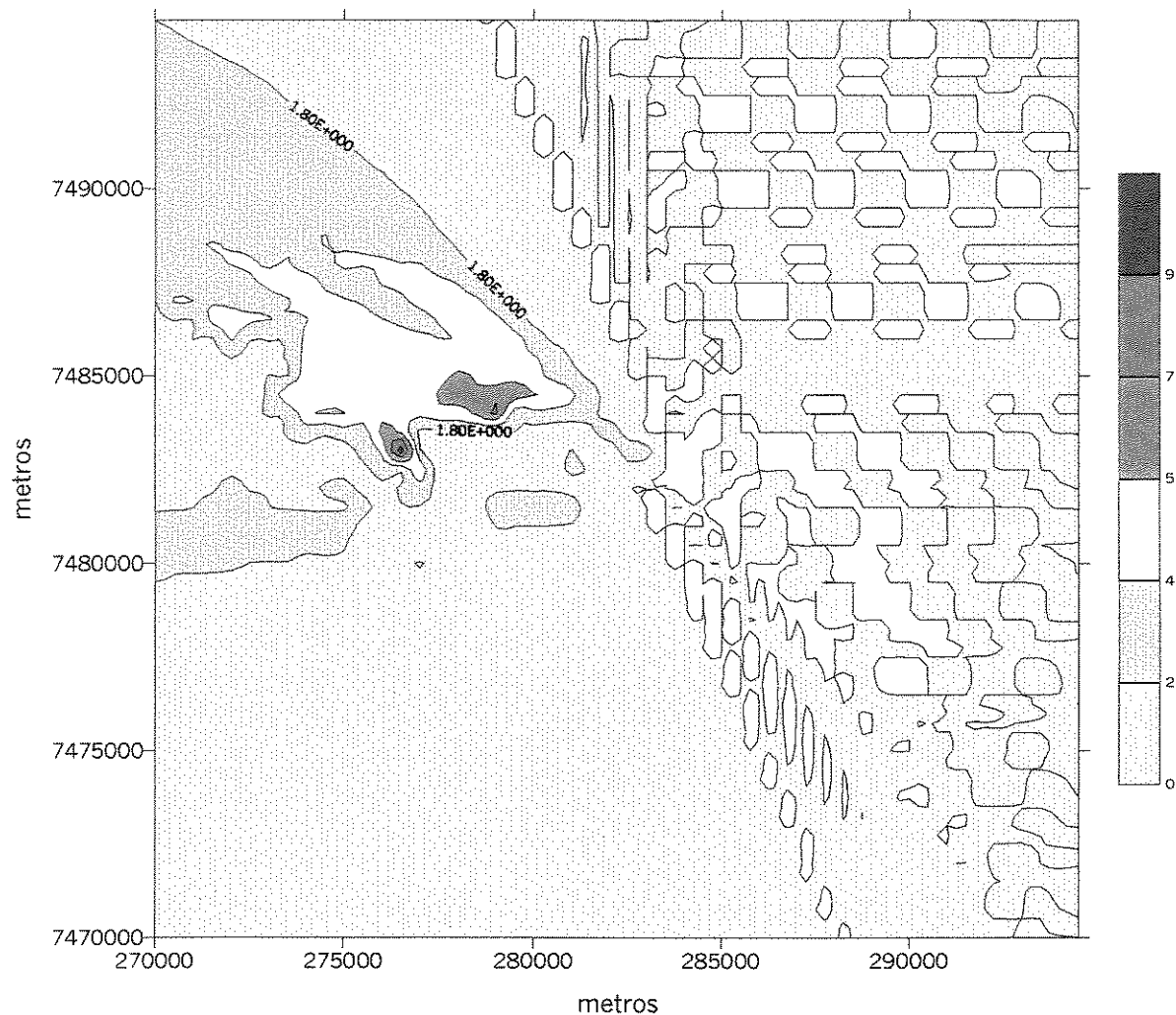


Figura 4.4: Concentrações médias diárias de material particulado no período de 31 de Julho a 12 de Novembro de 1999 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

b. Dióxido de enxofre

A tabela 4.5 apresenta a comparação entre os valores da máxima concentração média diária e concentração média de dióxido de enxofre no período de 4 de Junho a 13 Agosto de 1998 e de 31 de Julho a 12 de Novembro de 1999 nas coordenadas globais 279450 em X e 7480700 em Y e os valores medidos pela estação móvel da Cetesb no mesmo período.

Tabela 4.5: Resultados comparativos entre concentrações preditas de dióxido de enxofre e concentrações medidas pela Cetesb ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), nas coordenadas geográficas 279450 em X e 7480700 em Y.

Dióxido de enxofre	Resultado predito pelo modelo ISC3 para o período de 1998	Resultado medido pela estação da Cetesb para o período de 1998	Resultado predito pelo modelo ISC3 para o período de 1999	Resultado medido pela estação da Cetesb para o período de 1999
Máxima concentração da média diária	78,20	52	30,88	37
Concentração média do período	37,43	21	15,84	14

Os resultados obtidos pelo modelo ISC3 para os valores máximos das concentrações médias diárias são maiores do que os valores medidos pela Cetesb tanto para o período de medição em 1998 (Figura 4.5) e menores para o período de medição em 1999 (Figura 4.7) no ponto geográfico em questão. Já o resultado obtido pelo modelo ISC3 para a concentração média do período de 1998 (Figura 4.6) é um pouco maior do que a concentração medida pela Cetesb. Para o período de 1999 (Figura 4.8) estes valores são próximos e de um modo geral, o modelo responde muito bem às condições da região dando resultados satisfatórios.

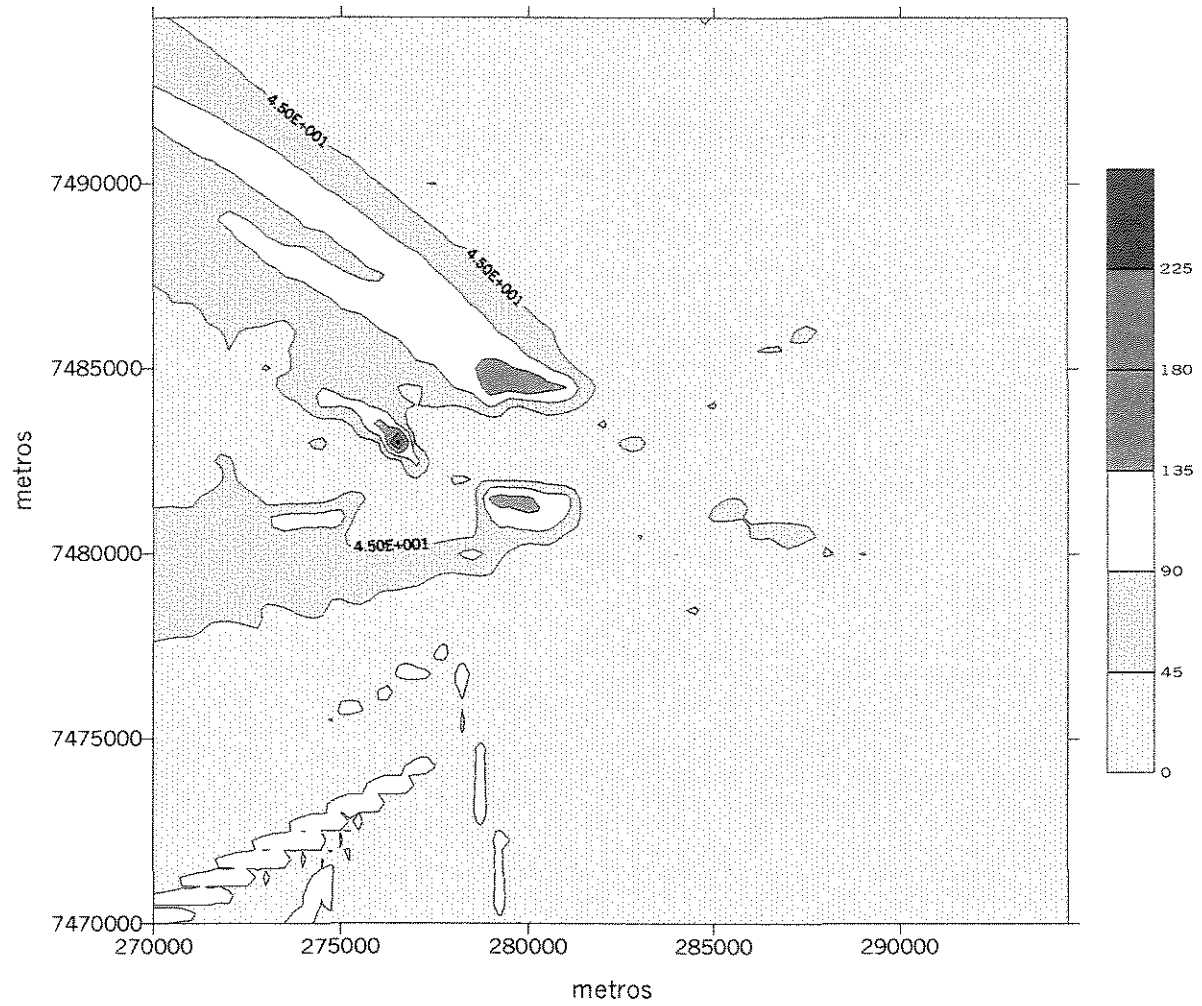


Figura 4.5: Valores máximos das concentrações médias diárias de dióxido de enxofre no período de 4 de Junho a 13 Agosto de 1998 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

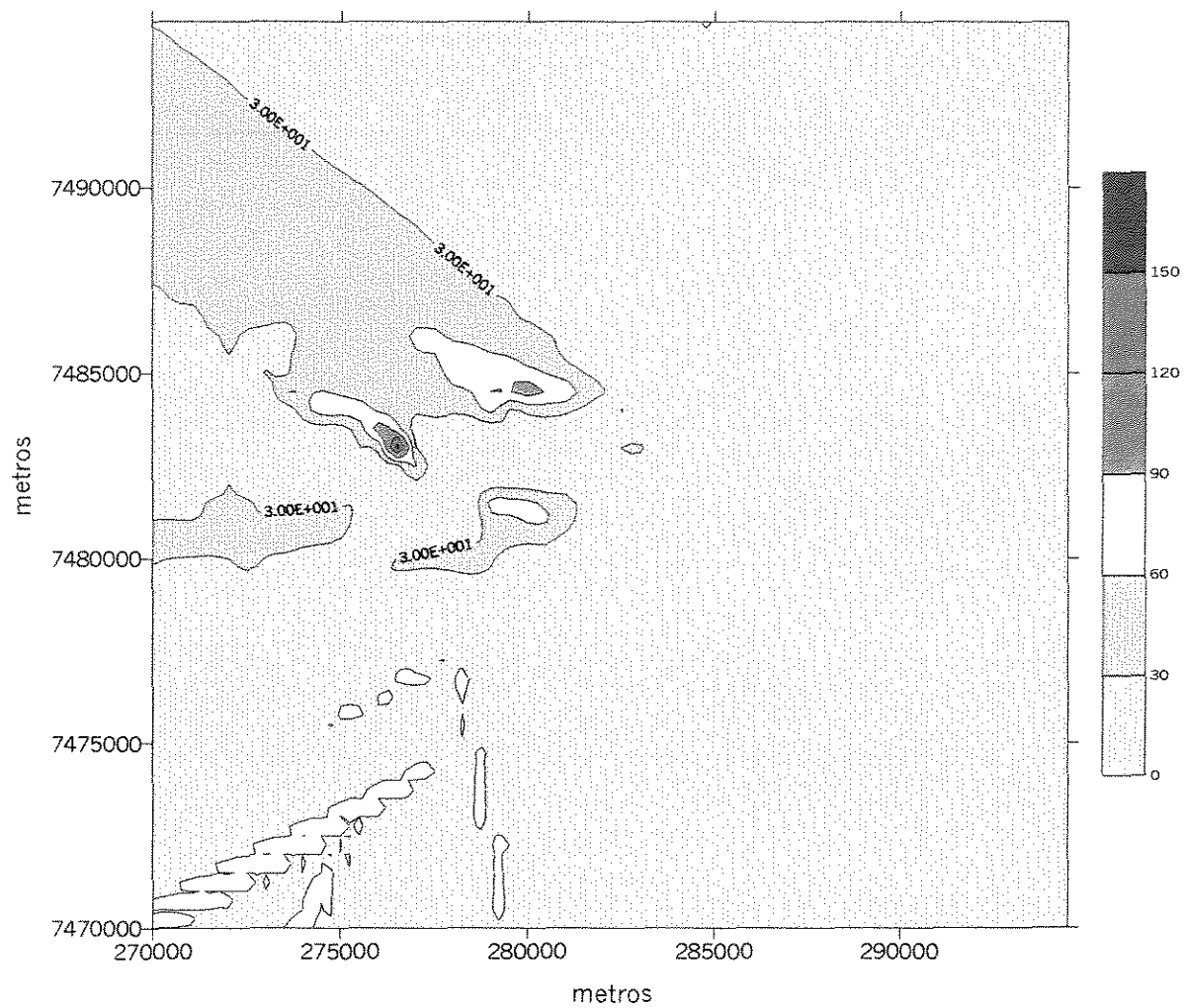


Figura 4.6: Concentrações médias diárias de dióxido de enxofre no período de 4 de Junho a 13 Agosto de 1998 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

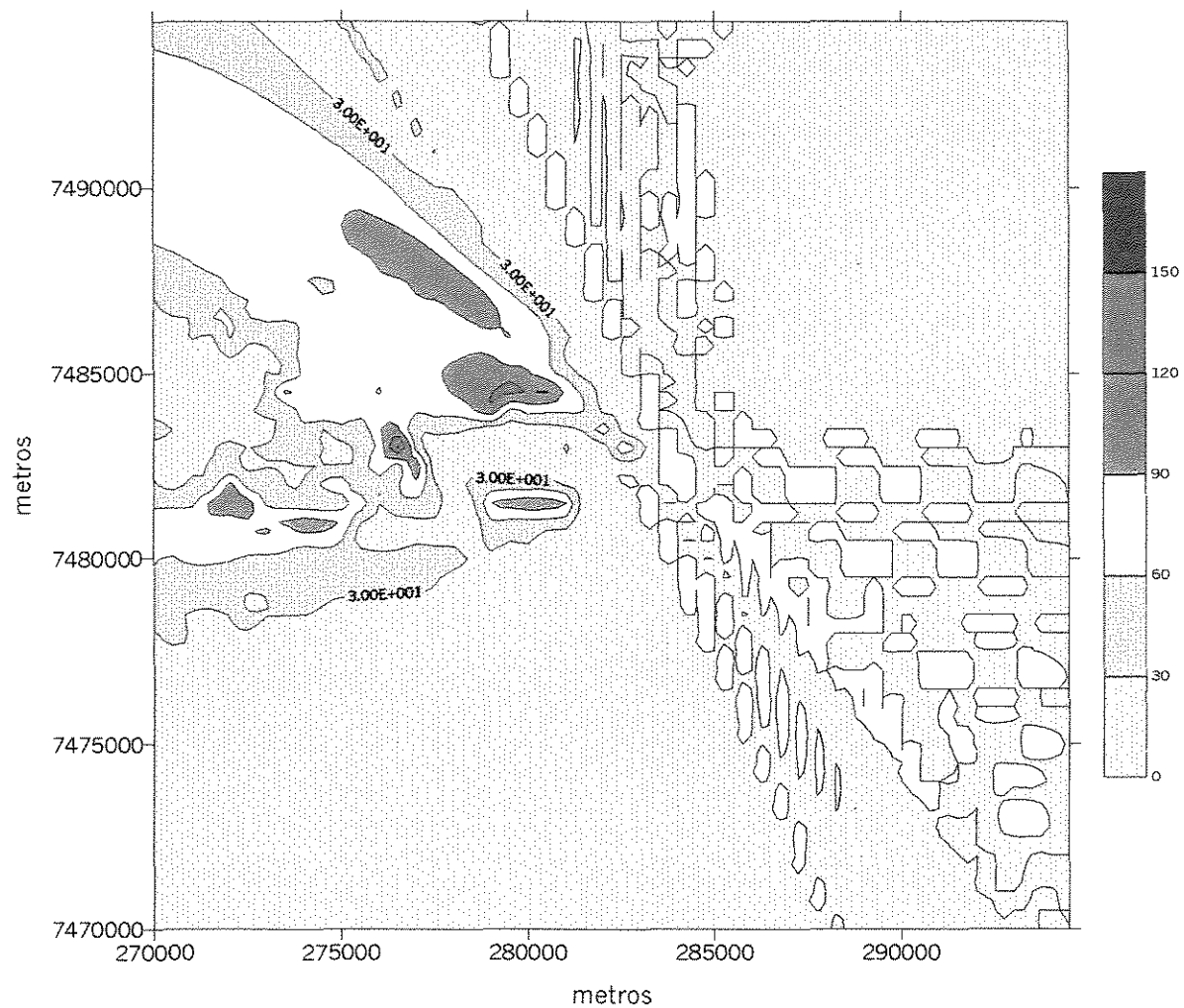


Figura 4.7: Valores máximos das concentrações médias diárias de dióxido de enxofre no período de 31 de Julho a 12 de Novembro de 1999 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

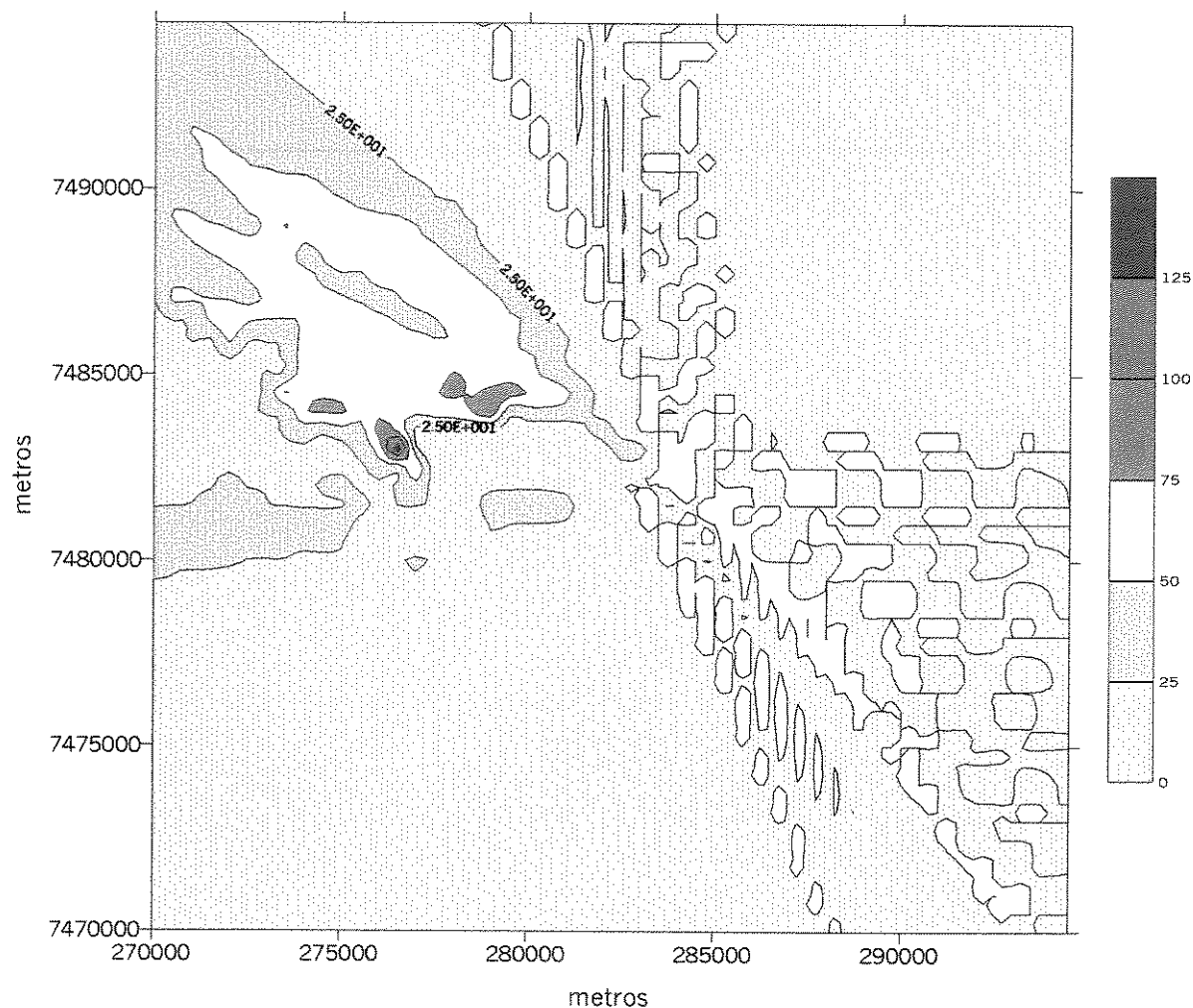


Figura 4.8: Concentrações médias diárias de dióxido de enxofre no período de 31 de Julho a 12 de Novembro de 1999 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

c. Dióxido de nitrogênio

A tabela 4.6 apresenta os valores das máximas concentrações médias horárias do dióxido de nitrogênio para o período de 4 de Junho a 13 Agosto de 1998. No ano de 1999 o monitor de dióxido de nitrogênio da Estação Volante da Cetesb estava com problemas técnicos, por isto este poluente não foi monitorado.

Tabela 4.6: Resultados comparativos entre concentrações preditas de dióxido de nitrogênio e concentrações medidas pela estação móvel da Cetesb ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nas coordenadas globais 279450 em X e 7480700 em Y

Óxido de nitrogênio	Resultado predito pelo modelo ISC3 para o período de 1998	Resultado medido pela estação da Cetesb para o período de 1998
Máxima concentração da média horária	1032,54	152
Concentração média do período	46,54	67

Os resultados obtidos pelo modelo ISC3 para os valores máximos das concentrações médias horárias (Figura 4.9) são bem maiores do que os valores medidos pela Cetesb no período de 4 de Junho a 13 de Agosto de 1998. Esta diferença é compreensível uma vez que o modelo tem tendência a ser conservador e baseado na expectativa prévia da dificuldade de predição com precisão de valores máximos num ponto, além disso os valores das taxas de emissões para os óxidos de nitrogênio foram obtidas por fator de emissão e pode estar superestimado, uma vez que foram desenvolvidos no Hemisfério Norte.

Já os resultados obtidos pelo modelo ISC3 para as concentrações médias do período de 4 de Junho a 13 de Agosto de 1998 (Figura 4.10) são menores que os valores de concentração medidos pela Cetesb. Isto quer dizer que não são apenas as fontes industriais que contribuem com a poluição de dióxido de nitrogênio no município de Paulínia, mas também as fontes móveis com a queima de combustível automotivo, bem como, provável influência das regiões urbanas e industriais de Campinas e Americana.

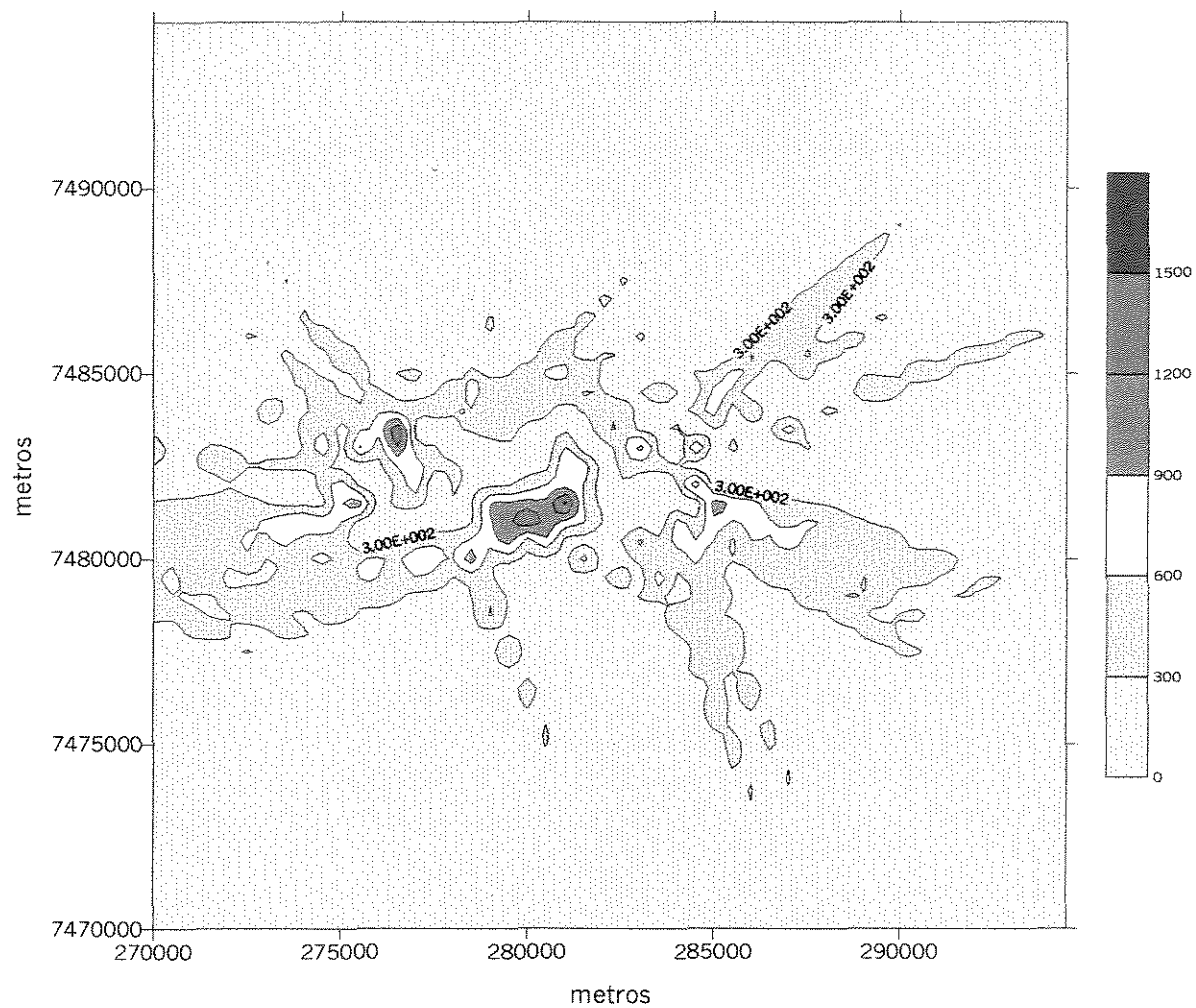


Figura 4.9: Valores máximos das concentrações médias horárias de dióxido de nitrogênio no período de 04 de Junho a 13 de Agosto de 1998 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

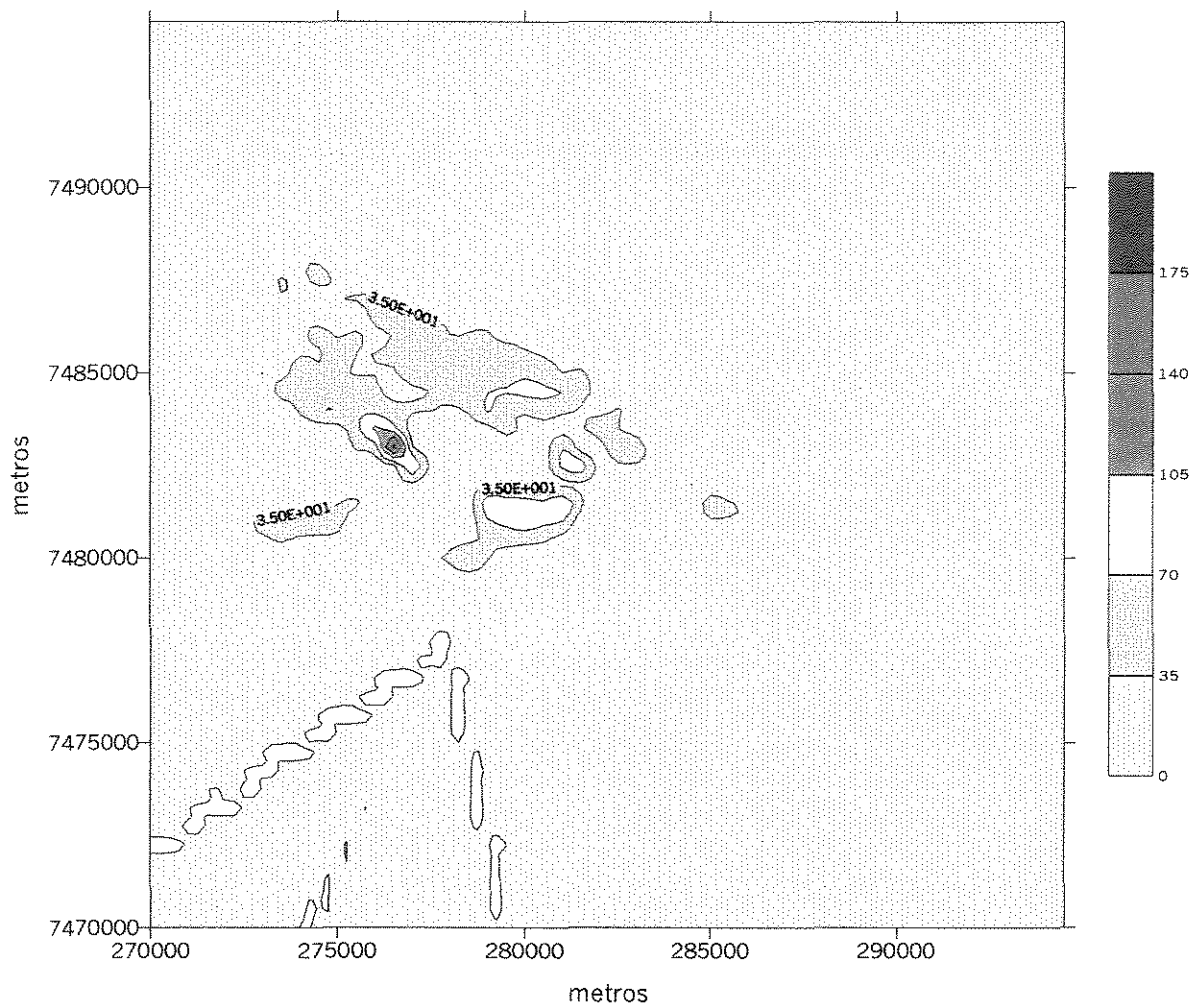


Figura 4.10: Concentrações médias horárias de dióxido de nitrogênio no período de 04 de Junho a 13 de Agosto de 1998 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

De acordo com os resultados mostrados acima, comparando-se os valores preditos pelo modelo de dispersão ISC3 com os valores medidos pela estação móvel da Cetesb obtém-se um desempenho positivo, mostrando que o modelo ISC3 realmente funciona como ferramenta de previsão de impacto ambiental e consegue responder às características das fontes e às condições meteorológicas levadas em considerações.

4.2. Avaliação da qualidade do ar no município de Paulínia empregando modelo matemático de dispersão de poluentes na atmosfera.

O objetivo desta seção é avaliar criticamente os resultados obtidos pelo modelo ISC3 para os diversos poluentes, abordando os seguintes aspectos:

- Distribuição dos poluentes na área geográfica de influência das fontes industriais de Paulínia;
- Análise das áreas mais atingidas em termos de médias anuais e máximas médias de curto período;
- Avaliação dos dados de qualidade com base nos Padrões Nacionais de Qualidade do ar, definido pela Resolução CONAMA nº 03 de 28/06/90.

Para analisar as áreas atingidas pela poluição do ar é necessário comparar a figura 3.1 do uso e ocupação do solo do município de Paulínia com as figuras das curvas de isoconcentração que estão com as mesmas coordenadas globais e ainda observar a direção predominante do vento. Desta forma será possível identificar e discutir as áreas e a população mais atingida.

Os bancos de dados meteorológicos para os anos de 1997, 1998 e 1999, mostram através das rosas dos ventos (Figuras 3.3, 3.4 e 3.5) que a direção predominante do vento no município de Paulínia é a sudeste.

Os poluentes estudados neste trabalho foram o óxido de nitrogênio, dióxido de enxofre e material particulado serão analisados de acordo com os Padrões Nacionais de Qualidade do Ar, apresentados na tabela 2.1 (Capítulo 2).

O poluente hidrocarboneto não está incluído nos Padrões Nacionais de Qualidade do Ar, mas será analisado em termos de médias horárias e médias anuais.

- Partículas totais em suspensão (PST)

Neste item, serão analisados os resultados da simulação da dispersão de partículas totais em suspensão de duas formas diferentes compatíveis com o padrão de qualidade ambiental, ou seja, em termos de médias diárias e médias anuais.

Máximas concentrações médias diárias:

Os padrões primário e secundário para partículas totais em suspensão em termos de concentração diária é 240 e 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente, de acordo com a tabela 2.1 (Capítulo 2).

A figura 4.11 apresenta os valores máximos das concentrações das médias diárias das partículas totais em suspensão para o ano de 1999. Observa-se nesta figura que a concentração máxima de partículas totais em suspensão não ultrapassa 38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, e portanto abaixo dos padrões primários e secundários de qualidade do ar.

Entretanto, estes resultados têm de ser analisado com cautela uma vez que não estão sendo considerados as emissões de partículas totais em suspensão provenientes de fontes móveis que queimam combustíveis automotores e da ressuspensão de partículas devido à atividade antrópica que são responsáveis pelo aumento da concentração das partículas totais em suspensão na atmosfera, principalmente na época de estiagem.

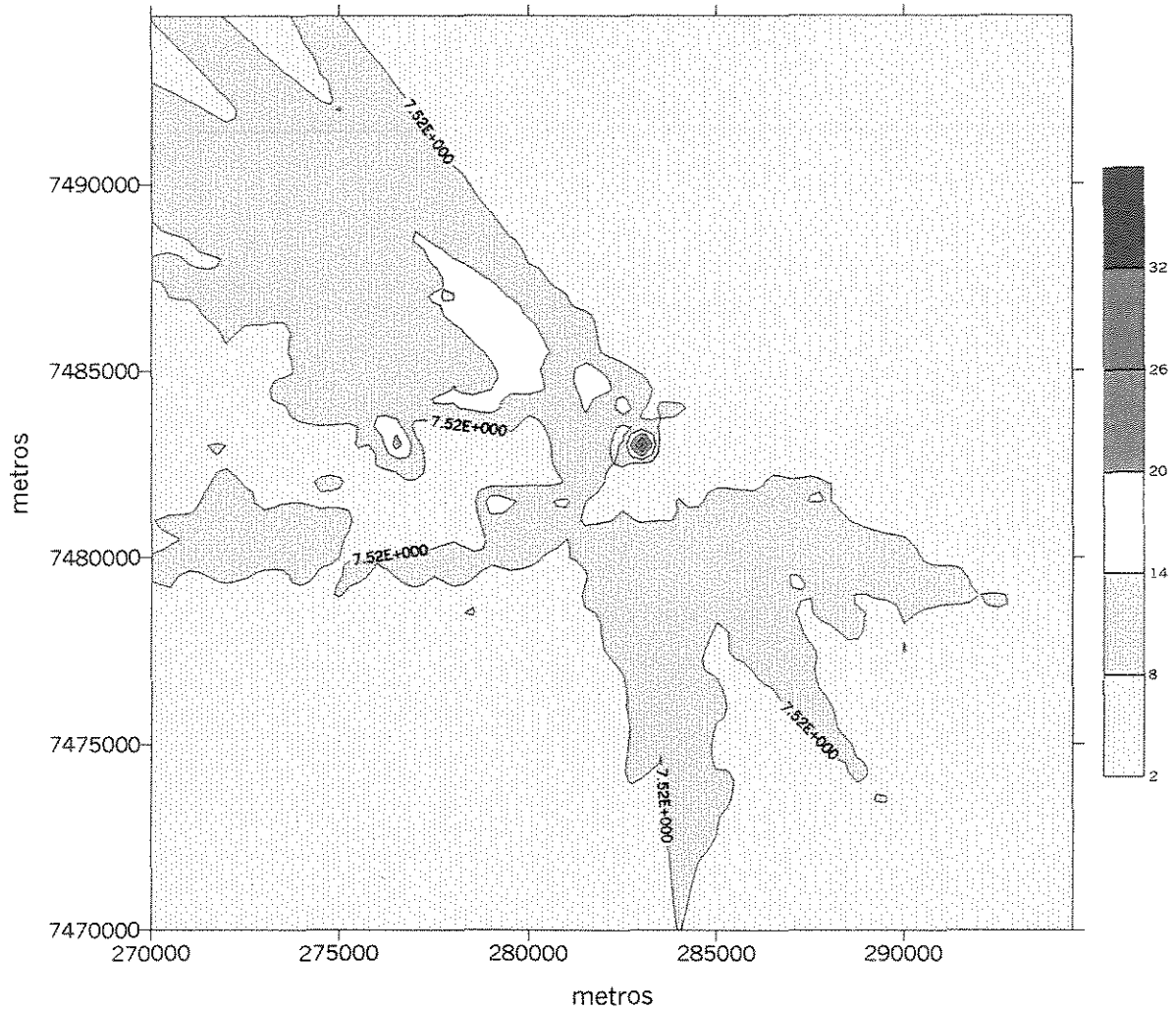


Figura 4.11: Valores máximos das concentrações das médias diárias de partículas totais em suspensão para o ano de 1999 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Ao comparar a figura 3.2 (Capítulo 3) com a figura 4.11 observa-se que a região mais atingida é a que engloba a área D, com concentrações máximas médias diárias de partículas totais em suspensão entre 26 e $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (cor verde). A segunda região mais atingida é a que compreende a área A, com concentrações entre 20 e $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (cor azul).

As figuras 4.12 e 4.13, apresentam as máximas concentrações médias diárias de partículas totais em suspensão para os anos de 1998 e 1997, respectivamente. A concentração de partículas totais em suspensão no ano de 1998 é de no máximo de $25,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e as regiões mais atingidas pela poluição são

a A e a D. Enquanto que em 1997 a concentração máxima de partículas totais é $31 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e as regiões atingidas são a A e a B.

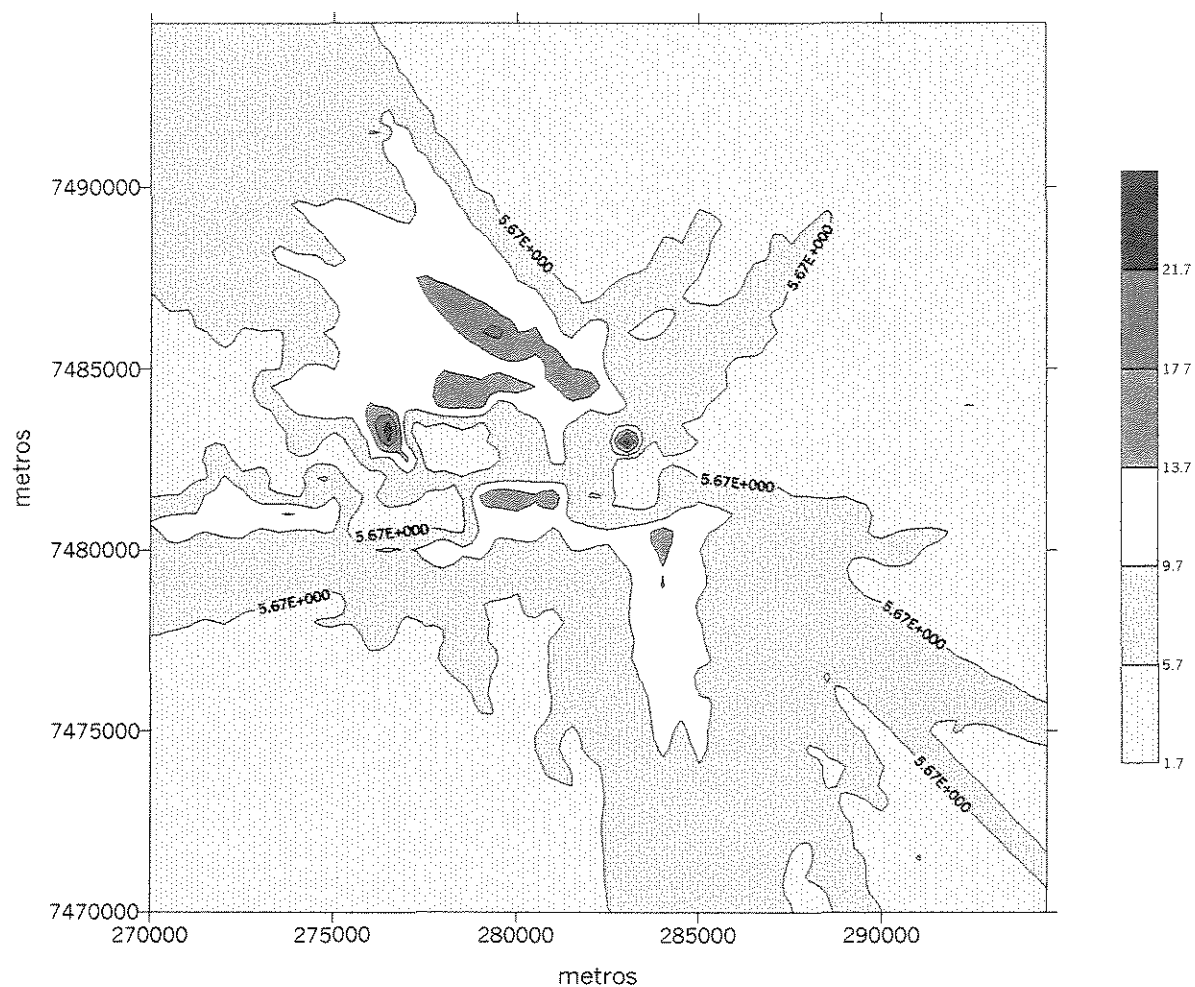


Figura 4.12: Valores máximos das concentrações das médias diárias de partículas totais em suspensão para o ano de 1998 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

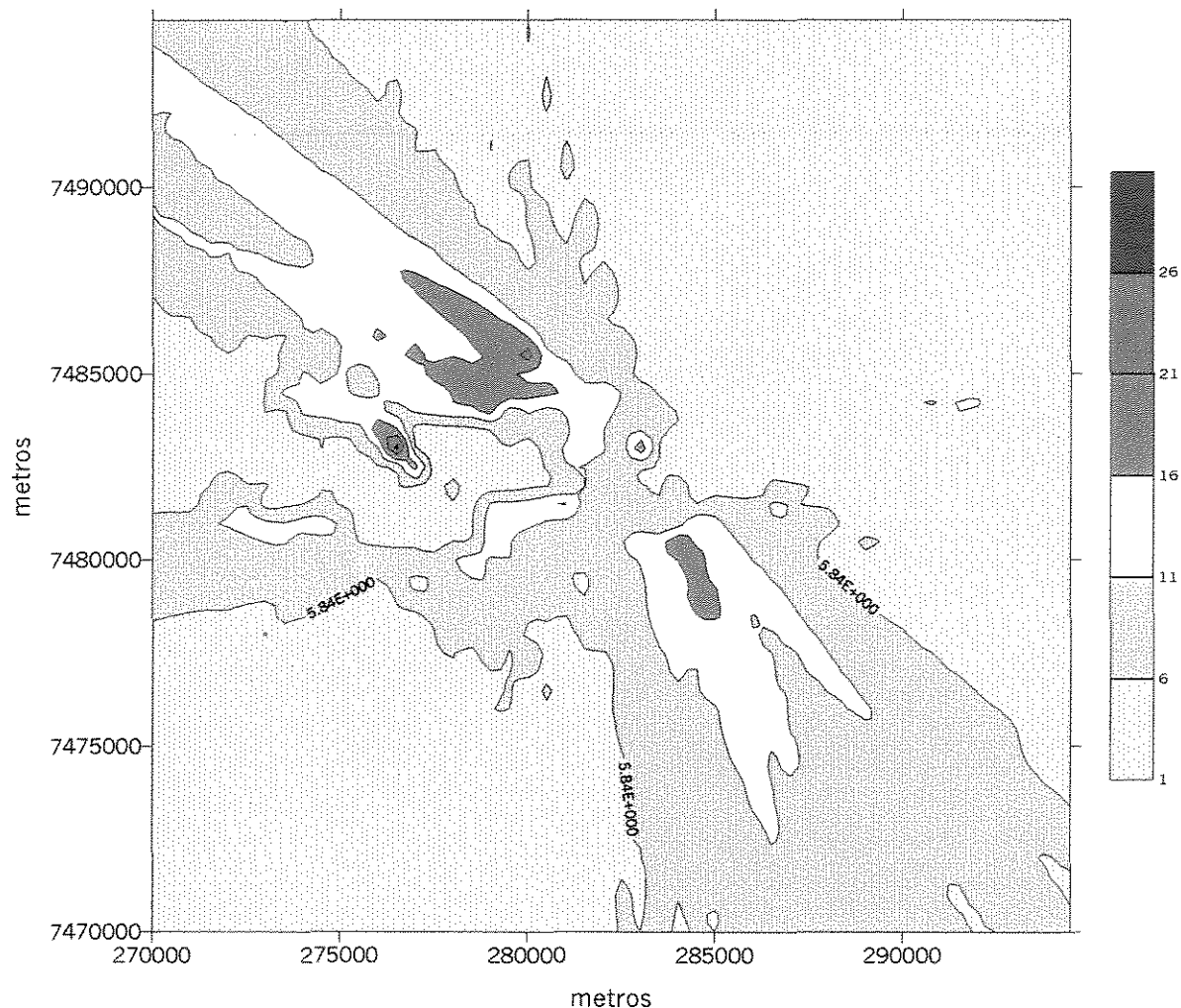


Figura 4.13: Valores máximos das concentrações das médias diárias de partículas totais em suspensão para o ano de 1997 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Concentrações médias anuais:

Para a avaliação das concentrações médias anuais de partículas totais em suspensão foram realizadas simulações empregando o algoritmo do ISCST3 para os anos de 1999, 1998 e 1997, cujos resultados podem ser observados nas figuras 4.14 e 4.15, respectivamente.

Observa-se que para o ano de 1999 a concentração máxima de partículas totais em suspensão não ultrapassa $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$, e portanto abaixo dos padrões

primários e secundários de qualidade do ar, estabelecido pela Resolução CONAMA nº3/86 com limite de 80 e 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente.

Como já foi discutido anteriormente, esta concentração se refere apenas às emissões de fontes industriais, não sendo considerados as emissões difusas como ressuspensão de partículas e fontes móveis devido a queima de combustível automotores.

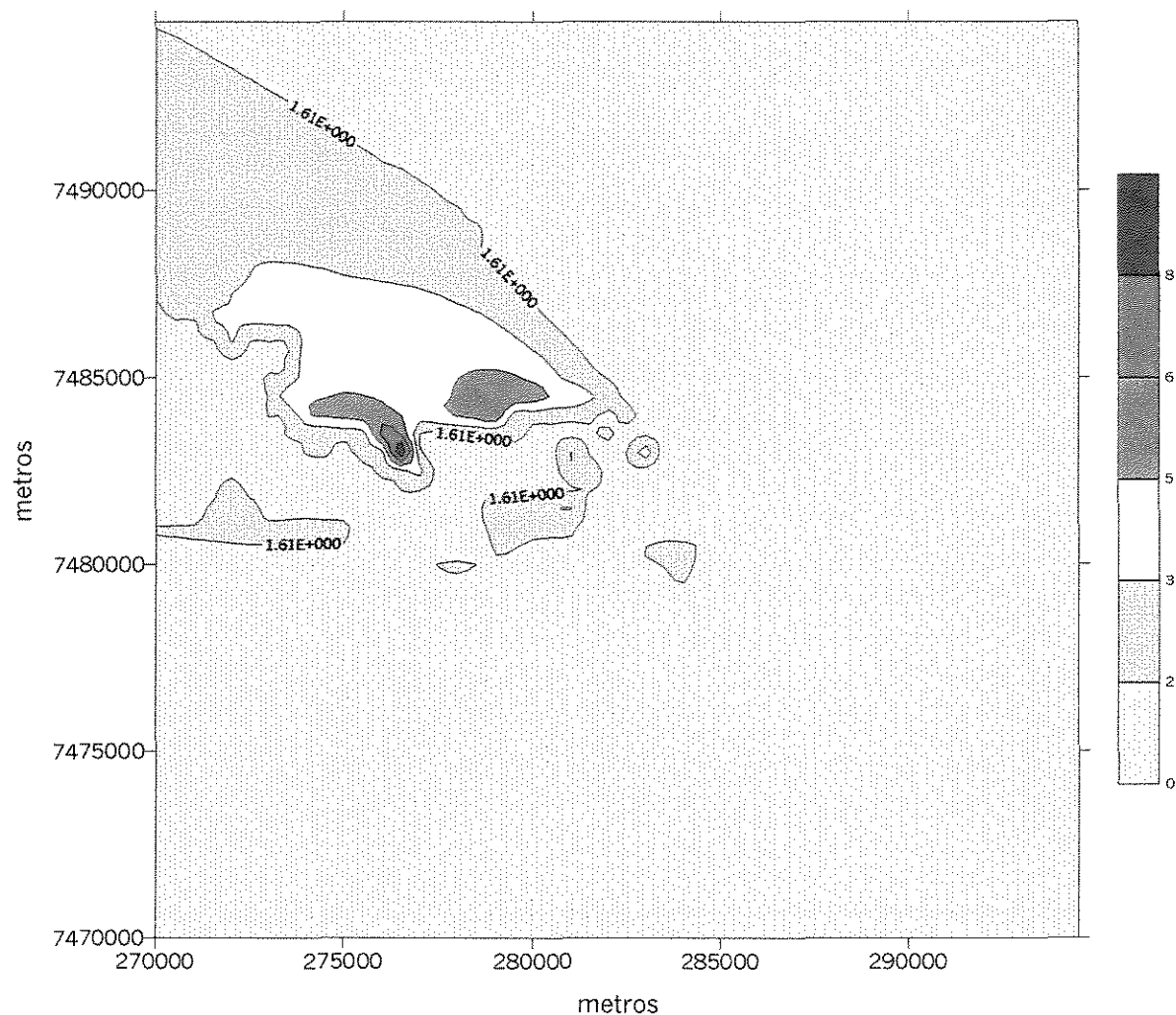


Figura 4.14: Concentrações médias anuais de partículas totais em suspensão em 1999 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Ao comparar a figura 3.2 (Capítulo 3) com a figura 4.14 observa-se que a região mais atingida é a que engloba a área A, com concentrações médias anuais de partículas totais em suspensão entre 6 e 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (cores verde e azul).

A figura 4.15 (a) e (b) apresenta as concentrações médias anuais de partículas totais em suspensão em 1998 e 1997.

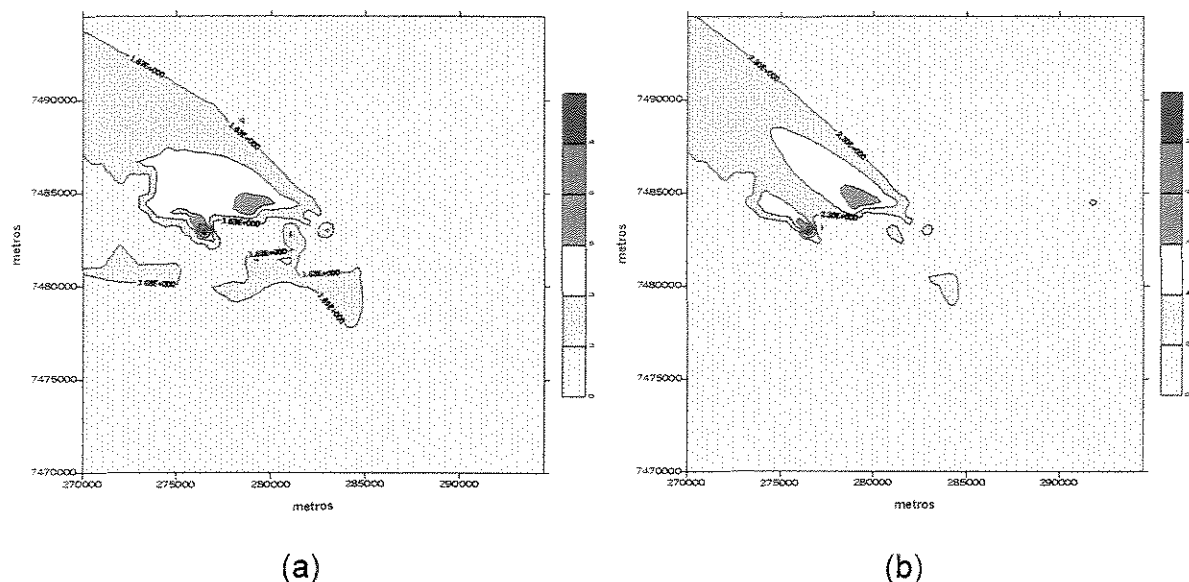


Figura 4.15: Concentrações das médias anuais de partículas totais em suspensão em 1998 (a) e 1997 (b) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

De acordo com as figuras acima, vemos que as regiões mais atingidas nos anos de 1998 e 1997 foram as regiões A e B, parecido com o que acontece para o ano de 1999, só que em concentrações um pouco maiores. Verifica-se com isto que a tendência de dispersão das partículas totais em suspensão segue a direção predominante de vento (sudeste) e a concentração não ultrapassa o limite de padrões primários e secundários.

- Óxidos de Nitrogênio

Da mesma forma como foi feito para o poluente material particulado, este item foi subdividido em duas partes, compatíveis com os padrões de qualidade do ar conforme a Resolução CONAMA nº 3 de 28.06.90, com tempo de amostragem de 1 hora e 1 ano, analisando desta forma, as máximas concentrações das médias horárias e as concentrações médias anuais para os anos de 1999, 1998 e 1997.

Máximas concentrações médias horárias

De acordo com a Resolução CONAMA nº03 de 28.06.90, os padrões de qualidade do ar em termos de concentrações médias horárias para o dióxido de nitrogênio é $320 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para o padrão primário e $190 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para o padrão secundário.

A figura 4.16 representa os valores máximos das concentrações das médias horárias dos óxidos de nitrogênio para o ano de 1999.

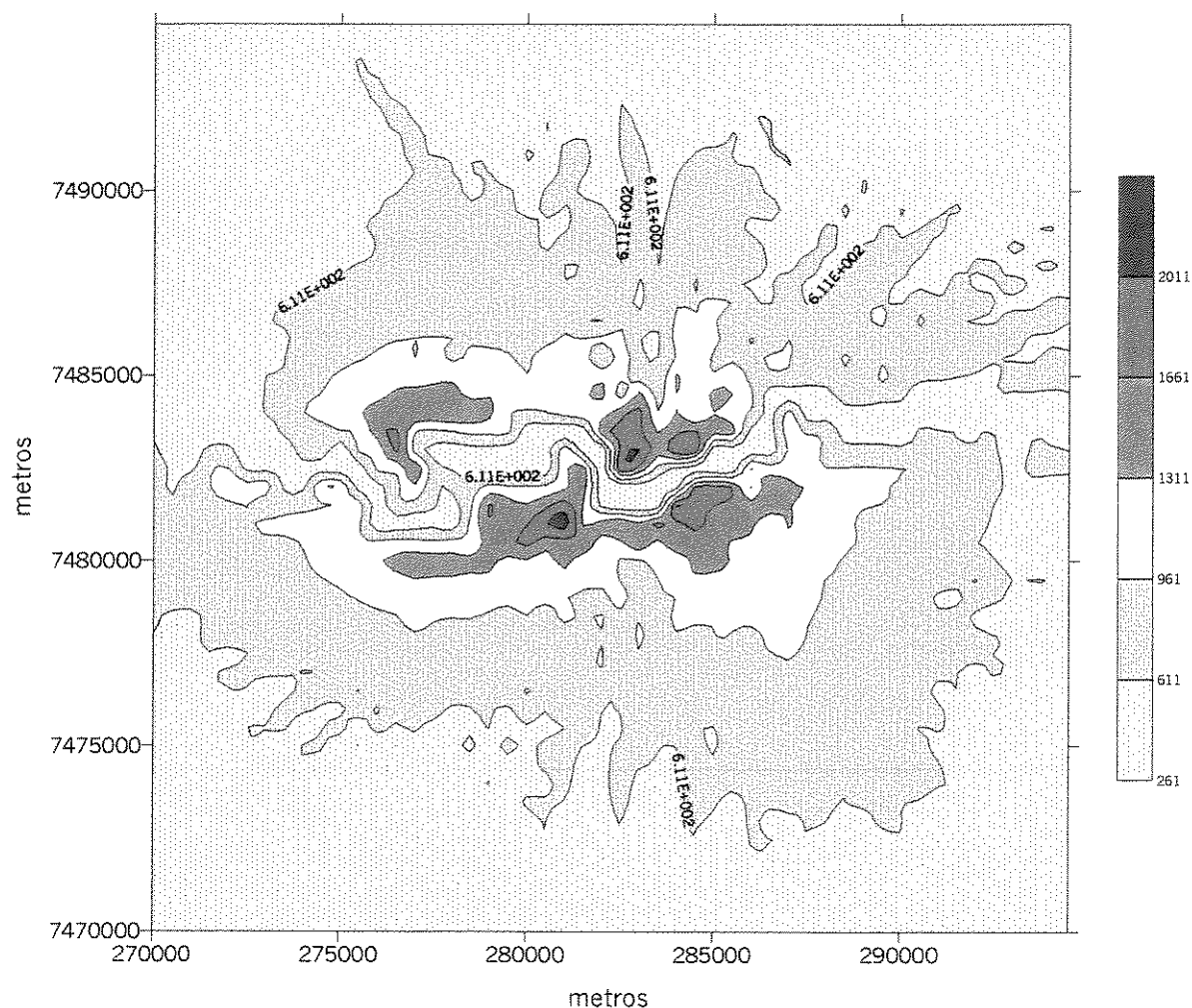


Figura 4.16: Valores máximos das concentrações das médias horárias dos óxidos de nitrogênio para o ano de 1999 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

De acordo com a figura 4.16, observa-se que ocorrem valores máximos de concentração média horária acima do padrão primário de qualidade do ar em

grande parte dos receptores na área objeto de estudo, atingindo valores de até $2361 \mu\text{g}/\text{m}^3$. As curvas contidas na figura 4.16 representam as curvas de níveis dos valores máximos de concentração média horária. Ou seja, os valores das concentrações observados nessa figura representam os valores máximos de concentração ocorridos no período para cada ponto da grade de receptores.

Ao comparar a figura 3.2 (Capítulo 3) com esta figura podemos observar que em termos de concentrações médias horárias a região mais atingida com concentrações de óxidos de nitrogênio entre 2011 e $2361 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (cor vermelha) é a região C e E, seguida pelas regiões B e D (cor verde) com concentrações entre 1661 e $2011 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

As figuras 4.17 e 4.18 representam os valores máximos das concentrações médias horárias dos óxidos de nitrogênio para o ano de 1998 e 1997, respectivamente. Fazendo-se uma comparação com a figura 4.16, referente ao ano de 1999, observa-se que não há diferenças significativas na distribuição dos poluentes no município de Paulínia, ou seja, as regiões mais afetadas são as regiões C e E, incluindo a região D para o ano 1997.

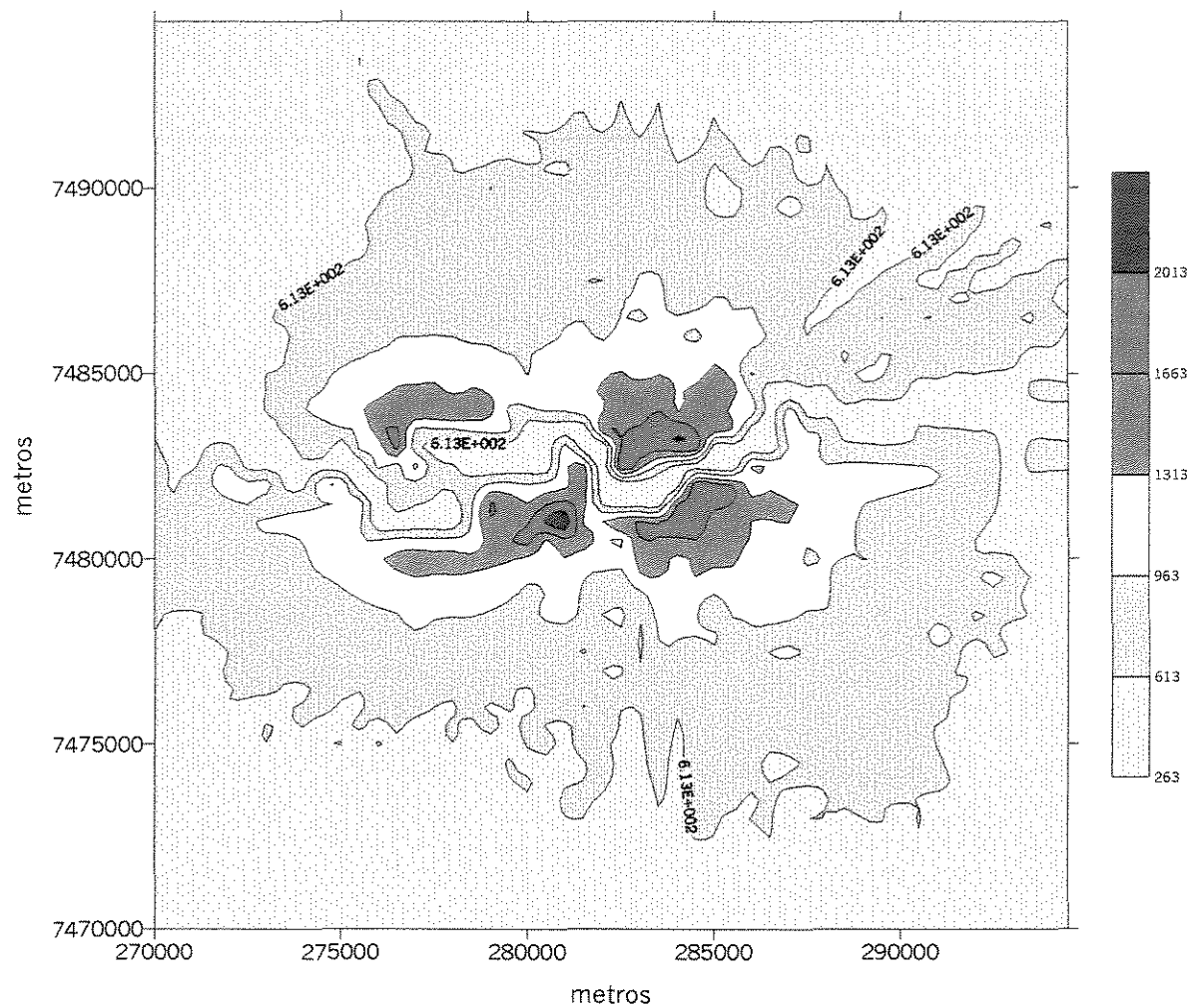


Figura 4.17: Valores máximos das concentrações das médias horárias dos óxidos de nitrogênio para o ano de 1998 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

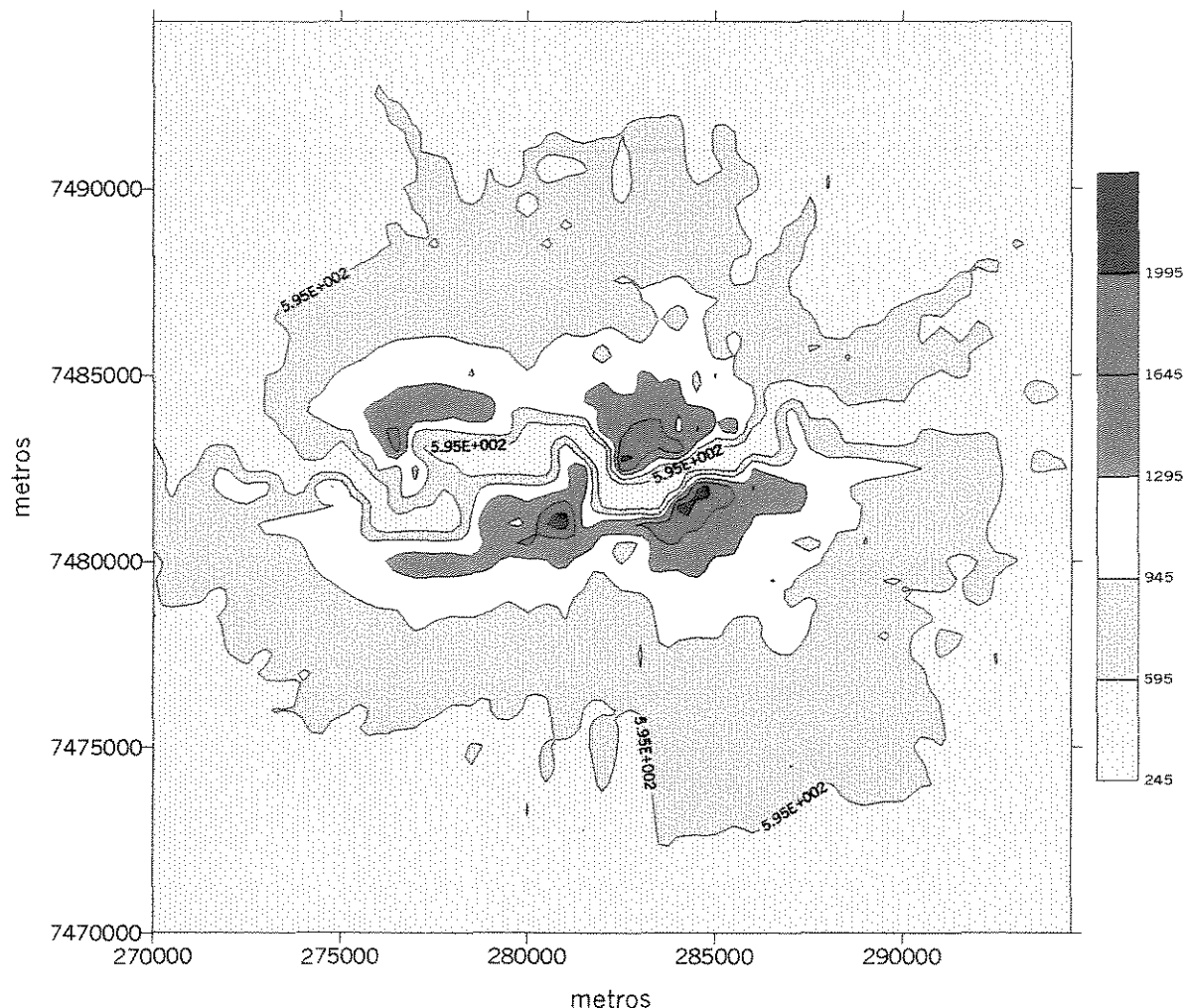


Figura 4.18: Valores máximos das concentrações das médias horárias dos óxidos de nitrogênio para o ano de 1997 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Concentrações médias anuais

Utilizou-se simulações com o modelo ISC3 para avaliar as concentrações médias anuais de óxidos de nitrogênio para os anos de 1999, 1998 e 1997, cujos resultados podem ser observados nas figuras 4.19 e 4.20, respectivamente.

Observa-se que para o ano de 1999 a concentração máxima de óxidos de nitrogênio chega a $162 \mu\text{g}/\text{m}^3$, e portanto acima dos padrões primários e secundários com limite de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de qualidade do ar, estabelecido pela Resolução CONAMA nº3 de 28.06.90.

A figura 4.19 representa as concentrações médias anuais dos óxidos de nitrogênio em 1999.

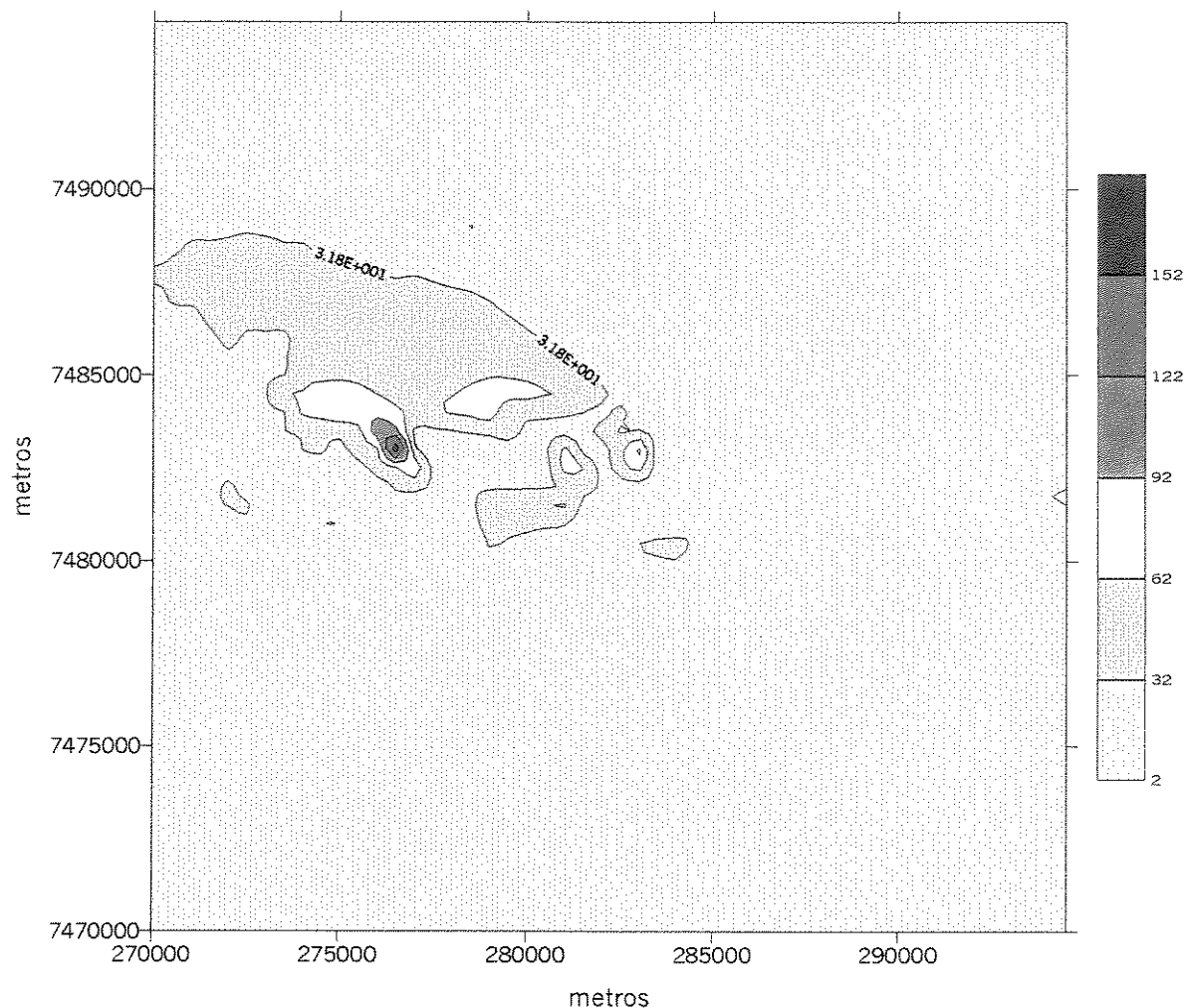


Figura 4.19: Valores das concentrações médias anuais dos óxidos de nitrogênio em 1999 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Analisando a figura acima, pode-se observar que existem regiões com altas concentrações de óxidos de nitrogênio chegando à valores de $162 \mu\text{g}/\text{m}^3$ que ultrapassam os limites dos padrões primários e secundários.

Ao comparar a figura 3.2 (Capítulo 3) com esta figura pode ser observado que a região mais atingida com concentrações dos óxidos de nitrogênio entre 122 e $162 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (cor vermelho e verde) é a região A.

Apesar da região A ultrapassar o padrão de qualidade do ar as outras regiões da grade objeto de estudo não ultrapassam o limite do padrão de

qualidade do ar, mostrando que de uma forma geral a concentração média do poluente óxido de nitrogênio não é tão alta.

A figura 4.20 representa as concentrações médias anuais dos óxidos de nitrogênio em 1998 (a) e 1997 (b).

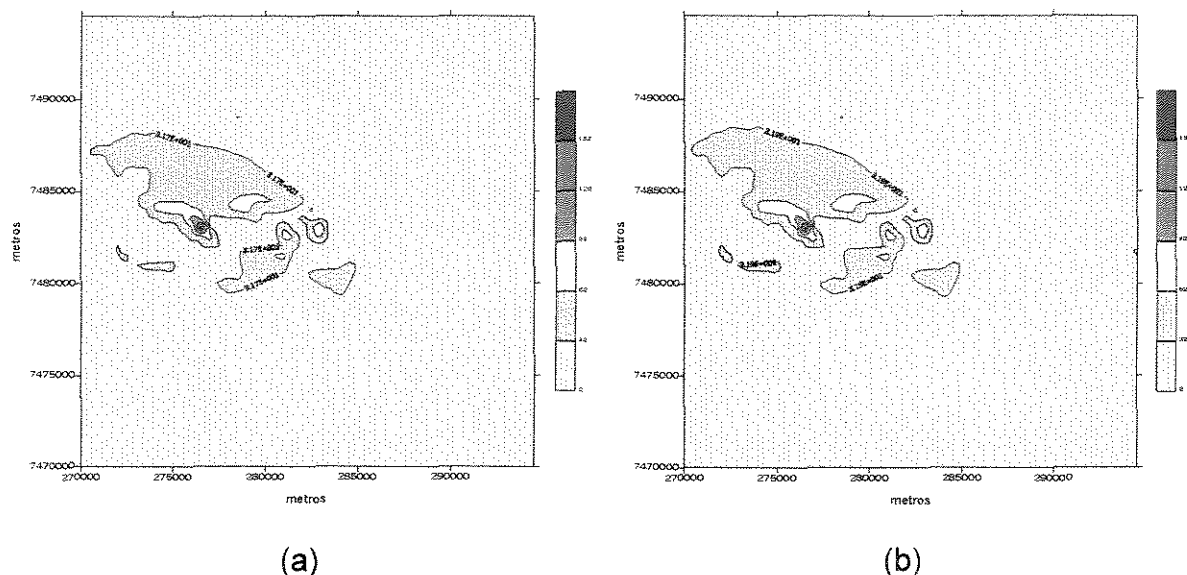


Figura 4.20: Concentrações médias anuais dos óxidos de nitrogênio para 1998 (a) e 1997 (b) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

De acordo com as figuras acima, pode ser visto que a região mais atingida nos anos de 1998 e 1997 foi a região A. Verifica-se com isto que a tendência de dispersão dos óxidos de nitrogênio segue a direção predominante de vento (sudeste) e a concentração dos óxidos de nitrogênio só ultrapassa o limite de padrões primários e secundários na região A, da mesma forma que para o ano de 1999.

Comparando-se a curva de dispersão das máximas concentrações médias horárias (Figura 4.16) com a curva de concentração média anual (Figura 4.19), observa-se que as áreas exceto a denotada por A, apresentam valores de concentrações médias anuais baixas, embora ocorram episódios de valores elevados de concentrações. Isto significa que tais episódios de altas concentrações de NO_x ocorrem sob condições de dispersão pouco freqüentes, a ponto de não afetar significativamente a média anual.

É importante observar que para dispersão dos óxidos de nitrogênio o tempo de meia vida considerado foi de 4 dias [6] e fazendo uma análise da sensibilidade paramétrica desta variável, é possível verificar se o tempo de meia vida interfere na dispersão dos óxidos de nitrogênio.

As figuras 4.21 e 4.22 são referentes as concentrações médias anuais para o ano de 1999, sendo que na figura 4.21 utiliza-se tempo de meia vida para os óxidos de nitrogênio de 1 dia e na figura 4.22 utiliza-se tempo de meia vida para os óxidos de nitrogênio de 7 dias.

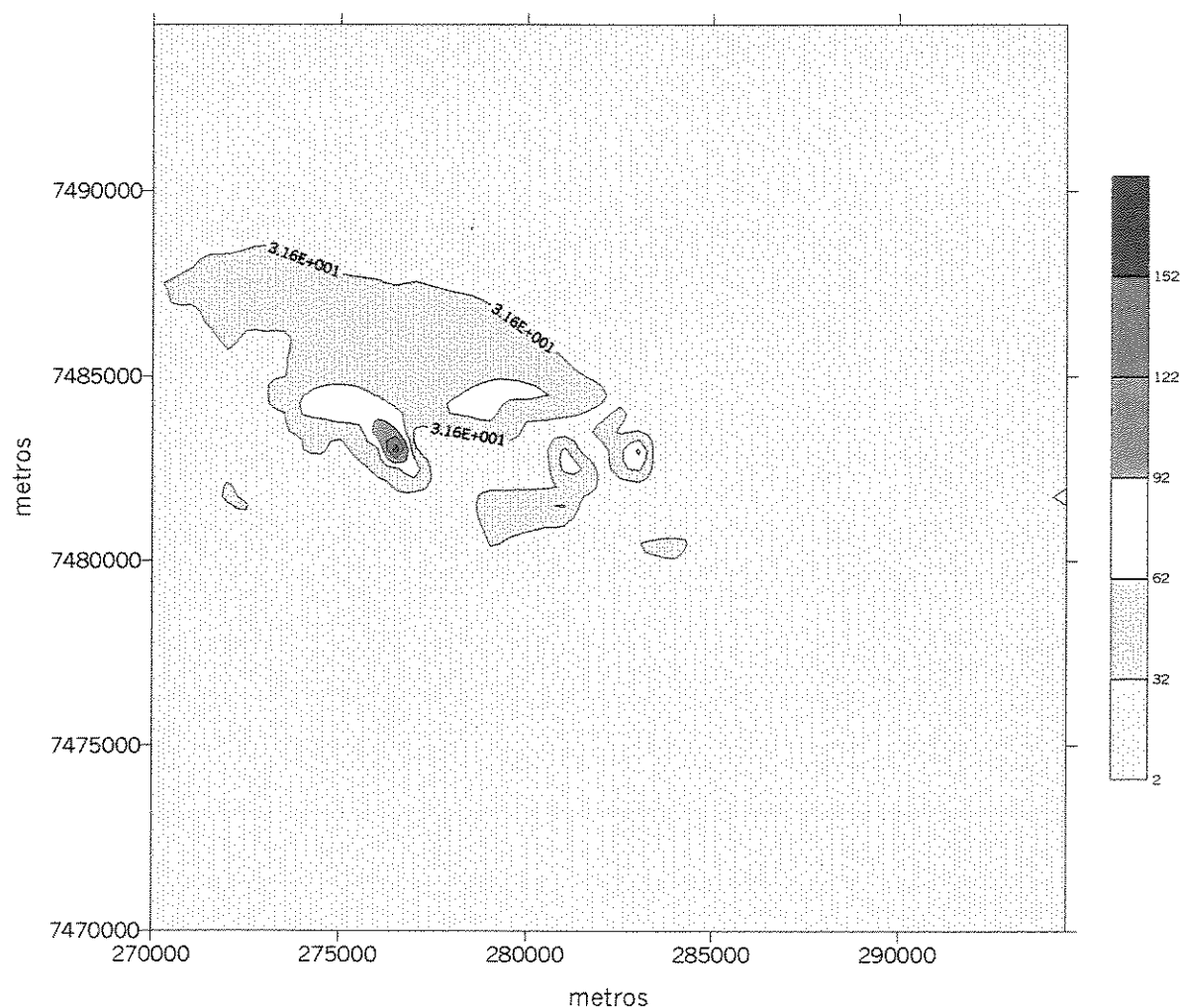


Figura 4.21: Concentrações média anuais em 1999, utilizando tempo de meia de 1 dia para os óxidos de nitrogênio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

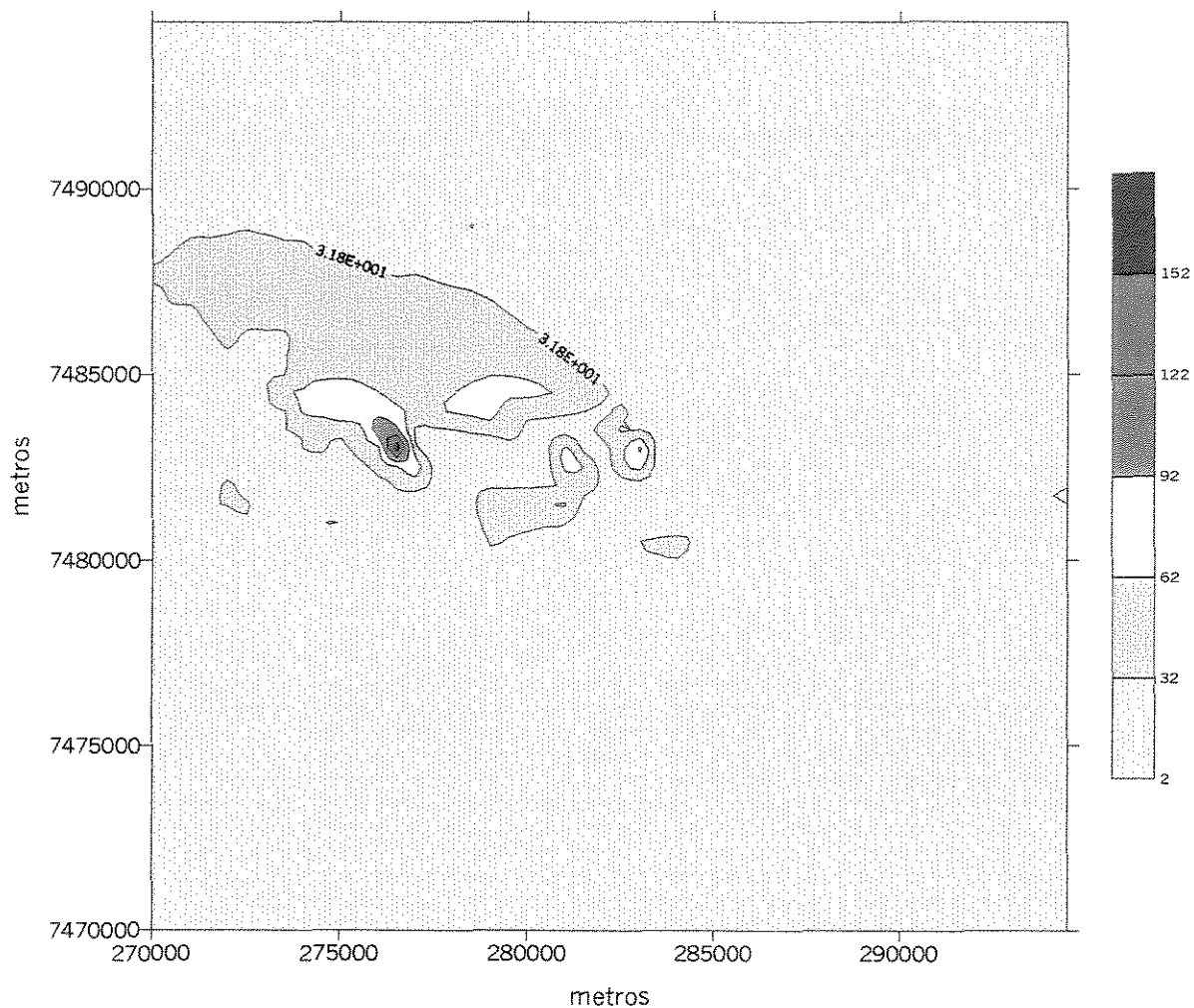


Figura 4.22: Concentrações média anuais em 1999, utilizando tempo de meia de 7 dia para os óxidos de nitrogênio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Comparando as figuras 4.19, 4.21 e 4.22 obtém-se as curvas da concentração média dos óxidos de nitrogênio no ano de 1999 para o tempo de meia vida de 1, 4 e 7 dias e pode-se observar que o comportamento das curvas são idênticas. Isto mostra que o tempo de meia vida não interfere no resultado da dispersão dos óxidos de nitrogênio.

- Dióxido de Enxofre

O poluente dióxido de enxofre terá resultados obtidos através da simulação da dispersão de duas formas diferentes, compatíveis com o padrão de qualidade do ar, ou seja, em termos de médias diárias e médias anuais.

Máximas concentrações médias diárias:

De acordo com Resolução CONAMA nº 3 de 28.06.90 para concentrações com tempo de amostragem de 24 horas o limite do padrão primário é $365 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e o padrão secundário é $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

A figura 4.23 apresenta os valores máximos das concentrações das médias diárias do dióxido de enxofre para o ano de 1999. Observa-se nesta figura que a concentração máxima de dióxido de enxofre é $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$, e está portanto acima dos padrões primários e secundários de qualidade do ar.

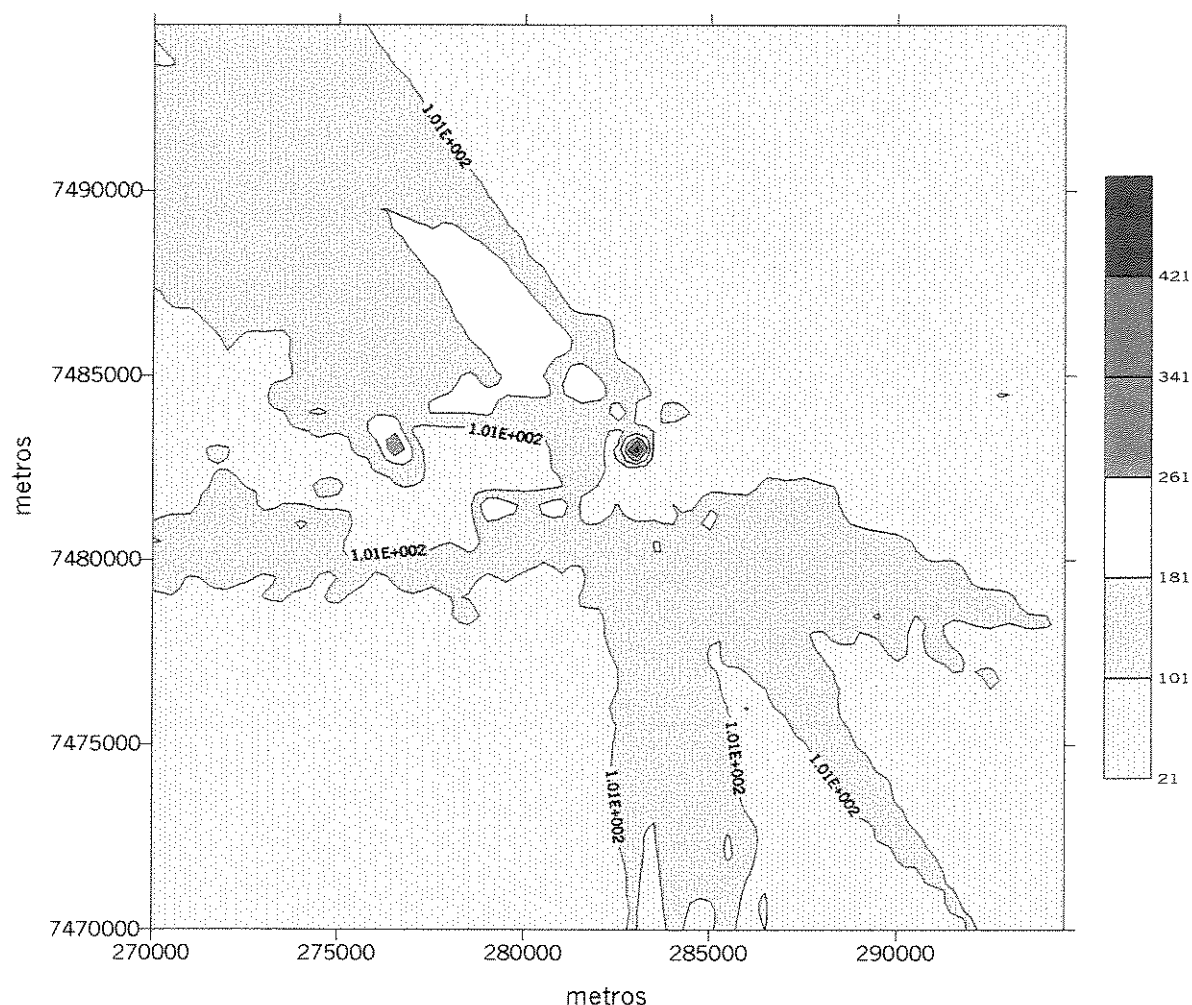


Figura 4.23: Valores máximos das concentrações das médias diárias do dióxido de enxofre para o ano de 1999 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Ao comparar a figura 3.2 (Capítulo 3) com a figura acima pode-se observar que as máximas concentrações de dióxido de enxofre estão entre 341 e 501 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (cores vermelha e verde) e atinge a região D; seguido da região A com concentrações entre 261 e 341 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (cor azul).

As figuras 4.24 e 4.25 representam os valores máximos das concentrações médias diárias do dióxido de enxofre para o ano de 1998 e 1997, respectivamente. Fazendo-se uma comparação entre 1998 e 1997, observa-se que não há diferenças significativas na distribuição do poluente dióxido de enxofre no município de Paulínia, ou seja, as regiões mais afetadas compreendem as regiões A e D, para 1998, já para o ano de 1997 apenas a região A aparece com picos de maiores concentrações, chegando até 435 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

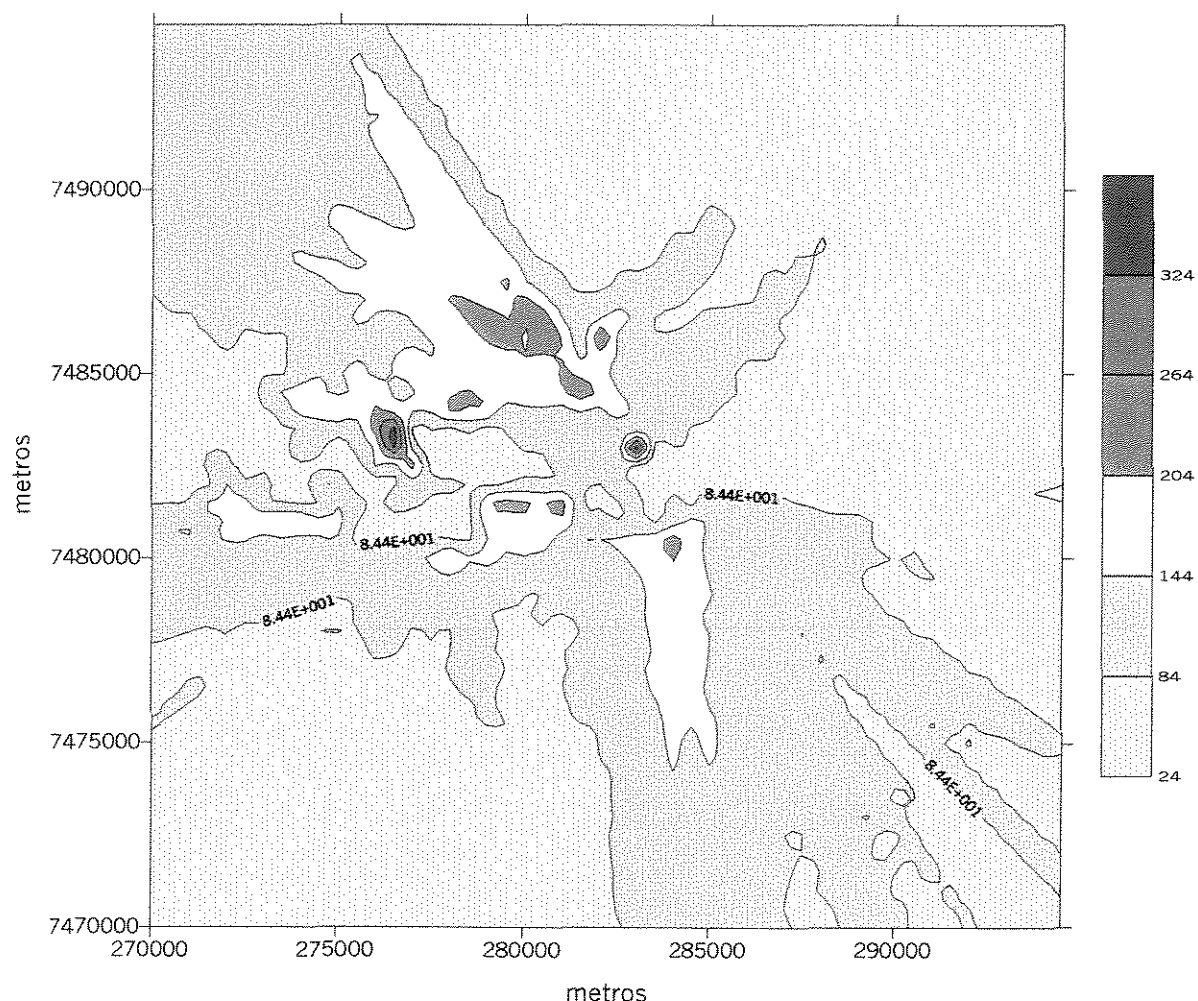


Figura 4.24: Valores máximos das concentrações das médias diárias do dióxido de enxofre para o ano de 1998 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

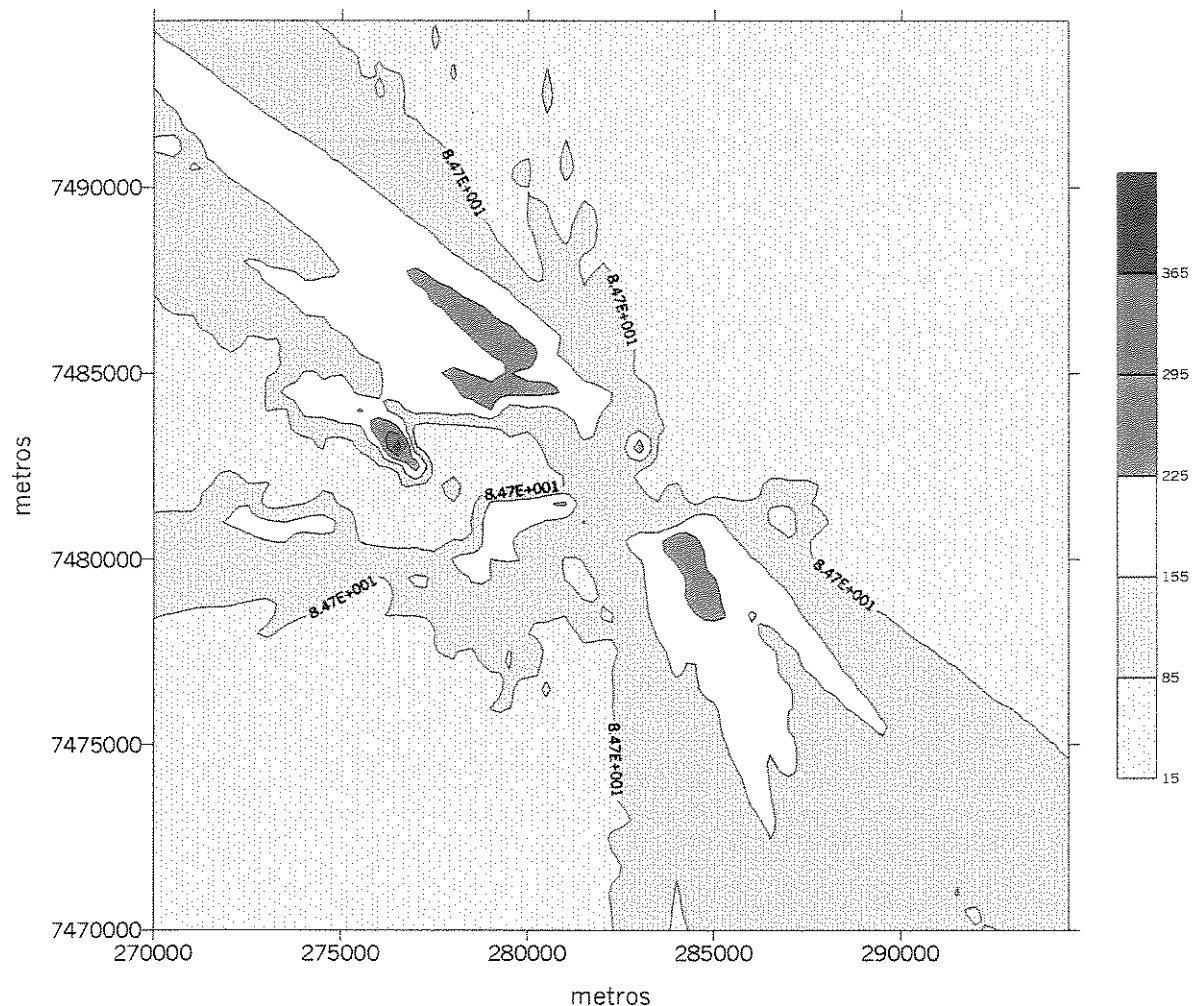


Figura 4.25: Valores máximos das concentrações das médias diárias do dióxido de enxofre para o ano de 1997 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Concentrações médias anuais

Utilizou-se simulações com o modelo ISC3 para avaliar as concentrações médias anuais de dióxido de enxofre para os anos de 1999, 1998 e 1997.

Observa-se que para o ano de 1999 a concentração máxima de dióxido de enxofre chega a $152 \mu\text{g}/\text{m}^3$, e portanto acima dos padrões primários e secundários com limite de 80 e $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de qualidade do ar, estabelecido pela Resolução CONAMA nº3 de 28.06.90. Entretanto, isto ocorre para uma área restrita próxima a uma das fontes de poluição.

A figura 4.26 apresenta as concentrações médias anuais de dióxido de enxofre em 1999.

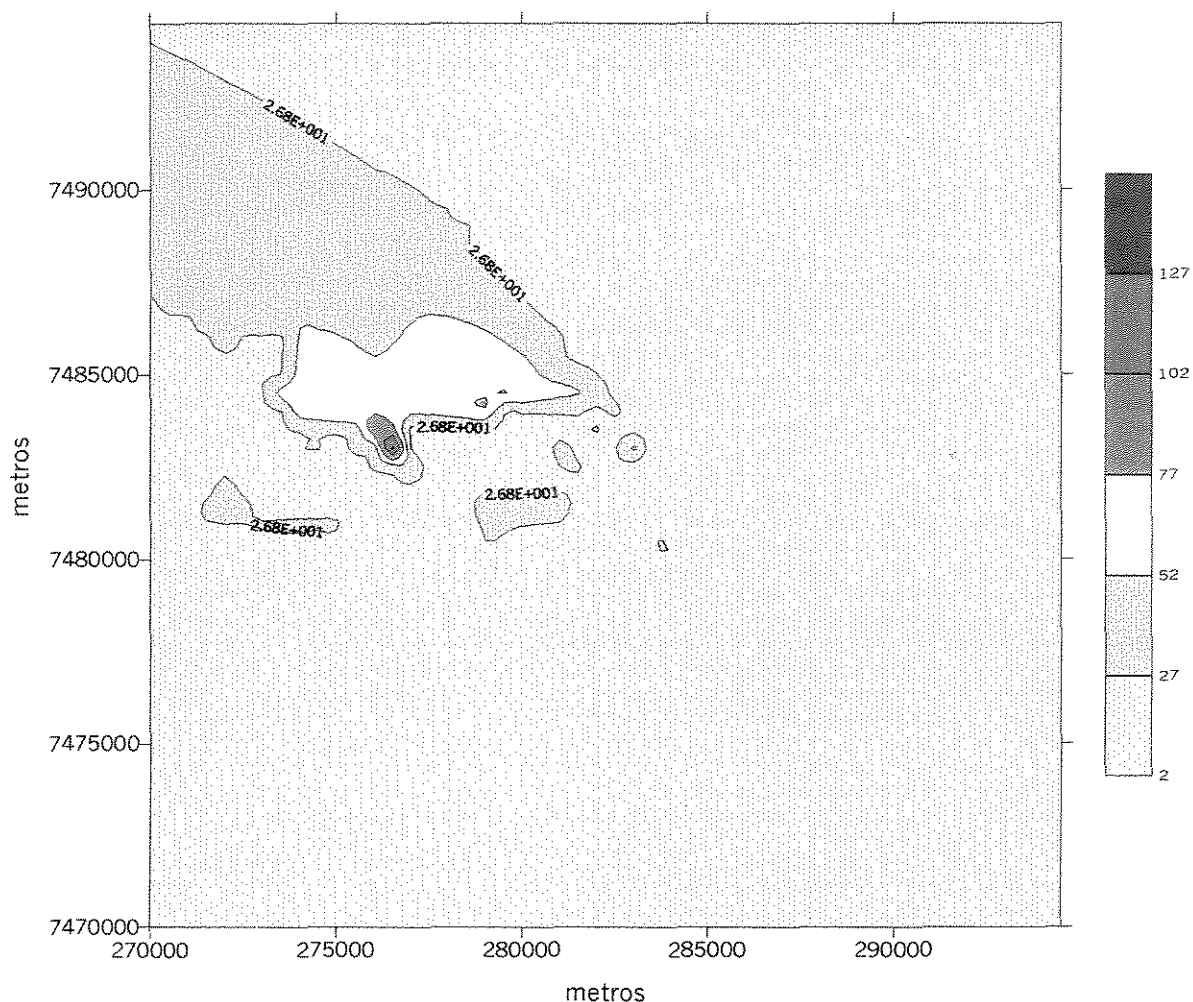


Figura 4.26: Concentrações médias anuais de dióxido de enxofre em 1999 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Ao comparar a figura 3.2 (Capítulo 3) com esta figura pode ser observado que a região mais atingida com concentrações de dióxido de enxofre entre 102 e 152 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (cores vermelho e verde) é a região A.

Apesar da região A ultrapassar o padrão de qualidade do ar as outras regiões da grade objeto de estudo não ultrapassam o limite do padrão de qualidade do ar.

A figura 4.27 representa as concentrações médias anuais de dióxido de enxofre em 1998 (a) e 1997 (b) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

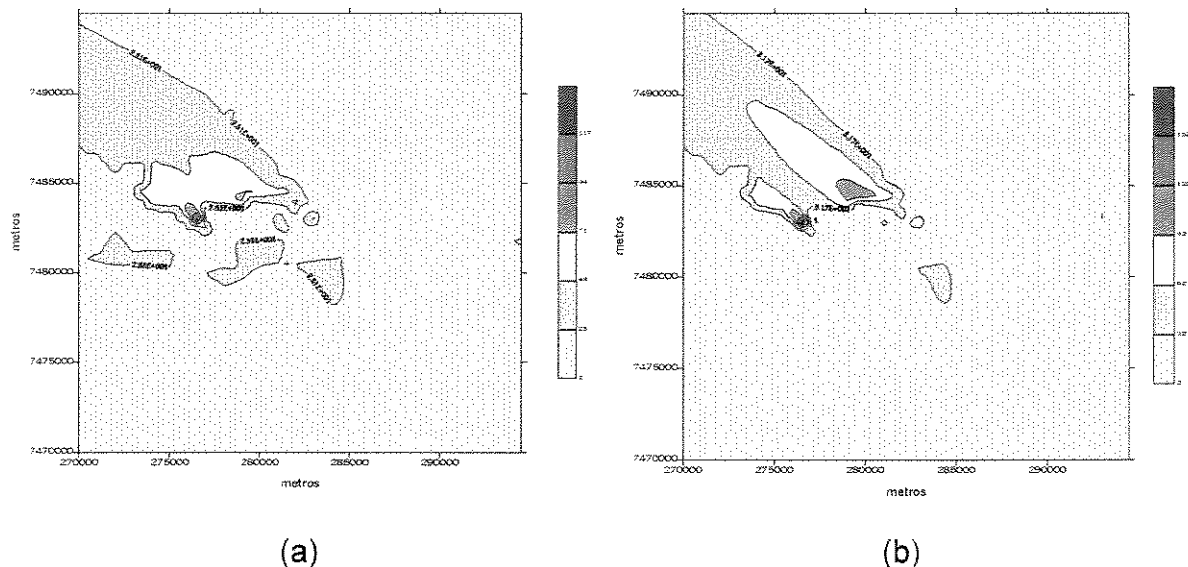


Figura 4.27: Concentrações médias anuais de dióxido de enxofre em 1998(a) e 1997(b) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

De acordo com as figuras acima, vemos que as regiões mais atingida nos anos de 1998 e 1997 foram a região A, no qual os valores das concentrações do dióxido de enxofre ultrapassam os limites dos padrões de qualidade.

A outra região que sofre a influência do dióxido de enxofre é a região B. Verifica-se também que a tendência de dispersão do dióxido de enxofre segue a direção predominante de vento (sudeste).

Apesar das curvas de dispersão para as máximas concentrações médias diárias terem valores altos para receptores localizados nas áreas afetadas pelas direções de ventos não predominantes, são eventos que ocorrem com baixa frequência não afetando de modo significativo a concentração média anual. Nas áreas A e B, ocorrem eventos de altas concentrações (máximas) e também apresentam valores médios anuais de concentração elevados.

• Hidrocarbonetos

Os hidrocarbonetos, embora não possuam limite estabelecido de concentração como padrão de qualidade, são poluentes importantes, pois alguns deles apresentam alto potencial de formação de ozônio troposférico na presença

de dióxido de nitrogênio e luz, tornando-se importante demonstrar o seu comportamento na atmosfera.

Os hidrocarbonetos serão analisados em termos de máximas concentrações médias horárias e concentrações médias anuais.

Máximas concentrações médias horárias:

A figura 4.28 representa os valores máximos das concentrações médias horárias de hidrocarbonetos para o ano de 1999.

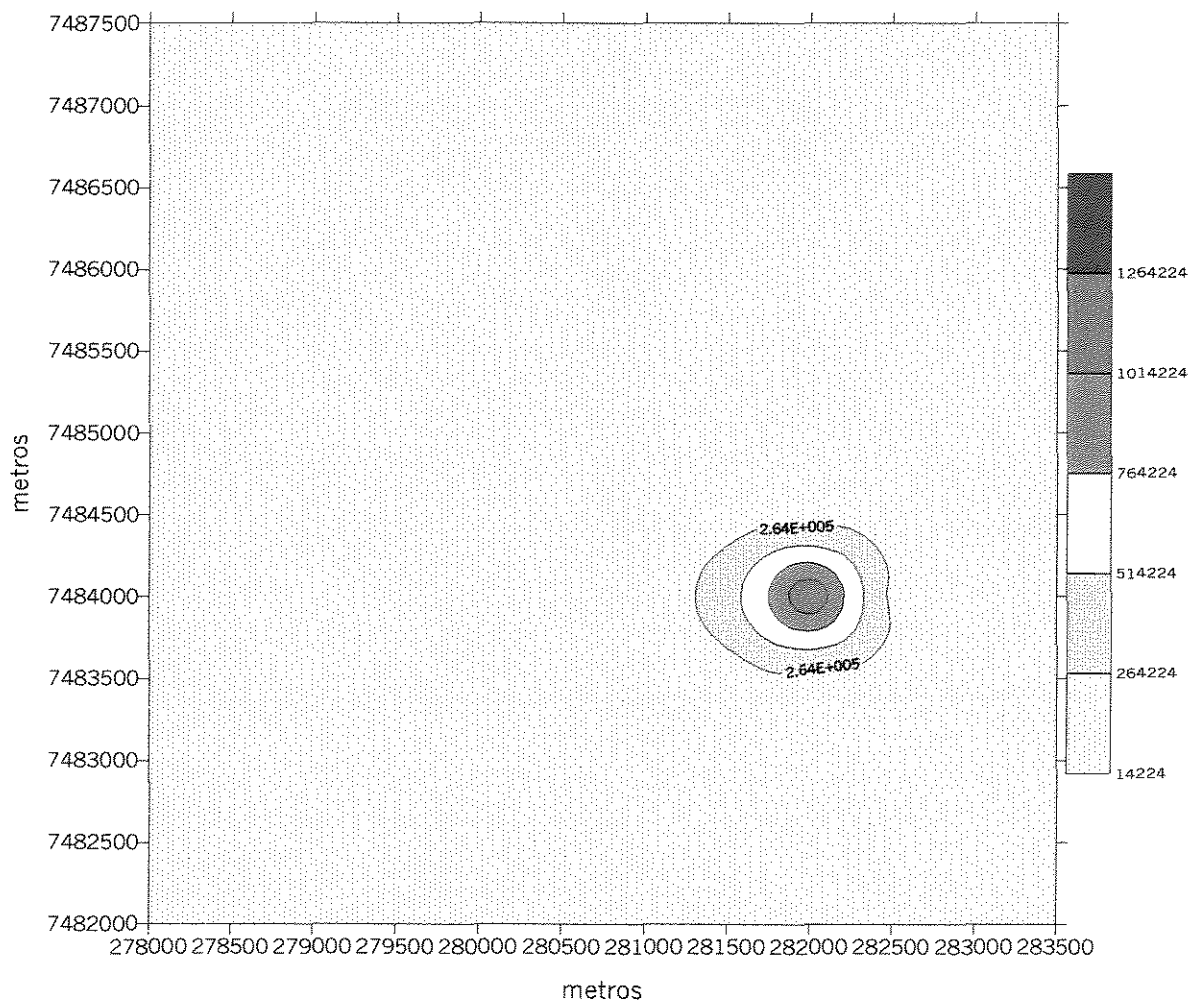


Figura 4.28: Valores máximos das concentrações médias horárias dos hidrocarbonetos para o ano de 1999 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

A figura 4.28 apresenta as concentração máximas das médias horárias de hidrocarbonetos da região. Estas curvas diferenciam-se das demais pois este gráfico representa uma área menor da região de Paulínia, com apenas 6 Km de extensão e as fontes são muito diferentes, neste caso, as emissões são relativas às perdas evaporativas em tanques de estocagem ou bacias com grandes áreas de transferência de massa. São fontes não submetidas à fluxos forçados, em geral à temperatura ambiente, exceto em alguns casos onde há o aquecimento dos produtos armazenados, mas em temperaturas baixas. Desta forma, o que se observa, em função destas características, é uma dispersão pouco favorecida destes poluentes na atmosfera, concentrando-se próximo às fontes, com valores máximos de $1264,2 \text{ mg/Nm}^3$.

Ao comparar a figura 3.2 (Capítulo 3) com a figura acima podemos observar que para o período médio de 1 hora a região mais atingida com concentrações de hidrocarbonetos entre $764,2$ e $1264,2 \text{ mg/m}^3$ (cor verde e azul) é a região F, próximos às fontes.

A figura 4.29 apresenta os valores máximos das concentrações das médias horárias dos hidrocarbonetos para o ano de 1998 (a) e 1997 (b).

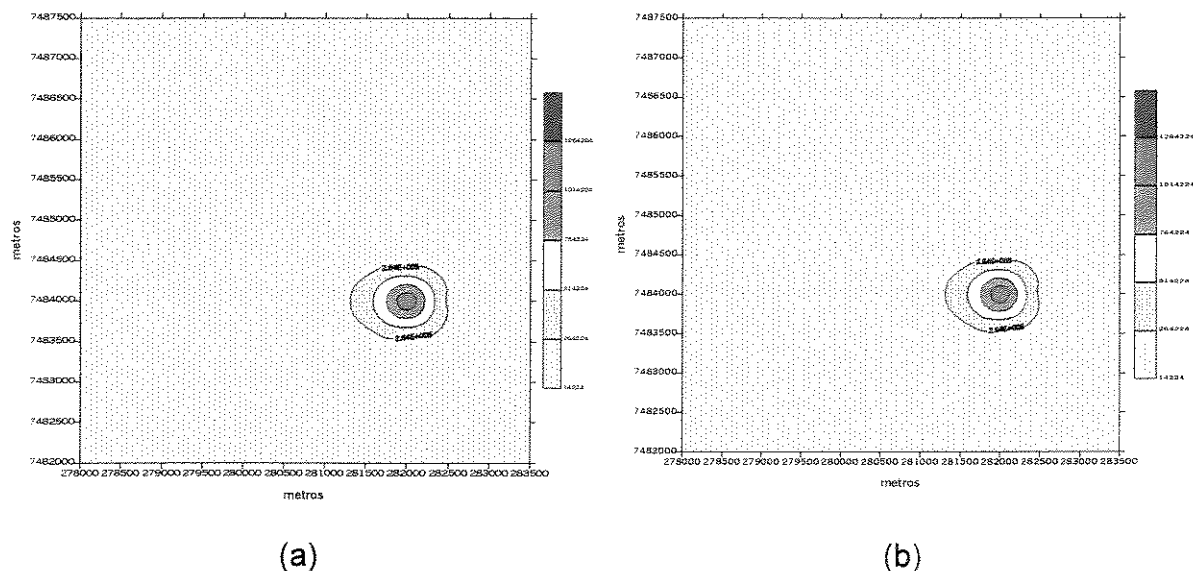


Figura 4.29: Valores máximos das concentrações das médias horárias dos hidrocarbonetos para o ano de 1998 (a) e 1997 (b) ($\mu\text{g/m}^3$)

De acordo com as figuras acima, pode ser visto que as região mais atingida nos anos de 1998 e 1997 foi a mesma para o ano de 1999 (região F). Verifica-se com isto que este poluente possui características específicas citadas acima que fazem com que seu comportamento seja sempre o mesmo.

Concentrações médias anuais

A figura 4.30 representa as concentrações médias anuais dos hidrocarbonetos em 1999.

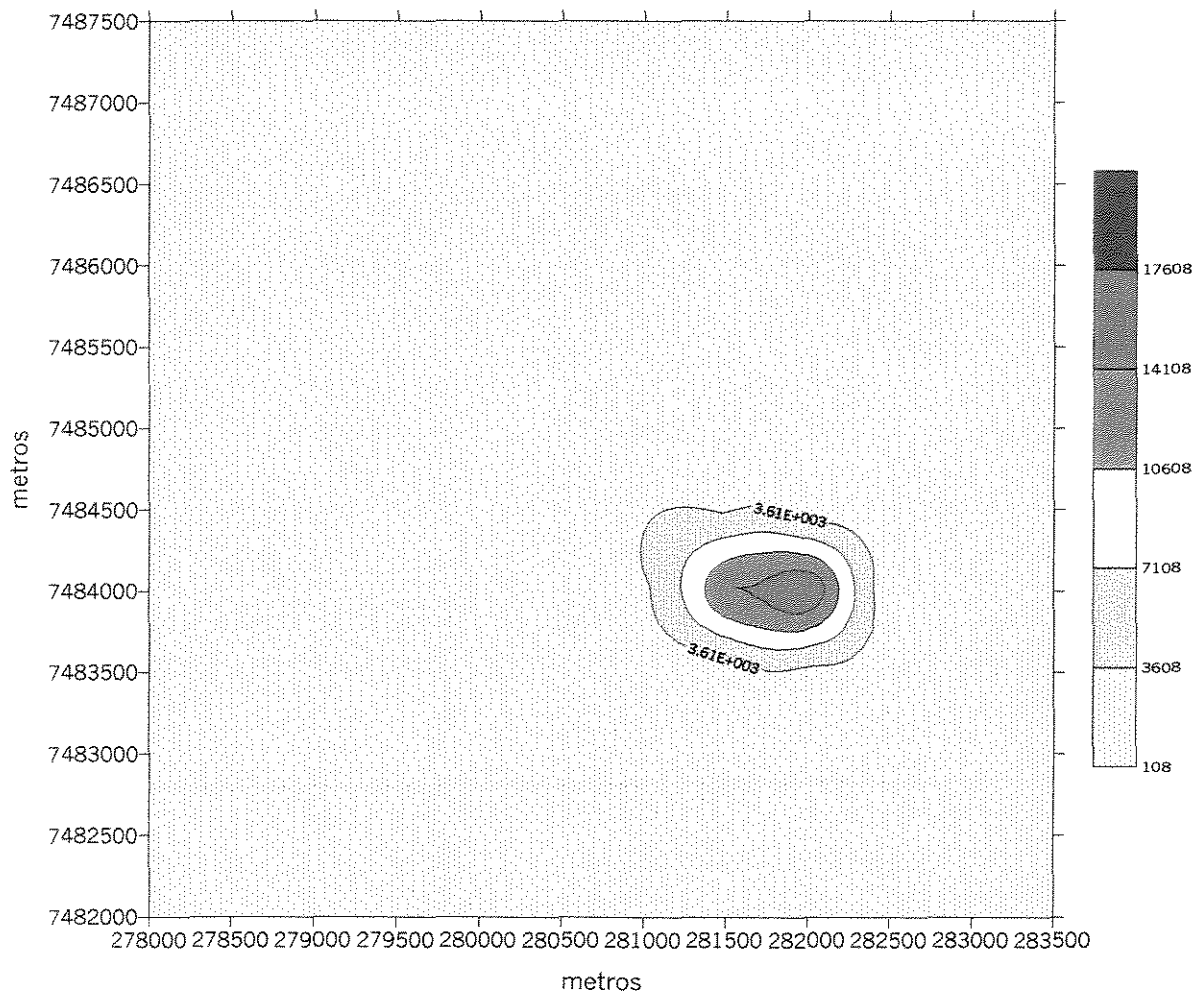


Figura 4.28: Concentrações das médias anuais dos hidrocarbonetos em 1999 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

De acordo com a figura acima, para o período médio de 1 ano a concentração máxima do hidrocarboneto é $17,6 \text{ mg}/\text{m}^3$.

Ao comparar a figura 3.2 (Capítulo 3) com esta figura pode-se observar que com concentrações dos hidrocarbonetos entre 10,6 e 17,6 mg/m^3 (cores verde e azul) as regiões D e F foram as mais atingidas.

A figura 4.31 representa as concentrações das médias anuais dos hidrocarbonetos em 1998 (a) e 1997 (b).

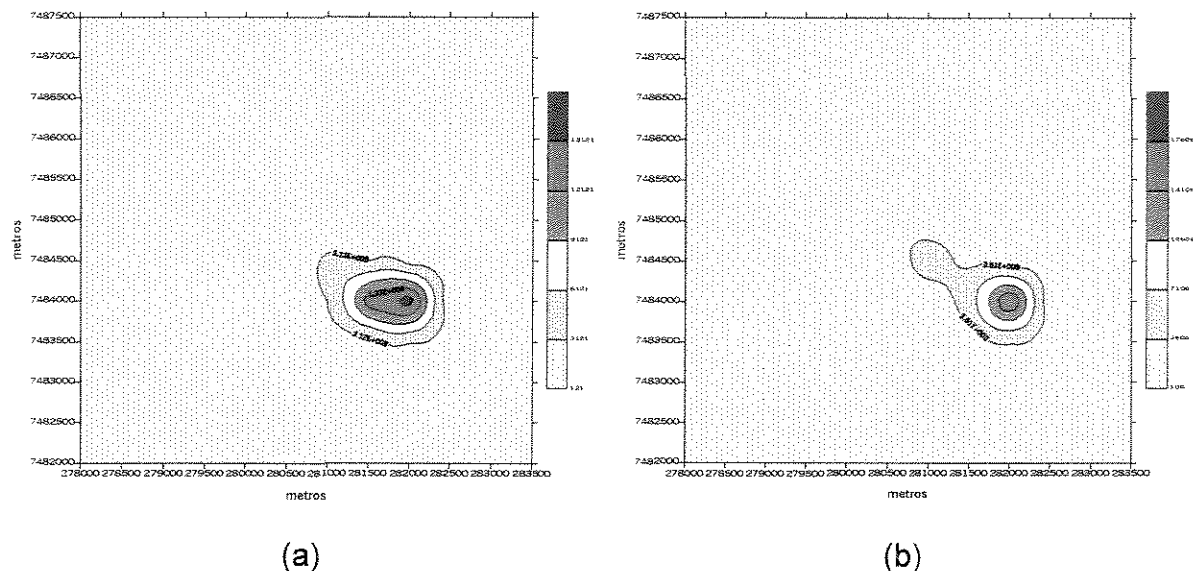
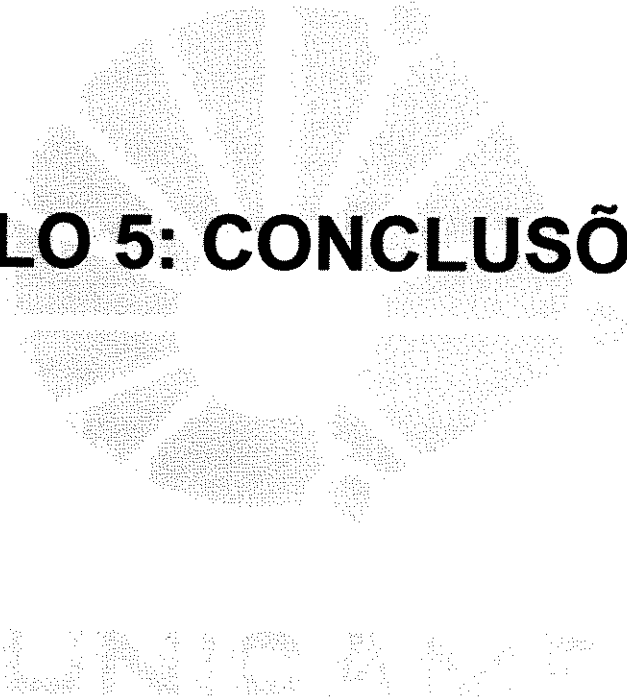


Figura 4.31: Concentrações das médias anuais dos hidrocarbonetos em 1998 (a) e 1997 (b) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

De acordo com as figuras acima, vemos que apesar das plumas de dispersão dos hidrocarbonetos terem mudado um pouco no ano de 1997 as regiões atingidas pela concentração dos hidrocarbonetos, assim como em 1999 são as regiões D e F, respectivamente.



CAPÍTULO 5: CONCLUSÕES

Capítulo 5: Conclusões

O presente estudo consistiu, de acordo com as metas iniciais, de um inventário das emissões de poluentes proveniente da região industrial de Paulínia, de um estudo de dispersão dos poluentes empregando-se um modelo matemático Gaussiano, de uma avaliação desta ferramenta matemática, embora restrita a um curto período, bem como, de uma avaliação da qualidade do ar na área de influência das fontes de poluição consideradas.

O inventário das emissões de poluente do ar realizado, é provavelmente, o mais completo e minucioso inventário de fontes de poluição no Estado de São Paulo realizado fora de um órgão ambiental oficial, sendo que, o universo pesquisado é bastante representativo e corresponde provavelmente a mais de 95% das emissões industriais da área objeto de estudo.

A partir da análise deste inventário de emissões conclui-se que de fato, como previsto inicialmente no trabalho, o parque industrial de região de Paulínia contribui de forma expressiva com as emissões de poluentes do ar sendo cerca de 73,9 t/dia de dióxido de enxofre, 5,8 t/dia de material particulado, 15,4 t/dia de óxidos de nitrogênio e 0,77 t/dia de hidrocarbonetos voláteis.

A partir dos dados de monitorização obtidos pela Cetesb para os parâmetros dióxido de nitrogênio, partículas inaláveis e dióxido de enxofre para alguns meses de 1998 e 1999 tornou-se possível a comparação com os dados preditos pelo modelo matemático de dispersão ISCST3 para o mesmo período, baseado em dados meteorológicos reais. Esta comparação revelou uma proximidade razoável entre os valores medidos e preditos no ponto geográfico específico, considerando-se a complexidade da estrutura atmosférica e dos movimentos das massas de ar. No caso das partículas inaláveis esta comparação ficou prejudicada uma vez que o inventário de emissões não considerou a especiação das partículas em termos de tamanho. Assim, os resultados obtidos através dos modelos de dispersão estão expressos como partículas totais em suspensão enquanto que os resultados medidos são partículas inaláveis. Além disso, no caso de material particulado, seja como partículas inaláveis ou como

partículas totais em suspensão, há uma contribuição importante não considerada que é a ressuspensão de partículas devido, entre outras coisas, às atividades antrópicas.

As comparações referidas acima mostram a coerência dos resultados mas não se mostram suficientes para a validação do modelo matemático empregado. Para isso, seria necessário uma quantidade de dados de monitorização muito maior em diversos outros pontos geográfico dentro do domínio da grade de receptores considerada.

Quanto ao dióxido de nitrogênio, nota-se que os valores medidos foram maiores do que os valores preditos provavelmente devido à influência das outras regiões industrializadas e urbanizadas não consideradas no inventário como Campinas e Americana.

Quanto à avaliação da qualidade do ar baseado no modelo matemático na área de influência das fontes de Paulínia observa-se a existência de regiões críticas cujas concentrações dos poluentes dióxido de enxofre e óxidos de nitrogênio ultrapassam os limites do Padrão Nacional de Qualidade do ar em termos de concentrações médias anuais, como nos bairros de Jardim Leonor, Alto dos Pinheiros e CDHU, identificados pela região A na figura 3.2. Estas regiões críticas são restritas à pequenas áreas, e que nem por isso deixa de ser preocupante.

A região do bairro de João Aranha é sempre atingida pelos poluentes material particulado, dióxido de enxofre e óxidos de nitrogênio devido a direção predominante do vento (sudeste), apesar de não ultrapassar o limite de Padrão de qualidade do ar na média anual.

Em termos de concentrações máximas, existem regiões mais atingidas pelos poluentes material particulado, dióxido de enxofre e óxidos de nitrogênio como, por exemplo a região próxima aos bairros de Jardim Leonor, Altos dos Pinheiros e CDHU denotada por "A" e uma região de pastagem denotada por "D".

A região central de Paulínia, a região de pastagem e a região de cultura anual, denotada por "C", "D" e "E", respectivamente, sempre ultrapassam o limite

do padrão de qualidade do ar em termos de máxima concentração na média horária para o poluente óxido de nitrogênio.

Analisando as curvas de isoconcentração de poluentes no ar pode-se obter duas conclusões de mais alta importância e que deverá nortear os trabalhos futuros. Em primeiro lugar, que, em termos de concentrações médias anuais, que é altamente influenciada pelo sentido predominante do vento, há uma região mais afetada, no sentido do eixo sudeste-noroeste, mais especificamente do bairro João Aranha até as proximidades da cidade de Cosmópolis, que merece ser pesquisada minuciosamente. Em segundo lugar, há outras regiões, que embora não alinhadas com o sentido predominante dos ventos, sofrem efeitos de curto período, com concentrações máximas elevadas mas de baixa frequência de ocorrência, não chegando a afetar significativamente a média anual. Com base neste fato, conclui-se que, além da importância inquestionável das regiões afetadas pelo sentido predominante do vento, devem ser consideradas as outras áreas afetadas pelos "picos" de concentrações que ocorrem em situações desfavoráveis de dispersão, como em calmarias, mesmo que sejam de baixa frequência de ocorrência.

É importante ressaltar que os resultados obtidos são mais representativos e mais importantes em termos qualitativos do que quantitativos. Deve-se analisar os resultados quantitativos com cautela tendo em vista que o modelo não foi devidamente validado, apesar da coerência dos resultados obtidos. A identificação das regiões mais atingidas pelos efeitos da dispersão dos poluentes provenientes das fontes industriais assume grande importância na continuidade da pesquisa em desenvolvimento, principalmente quando se considera que a próxima etapa está baseada na monitorização da qualidade do ar com uma estação móvel.

Apesar do inventário de fontes não ter considerado as perdas de hidrocarbonetos das distribuidoras de derivados de petróleo sediados em Paulínia, que provavelmente é uma parcela significativa, revela emissões significativas destes compostos voláteis, que quando analisadas em conjunto com as emissões de óxidos de nitrogênio, leva necessariamente à questionamentos a respeito da possibilidade de formação de ozônio troposférico na presença de luz. Este fato ganha maior dimensão e importância pela análise dos dados medidos de ozônio

que demonstra a ocorrência de altos valores de concentração deste poluente secundário, embora em períodos curtos de tempo.

Portanto, o presente trabalho atingiu os objetivos inicialmente propostos, predizendo a dispersão dos poluentes na área de influência das fontes industriais de Paulínia, gerando dados e conclusões fundamentais para o planejamento minucioso da etapa subsequente do trabalho de pesquisa do Laboratório de Pesquisa e Desenvolvimento de Tecnologias Ambientais da Unicamp, que é a monitorização criteriosa da qualidade ambiental na região.



CAPÍTULO 6: SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

UNICAMP

Capítulo 6: Sugestões para trabalhos futuros

Completar o inventário de fontes de poluição do ar para as emissões para as emissões fugitivas dos hidrocarbonetos dos sistemas de distribuição e transporte de derivados de petróleo, bem como, utilizar o modelo de emissão WATER 8 para estimar as perdas dos hidrocarbonetos provenientes das estações de tratamento de efluentes.

Fazer uma análise de sensibilidade paramétrica dos dados meteorológicos para verificar as variáveis mais importantes na dispersão dos poluentes.

Estudar as fontes móveis através de modelos de dispersão e avaliar a influência destas sobre determinada área.

Estudar as fontes industriais de municípios vizinhos como Campinas, Americana, Cosmópolis e Limeira e analisar a influência de uma região sobre a outra.

Estudar a especiação das partículas em suspensão tentando avaliar a contribuição das fontes de queima de combustíveis e ressuspensão de partículas, em função da granulometria.

Estudar a distribuição de poluentes do ar na troposfera da região de Paulínia, especialmente no sentido do eixo sudeste-noroeste, de Paulínia até Cosmópolis, através de monitorização com a estação semi-móvel de pesquisa da qualidade do ar.

Estudar as espécies químicas orgânicas voláteis presentes na troposfera da região visando estabelecer relação com os problemas de odores e identificar prováveis precursores para formação do ozônio.

Referências bibliográficas:

- [1] API Bulletin 2523: Petrochemical evaporation loss from storage tanks, 5. ed., New York, nov. 1969.
- [2] ATKINSON, R., Gas phase tropospheric chemistry of organic compounds. In: *Volatile organic compounds in the atmosphere*, Birmingham, The royal society of chemistry, 1995, 140 p.
- [3] BRASIL. Decreto – lei nº 8.468, 8 de Setembro de 1976. Aprova o Regulamento da lei nº 997, de 31 de Maio de 1996, que dispõe sobre a preservação e o controle da poluição do meio ambiente.
- [4] BRASIL. Portaria normativa nº 348 de 14 de Março de 1990. Estabelece os padrões nacionais de qualidade do ar.
- [5] BRASIL. Decreto – lei nº 6938, 31 de Agosto de 1981. Dispõe sobre a política nacional do meio ambiente, seus afins e mecanismo de formulação e aplicação, e dá outras providências.
- [6] BRIMBLECOMBE, P. *Air Composition and Chemistry*, Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1995.
- [7] CERQUEIRA, L. Poluição de Ar – Situação preocupante, porém controlada. *Revista Saneamento Ambiental*, São Paulo, n.55, p.14-20, jan/fev. 1999.
- [8] Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Índice de qualidade do ar. [online] Disponível na Internet: <<http://www.cetesb.br/Diversos/cet06012.htm>>. Arquivo capturado em 20 de Março de 2000.
- [9] Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Padrões de qualidade do ar. [online] Disponível na Internet:

<<http://www.cetesb.br/Diversos/cet06013.htm>. Arquivo capturado em 20 de Março de 2000.

[10] DAVIS, M. L.; CORNWELL, D. A. *Introduction to Environmental Engineering*, 2. ed. New York: Mc Graw – Hill, 1991, 822 p.

[11] DERISIO, J. C. *Introdução ao Controle da Poluição Ambiental*. 1ed., São Paulo, CETESB, 1992, p.126.

[12] Efeito Estufa. [online] Disponível na Internet: <<http://www.brasil.terraviva.pt/lpanema/3888/materiais.html> .Arquivo capturado em 21 de Junho de 2000.

[13] JAAKO PÖYRI ENGENHARIA. *Companhia Termelétrica do Planalto Paulista, Paulínia – SP. Relatório de Impacto Ambiental – RIMA*. Junho/1999.

[14] Ministério do meio ambiente. Camada de ozônio. [online] Disponível na Internet: < <http://www.mma.gov.br/port/CGMI/meioambi/ozonio1.html>. Arquivo capturado em 14 de Junho de 2000.

[15] NEVES, N.; COUTO, E. Use of An Open-Path FTIR Sensor at the Camaçari Petrochemical Complex-Bahia Brazil. In *Proceedings of Optical Sensing for Environmental and Process Monitoring*. New York, 1995, v.2365, p. 426-435.

[16] OLIVEIRA, S., SAGULA, M. A. L. A., BRUNI, A. C. Estudo preliminar sobre parâmetros meteorológicos críticos para dispersão de poluentes utilizando a sonda acústica. 12º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Santa Catarina, p. 1-17, nov. 1983.

[17] OLIVEIRA, Silvio. O efeito da camada de mistura na poluição do ar. *Revista Ambiente*, São Paulo, v. 3, n. 1, p. 46-51, 1989.

- [18] PASQUILL, F., SMITH, F. B. *Atmospheric Diffusion*. 3. ed. New York: Ellis Horwood, 1983, 237 p.
- [19] PHILLIPS, J. B. A methodology for obtaining air emission factors at point sources containing a combustion process. *Environmental Process*. V.14, n. 3, p.131-136, aug. 1995.
- [20] SEINFELD, J. H. *Atmospheric chemistry and physics of air pollution*. New York: John Wiley & Sons, 1986. 738p.
- [21] SIEGELL, J.H. Improve VOC emission predictions. *Hydrocarbon Processing*. V.76, n.4, p.119-121. New Jersey, 1997.
- [22] SILVA, S. T. A proteção da qualidade do ar. *Anais do 2º Congresso Internacional de Direito Ambiental "5 anos após a ECO 92/5 years after Rio"* Instituto O Direito Por um Planeta Verde, São Paulo, p. 257-276, jun. 1997.
- [23] SLADE, D. H. *Meteorology and Atomic Energy*. U.S.. Atomic Energy Commission, Oak Ridge, Tenn, 1968.
- [24] U.S.E.P.A., 1993a. *Compilation of Air Pollutant Emission Factors*, vol. I: Stationary Point and Area Sources, 5 ed. Emission Factor Documentation For AP-42 Section 1.3, Fuel Oil Combustion. Office of air quality planning and standards. Research Triangle Park, N.C. [on line] Disponível na Internet: < <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42etc.html>. Arquivo capturado em 10 de Novembro de 1998.
- [25] U.S.E.P.A., 1993b. *Compilation of Air Pollutant Emission Factors*, vol. I: Stationary Point and Area Sources, 5 ed. Chapter 5.1: Petroleum Refining. Office of air quality planning and standards. Research Triangle Park, N.C. [on line] Disponível na Internet: < <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42etc.html>. Arquivo capturado em 12 de Janeiro de 1999.

- [26] U.S.E.P.A., 1993c. Alternative control techniques document – NO_x emissions from stationary gas turbines. Office of air quality and Office of air and radiation. Research Triangle Park, N.C. [on line] Disponível na Internet: < <http://www.epa.gov/ttn.html>. Arquivo capturado em 28 de Abril de 2000.
- [27] U.S.E.P.A., 1994a. EPA's Emission Estimation Guidance Materials. Clearinghouse for Inventories and Emission Factors. Office of air quality planning and standards. EPA – 454/R – 94 – 022. Research Triangle Park, N.C. [on line] Disponível na Internet: < <http://www.epa.gov/airprogm/oar/topics/comapm.html>. Arquivo capturado em 16 de Junho de 2000.
- [28] U.S.E.P.A., 1994b. Air Emission Models for Wastewater. Office of air quality planning and standards. EPA – 453/R – 94 – 080A. Research Triangle Park, N.C. [on line] Disponível na Internet: < <http://www.epa.gov/ttn/chief/software.html>. Arquivo capturado em 10 de Abril de 1998.
- [29] U.S.E.P.A., 1994c. Alternative control technologies document – NO_x emissions from utility boilers. Office of air quality planning and standards and Office of air and radiation. Research Triangle Park, N.C. [on line] Disponível na Internet: < <http://www.epa.gov/ttn/chief.html>. Arquivo capturado em 17 de Março de 2000.
- [30] U.S.E.P.A., 1995a. User's Guide for the industrial source complex (ISC 3) dispersion models, vol. I. User instructions. Office of air quality planning and standards emissions, monitoring, and analysis division. EPA – 454/B – 95 – 003a. Research Triangle Park, N.C. [on line] Disponível na Internet: < <http://www.epa.gov/ttn/chief.html>. Arquivo capturado em 18 de Março de 1999.
- [31] U.S.E.P.A., 1995b. Guideline on air quality models, supplement C. Office of air quality planning and standards. EPA – 450/2 – 78 – 027R - C. Research

- Triangle Park, N.C. [on line] Disponível na Internet: < <http://www.epa.gov/ttn/chief.html>. Arquivo capturado em 18 de Março de 1999.
- [32] U.S.E.P.A., 1997. OAR Publication. 1997 National Air Quality Trends Brochure. Office of air quality planning and standards. Research Triangle Park, N.C. [on line] Disponível na Internet: < <http://www.epa.gov/airprog/oar/topics/comapm.html>. Arquivo capturado em 16 de Junho de 2000.
- [33] U.S.E.P.A., 1998a. Handbook for Air Toxics Emission Inventory Development, vol. I: Stationary Source. Office of air quality planning and standards. EPA – 454/B – 98 – 002. Research Triangle Park, N.C. [on line] Disponível na Internet: < <http://www.epa.gov/ttn/chief.html>. Arquivo capturado em 10 de Novembro de 1998.
- [34] U.S.E.P.A., 1998b. Compilation of Air Pollutant Emission Factors, vol. I: Stationary Point and Area Sources, 5 ed. Chapter: Organic Liquid Storage Tanks. Office of air quality planning and standards. EPA – 454/B – 95 – 003a. Research Triangle Park, N.C. [on line] Disponível na Internet: < <http://www.epa.gov/ttn/chief/software.html>. Arquivo capturado em 10 de Abril de 1998.
- [35] ZANNETTI, P. *Air Pollution Modeling: Theories, Computational Methods and Available Software*. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990. 444p.

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE