

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS

QUALIDADE DO AR E DAS CHUVAS EM PORTO ALEGRE

SERGIO GÓMEZ VÁSQUEZ

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia

Porto Alegre, Fevereiro de 2000

APRESENTAÇÃO

Este trabalho foi desenvolvido no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, sob a orientação do Professor Dr. Sérgio João De Luca da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho contou com a inestimável colaboração da Secretaria Municipal do Meio Ambiente da Prefeitura Municipal de Porto Alegre, da Fundação Estadual Henrique Roesler de Proteção Ambiental, do Governo do Estado do Rio Grande do Sul, da Patrulha Ambiental da Brigada Militar do Rio Grande do Sul, da Administração da Estação Rodoviária de Porto Alegre, do Departamento Municipal de Limpeza Urbana, da SOGIPA e do Grêmio Náutico União, clubes tradicionais de Porto Alegre, das Faculdades e Escolas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. A todas estas entidades os mais sinceros agradecimentos.

À FINEP/PRONEX e ao CNPq pelo financiamento do projeto

Ao governo brasileiro, que na figura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, me permitiu a realização deste curso de pós-graduação em nível de mestrado.

Também um agradecimento muito especial :

Ao Professor Dr. Sérgio João De Luca por sua orientação, apoio, exemplo de competência e boa vontade.

Aos funcionários do IPH, em especial a Álvaro Frantz, por sua grande boa vontade e colaboração.

À secretária do Programa de Pós-graduação, Nadir Bueno Solari e ao pessoal da biblioteca do IPH, pela atenção e constante colaboração.

Aos colegas da turma do ano 1998 pela amizade incondicional e por fazerem-me sentir em casa.

À Emília, pela sua companhia incondicional.

À minha família, pelo incentivo e apoio, mesmo de longe.

Ao pessoal da Casa do Estudante Universitário da UFRGS.

A Nilo Romero pela sua colaboração com o português

RESUMO

Este estudo apresenta uma avaliação da qualidade do ar e das chuvas em Porto Alegre no período compreendido entre Outubro/98 e Março/99, assim como a aplicação do modelo ISCST3 para testar a aderência estatística dos dados levantados àquele modelo da U.S EPA. Os dados de qualidade do ar foram cedidos pela FEPAM/RS e pela SMAM/PMPA. Os dados de qualidade da chuva foram obtidos mediante a instalação de uma rede de amostragem constituída por onze amostradores estrategicamente espalhados pela cidade de Porto Alegre. Para o ar, foram analisados os parâmetros SO₂, NO_x e partículas totais em suspensão (PTS). Na chuva foram medidos a temperatura da amostra, pH, condutividade, acidez, alcalinidade, DQO, sulfatos, cloretos, nitratos, fosfatos, Ca, Mg, Na, K, Pb, Cu, Cd, Hg e Fe total. Verificou-se que, em geral, durante o período do levantamento, a qualidade do ar em Porto Alegre esteve dentro dos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA N° 3 de 28/06/90, com exceção da estação Benjamin Constant na qual a concentração de PTS superou o padrão primário anual. Verificou-se nas chuvas uma melhoria em relação ao estudo realizado pelo IPH/UFRGS no período 1986/1987. O pH das chuvas não apresenta mais características de chuvas ácidas, com valores entre 5,8 e 6,6. O sódio, juntamente com o cálcio, são os cátions que dominam a composição química da precipitação de Porto Alegre, sugerindo que a acidez da precipitação esteja controlada pelo efeito tampão destes íons na chuva. Os cloretos, sulfatos e nitratos são, nesta ordem, os principais ânions. A concentração de amônia, fosfato total, e metais tais como cromo chumbo e mercúrio classificam as chuvas portoalegrenses como águas de classe 4 pela resolução CONAMA. N° 20 de 06/06/86. Por outro lado, verificou-se a aderência do modelo ISCST3 na simulação de SO₂ e NO_x na área urbana de Porto Alegre mostrando que não são ultrapassadas as concentrações médias anuais daqueles contaminantes na área e que algumas estações de amostragem devem ser reposicionadas.

ABSTRACT

This study presents an evaluation of the quality of the air and of the rainwater of Porto Alegre in the period October/98 to March/99, as well as the application of the ISCST3 model to test the statistical adherence of the collected data to that of the USEPA. The air quality data was collected by FEPAM/RS and SMAM/PMPA. The rainwater quality data was obtained by means of the installation of a sampling network constituted of eleven samplers spread strategically in the area of Porto Alegre. For the air, the parameters SO₂, NO_x and the particles were analysed. Temperature, pH, conductivity, acidity, alkalinity, DQO, sulphates, chlorides, nitrates, phosphates, calcium, magnesium, potassium, lead, copper, cadmium, mercury and total iron in the rainwater, were measured. It was verified that as common ground the quality of the air in Porto Alegre was within the standards established in the CONAMA N° 3 Resolution of 06/28/90, except for the sampling station Benjamin Constant, in which the concentration of particles overcame the average annual primary standard. An improvement in the quality of the rain was verified in comparison with the study accomplished by IPH/UFRGS in the year 1986/1987. The pH of the rainwater didn't present characteristics of acid rain, with values ranging from 5.8 to 6.6. Sodium and calcium are the most important cations of the precipitation of Porto Alegre suggesting that the acidity of the precipitation is controlled, mainly, by the effect of these ions. The chlorides, sulphates and nitrates are in this order, the main anions. The concentration of ammonia, phosphate and metals such as chromium lead and mercury in the rainwater classify the water as class 4 according to the Brazilian Council of Environmental, CONAMA. On the other hand, the SO₂ and NO_x simulations with the ISCST3 model show that the average annual concentration of the contaminants obey the standards and that some monitoring stations should be better positioned to account for the air contamination.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1 Ar Atmosférico e Ar Poluído	4
3.2 A Poluição do Ar.....	4
3.3 Os Poluentes do Ar.....	6
3.3.1 Dióxido de Enxofre	6
3.3.2 Óxidos de Nitrogênio.....	7
3.3.3 Material Particulado	9
3.4 Padrões de Qualidade do Ar	9
3.5 Qualidade do Ar em Porto Alegre (Dados Históricos).....	10
3.6 Deposição Ácida	11
3.6.1 Mecanismos de Deposição de Íons Ácidos.....	11
3.6.1.1 Deposição Seca.....	12
3.6.1.2 Deposição Úmida	12
3.6.2 Poluentes na Água da Chuva.....	13
3.6.3 Avaliação Estatística dos Dados.....	14
3.6.3.1 Relações entre Dados de Qualidade da Chuva Encontrados na Literatura.....	14
3.6.4 Efeitos da Poluição Ácida	15
3.7 Aplicação da Modelação Matemática nos Estudos de Poluição Atmosférica.....	17
3.7.1 Modelo Gaussiano	18
3.7.1.1 Determinação de σ_y e σ_z	19
3.7.1.2 Determinação da Altura da Camada de Mistura	22
3.7.2 Programas de Computador Disponíveis	24
3.7.2.1 Descrição Geral do Modelo ISCST3.....	24
3.7.2.2 Opções do Modelo.....	24
3.7.2.3 Requisitos Básicos dos Dados de Entrada.....	24
3.7.2.4 Descrição Geral das Opções Disponíveis na Modelação.....	25
4. METODOLOGIA	28
4.1 Levantamento de Dados de Qualidade do Ar	28

4.2	Levantamento de Dados de Qualidade das Chuvas.....	30
4.2.1	Localização das Estações de Amostragem.....	30
4.2.2	Tipo de Amostragem de Chuva.....	32
4.2.3	Frequência de Amostragem	33
4.2.4	Variáveis de Caracterização da Qualidade da Água da Chuva.....	33
4.2.5	Análise Estatística dos Dados de Chuva.....	35
4.3	Relações entre Qualidade das Chuvas e Qualidade do Ar.....	36
4.4	Aplicação do Modelo ISCST3	37
4.4.1	Fontes de Emissão	37
4.4.2	Dados Meteorológicos para Aplicação do Modelo	39
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	41
5.1	QUALIDADE DO AR	41
5.1.1	Partículas Totais em Suspensão (PTS) do Ar	43
5.1.1.1	Distribuição Espacial	43
5.1.1.2	Distribuição Temporal	44
5.1.2	Dióxidos de Enxofre (SO ₂) do Ar	44
5.1.2.1	Distribuição Espacial	44
5.1.2.2	Distribuição Temporal	46
5.1.3	Óxidos de Nitrogênio (NO _x) do Ar	46
5.1.3.1	Distribuição Espacial	46
5.1.3.2	Distribuição Temporal	47
5.2	QUALIDADE DAS CHUVAS.....	47
5.2.1	Distribuição Espacial	48
5.2.1.1	Potencial de Hidrogênio – pH.....	48
5.2.1.2	Acidez e Alcalinidade.....	50
5.2.1.3	Sólidos	50
5.2.1.4	Demanda Química de Oxigênio (DQO)	51
5.2.1.5	Íons	52
5.2.1.6	Metais (Al, Cd, Cr, Pb, Cu, Hg, Fe total)	56
5.2.2	Comparação dos Dados de Qualidade das Chuvas com Estudos Anteriores	58
5.2.3	Níveis de Deposição	59
5.2.3.1	Comparação dos Níveis de Deposição deste Estudo com Estudos Anteriores em Porto Alegre.....	60

5.2.4	Variação Sazonal	61
5.3	Correlações Qualidade da Chuva – Qualidade do Ar.....	63
5.4	APLICAÇÃO DO MODELO ISCST3.....	64
5.4.1	Simulação das Concentrações de SO ₂	65
5.4.1.1	Região Metropolitana	65
5.4.1.2	Área Urbana do Município de Porto Alegre	65
5.4.2	Simulação das Concentrações de NO _x	69
5.4.2.1	Região Metropolitana	69
5.4.2.2	Área Urbana do Município de Porto Alegre	69
5.4.3	Comparação dos Valores Calculados (Simulados) com os Valores Medidos	71
5.4.3.1	Concentração de SO ₂	71
5.4.3.2	Concentração de NO _x	73
6.	CONCLUSÕES	75
7.	RECOMENDAÇÕES.....	77
8.	BIBLIOGRAFIA	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1	Gases que Compõem a Baixa Troposfera (limpa).....	4
Tabela 3.2	Principais Poluentes Atmosféricos e suas Fontes Majoritárias.....	5
Tabela 3.3	Padrões de Qualidade do Ar Segundo Resolução CONAMA N° 3 de 1990.....	10
Tabela 3.4	Valores Médios Históricos de Poluentes no Ar Registrados na Cidade de Porto Alegre ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Período 1991 a 1997.....	11
Tabela 3.5	Condições Meteorológicas Definindo os Tipos de Turbulência de Pasquill.....	20
Tabela 3.6	Valores das Constantes das Equações (2) e (3).....	20
Tabela 3.7	Coeficientes a e b da Equação (4).....	21
Tabela 3.8	Relação entre a Categoria Atmosférica e as Classes de Pasquill.....	21
Tabela 3.9	Funções σ de Briggs em Condições Rurais e Distâncias entre 100 m e 10 km.....	22
Tabela 3.10	Funções σ de Briggs em Condições Urbanas e Distâncias entre 100 m e 10 km.....	22
Tabela 3.11	Coeficientes a e b para o Cálculo de L	23
Tabela 4.1	Localização das Estações de Amostragem da Qualidade do Ar.....	30
Tabela 4.2	Localização dos Postos de Amostragem da Água da Chuva.....	32
Tabela 4.3	Parâmetros Analisados na Água da Chuva.....	35
Tabela 4.4	Correlação entre Poluentes do Ar e da Água da Chuva.....	36
Tabela 4.5	Localização e Características das Fontes.....	38
Tabela 4.6	Características das Emissões de Cada uma das Fontes.....	38
Tabela 5.1	Resultados Obtidos no Monitoramento da Qualidade do Ar das Estações de Amostragem da FEPAM/RS no Período Outubro/98 a Março/99.....	41
Tabela 5.2	Resultados Obtidos no Monitoramento da Qualidade do Ar das Estações de Amostragem da SMAM/PMPA no Período Outubro/98 a Março/99.....	42
Tabela 5.3	Variações Sazonais dos Poluentes Atmosféricos Medidos nas Estações da FEPAM/RS.....	42
Tabela 5.4	Variações Sazonais dos Poluentes Atmosféricos Medidos nas Estações da SAMAM/PMPA.....	43

Tabela 5.5	Concentração Média dos Íons Dissolvidos na Água da Chuva ($\mu\text{eq/L}$) de Porto Alegre no Período Outubro/98 – Março/99.....	53
Tabela 5.6	Concentração Média em $\mu\text{eq/L}$ dos Principais Íons na Água da Chuva em Diferentes Locais ao redor do Mundo	54
Tabela 5.7	Comparação da Concentração Média dos Poluentes da Água da Chuva do Estudo 1986/1987 com o Estudo Atual	58
Tabela 5.8	Valores Médios de Deposição em kg/ha do Período Outubro/98 – Março/99.....	60
Tabela 5.9	Deposição Média Anual em Kg/ha/ano em Porto Alegre.....	60
Tabela 5.10	Comparação da Carga Média Anual de Poluentes na Água da Chuva dos Estudos 1986/1987 e o Estudo Atual	61
Tabela 5.11	Valores Médios da Qualidade da Água da Chuva na Primavera e no Verão em Porto Alegre.....	62
Tabela 5.12	Coefficientes de Correlação das Variáveis Chuva Ar nos Diferentes Postos de Amostragem	63
Tabela 5.13	Comparação entre os Teores de SO_2 Medidos e Calculados	73
Tabela 5.14	Comparação entre os Teores de NO_x Medido e Calculado	74

LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1	Localização das Estações de Amostragem da Qualidade do Ar em Porto Alegre.....	29
Figura 4.2	Localização Estações de Amostragem de Qualidade das Chuvas em Porto Alegre.....	31
Figura 4.3	Amostrador Utilizado para a Coleta da Água da Chuva.....	34
Figura 4.4	Localização das Fontes Emissoras Ensaaiadas	40
Figura 5.1	Linhas de Isoconcentração de Valores Médios de SO ₂ no Ar de Porto Alegre no Período Outubro/98 a Março/99	45
Figura 5.2	Variação do pH nos Postos de Amostragem da Água da Chuva.....	48
Figura 5.3	Distribuição Espacial dos Valores Médios de pH na Chuva de Porto Alegre, Período Outubro/98 – Março/99.....	49
Figura 5.4	Variação da Acidez e Alcalinidade (em mg/L) nos Postos de Amostragem da Água da Chuva.....	50
Figura 5.5	Variação dos Sólidos Totais (ST) e Suspensos (SS) nos Postos de Amostragem da Água da Chuva	51
Figura 5.6	Variação da DQO nos Postos de Amostragem da Água da Chuva.....	52
Figura 5.7	Variação dos Cátions (em mg/L) nos Postos de Amostragem da Água da Chuva.....	52
Figura 5.8	Variação dos Ânions (em mg/L) nos Postos de Amostragem da Água da Chuva.....	53
Figura 5.9	Variação do Cr, Pb e Fe (em mg/L) nos Postos de Amostragem da Água da Chuva	56
Figura 5.10	Variação do Hg (em mg/L) nos Postos de Amostragem da Água da Chuva	57
Figura 5.11	Comparação das Concentrações Médias de Poluentes na Água da Chuva dos Estudos 1986/1987 e o Estudo Atual.....	58
Figura 5.12	Comparação da Carga Média Anual de Poluentes na Água da Chuva dos Estudos 1986/1987 e o Estudo Atual	61
Figura 5.13	Linhas de Isoconcentração dos Valores Médios Anuais de SO ₂ na Região Metropolitana de Porto Alegre Geradas pelo Modelo para as Principais Fontes Fixas Locais	66

Figura 5.14 Linhas de Isoconcentração Médias Anuais de SO ₂ na Área Urbana de Porto Alegre Geradas pelo Modelo para as Principais Fontes Fixas Locais.....	68
Figura 5.15 Linhas de Isoconcentração Médias Anuais de NO _x na Região Metropolitana de Porto Alegre para as Principais Fontes Fixas Locais.....	70
Figura 5.16 Linhas de Isoconcentração Médias Anuais de NO _x na Área Urbana de Porto Alegre Geradas pelo Modelo para as Principais Fontes Fixas Locais.....	72

LISTA DE SIMBOLOS

- ϵ : Altura média dos obstáculos na área de estudo
 ϕ : Latitude
 Ω : Taxa de rotação da terra = $7,29 \cdot 10^{-5} \text{ seg}^{-1}$
 σ_y : Desvio padrão da distribuição de concentração horizontal, medida na dimensão lateral da pluma (m)
 σ_z : Desvio padrão da distribuição de concentração vertical, medida na dimensão vertical da pluma (m)
 a, b : Coeficientes, que dependem da estabilidade atmosférica, segundo a tabela 3.11
 $C(s,r)$: Concentração no ponto $r = (x_r, y_r, z_r)$ devido a emissão no ponto $s = (x_s, y_s, z_s)$
 d : Distância entre o receptor e a fonte, na direção da pluma (m)
 f : Fator de coriolis
 h : Altura da camada de mistura
 h_e : Altura efetiva de emissão (m)
 L : Longitude de Monin-Obukhov
 PTS : Partículas totais em suspensão
 Q : Taxa de emissão (g/s)
 u_* : Velocidade de fricção do vento
 u : Velocidade média do vento (m/s)
 u_{10} : Velocidade do vento a 10 m de altura (medida pelo anemômetro)
 y_r : Distância entre o receptor e a fonte, no sentido transversal da pluma (m)
 Z_o : Comprimento de rugosidade
 z_r : Altura do receptor (m)

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

A poluição do ar e seus efeitos sobre os ecossistemas tem sido reconhecida como um problema de grande relevância em todo o planeta. A poluição atmosférica, decorrente das atividades humanas, industrializadas ou não, traz como consequência a poluição de todo o ecossistema. As águas das chuvas precipitam os poluentes e, deste modo, contaminam os rios, lagos e águas subterrâneas, uma vez que a chuva é o principal agente de recarga destes corpos de água.

Fenômenos como chuva ácida, depleção da camada de ozônio e efeito estufa estão na ordem do dia, sendo influenciados por poluentes primários tais como CO_2 , NO_x , SO_x , mercaptanos, clorofluorcarbonados, compostos metânicos, halogênios, metais traços, insumos e solventes industriais. Contaminantes secundários como o ozônio estão relacionados com os níveis de NO_x a nível atmosférico e troposférico. Compostos de enxofre, nitrogênio e cloro, além dos ácidos de "Bronstead" estão associados a chuvas ácidas. Compostos metânicos, CO_2 e óxidos de nitrogênio estão associados ao efeito estufa. A presença de material particulado funciona como meio de adsorção, de transporte de contaminantes e de opacidade da atmosfera.

A natureza dotou a atmosfera de vários mecanismos de remoção de contaminantes: absorção foliar, absorção no solo e na água, absorção por rochas, lavagem pela chuva, precipitação de material particulado e reações químicas ambientais. Estes mecanismos são ainda dependentes da dispersão meteorológica e de parâmetros de emissão de gases tais como temperatura, peso molecular, densidade, volatilidade, hidrofobicidade, etc...

Um diagnóstico quantitativo da qualidade da atmosfera de uma determinada região pode ser obtido através do estudo da composição química das águas da chuva, pois, quando ocorre a precipitação, as águas de chuva incorporam não só elementos e compostos químicos em solução mas também gases e material particulado em suspensão, refletindo assim, em caráter global e, sob o ponto de vista ambiental, o estado de degradação ou não em que se encontra a atmosfera da região.

Alguns trabalhos de pesquisa têm sido desenvolvidos na Região Metropolitana de Porto Alegre, pela preocupação com a qualidade dos recursos atmosféricos, das entidades que

lidam com o controle ambiental, já que aqueles influenciam a deteriorada qualidade dos recursos hídricos regionais.

Existem várias fontes prováveis de poluição atmosférica que afetam a qualidade do ar na Região Metropolitana de Porto Alegre (RMPA), entre elas uma refinaria de petróleo, um complexo petroquímico, siderúrgicas, metalúrgicas, cimenteiras, fábricas de papel, celulose e têxteis, curtumes, queima de carvão, veículos automotores bem como regiões densamente povoadas.

Este trabalho apresentará resultados da pesquisa financiada pela CNPq e pela FINEP/PRONEX sobre a qualidade do ar e das precipitações de Porto Alegre. Pesquisas anteriores detectaram o fenômeno de chuvas ácidas devido aos combustíveis fósseis, notadamente carvão e óleo diesel. Com a instalação de uma série de empreendimentos de grande porte como termoelétricas a carvão e a gás, fábricas de bebidas e de outras indústrias bem com o aumento do número de veículos, a bolha de ar sobre a Região Metropolitana de Porto Alegre poderia atingir níveis críticos de contaminação com conseqüente influência na qualidade da drenagem pluvial urbana regional. Níveis de SO_2 e NO_x serão simulados por um modelo padrão, o ISCST3.

2. OBJETIVOS

- Fazer um análise temporal e espacial da qualidade do ar em Porto Alegre, utilizando dados obtidos de amostragens realizadas pelas entidades que controlam a qualidade dos recursos atmosféricos em Porto Alegre, notadamente a FEPAM e a SMAM.
- Fazer uma análise da qualidade das chuvas na zona urbana de Porto Alegre e verificar e estabelecer relações entre as concentrações de poluentes atmosféricos SO_2 , NO_x e Partículas Totais em Suspensão (PTS) e as concentrações de SO_4^- , NO_3^- e sólidos na água da chuva.
- Aplicar o modelo ISCST3 e testar sua potencialidade na previsão da contaminação por grandes fontes fixas regionais. Além disso testar a aderência estatística deste modelo à série de dados climatológicos e de qualidade do ar de Porto Alegre, no período do levantamento, com o intuito de preencher falhas de dados em locais e pontos estratégicos.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Ar Atmosférico e Ar Poluído

O ar atmosférico é uma mistura de gases, contendo pequenas quantidades de matérias sólidas em suspensão, o qual é considerado puro quando apresenta a composição indicada na tabela 3.1 (Orsini & Andrade, 1997).

Tabela 3.1 Gases que Compõem a Baixa Troposfera (limpa)

Gás	Concentração Média Aproximada (ppm)	Tempo de Residência	Ciclo
Ar	0,934	-	Nenhum
Ne	18,000	-	Nenhum
Kr	1,100	-	Nenhum
Xe	0,090	-	Nenhum
N ₂	780.840	106 anos	Biológico e microbiológico
O ₂	209.460	10 anos	
H ₂ O	Variável	Até 30	De chuvas
CH ₄	1,65	7 anos	Biogênico
CO ₂	332	15 anos	Antropogênico e biogênico
CO	0,05 - 0,2	65 dias	Antropogênico e químico
H ₂	0,58	10 anos	Biogênico e químico
N ₂ O	0,33	10 anos	Antropogênico e químico
SO ₂	10-5-10-4	40 dias	

(Fonte: Orsini & Andrade, 1997)

Fontes naturais e antropogênicas, a existência de pequenas fontes fixas e de grande número de veículos trafegando numa cidade alteram os valores acima citados nas áreas industriais e nos centros urbanos densamente povoados .

3.2 A Poluição do Ar

A poluição do ar é um fenômeno caracterizado pela presença no ar de substâncias estranhas às especificadas na tabela 3.1, em níveis ou concentrações que sejam capazes de produzir efeitos indesejáveis ou perniciosos nos seres vivos e/ou nos materiais (Orsini &

Andrade, 1997). Essas substâncias passam a ser chamadas de poluentes. Na realidade, mesmo as substâncias mencionadas na tabela 3.1, quando em concentrações acima dos níveis previstos, podem ser consideradas como poluentes. A tabela 3.2 mostra os principais poluentes com as respectivas fontes que os geram.

Tabela 3.2 Principais Poluentes Atmosféricos e suas Fontes Majoritárias

Fontes		Poluentes
Fontes Estacionárias	Combustão	Material particulado, SO _x , monóxido de carbono, hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio (NO _x)
	Processos industriais	Material particulado, SO _x , HCl, hidrocarbonetos, mercaptanas, HF, H ₂ S, (NO _x),
	Queima de resíduos sólidos	Material particulado, SO _x , NO _x
	Outros	Hidrocarbonetos, material particulado
Fontes Móveis	Veículos a gasolina, diesel, álcool, aviões, motocicletas, etc.	Material particulado, monóxido de carbono, óxidos de enxofre, óxidos de nitrogênio, hidrocarbonetos, aldeídos, ácidos orgânicos.
Fontes Naturais		Material particulado, SO _x , H ₂ S, CO, NO _x , HC, dimetil sulfeto, dimetil di-sulfeto
Reações Químicas na Atmosfera		Poluentes secundários: O ₃ , aldeídos, ácidos orgânicos, nitratos orgânicos, aerossol fotoquímico, etc.

(Fonte: Galvão, 1991)

Os poluentes podem incluir qualquer composto natural ou artificial capaz de ser transportado pelo ar. Eles podem ocorrer como partículas sólidas, gotas líquidas, gases, fumos, fumaças ou em várias misturas destas formas.

Galvão (1991) classifica os poluentes atmosféricos em duas categorias:

Primários : Aqueles gerados pela ação do homem e que são emitidos diretamente pelas fontes na atmosfera

Secundários : Aqueles poluentes que são formados na atmosfera por reações químicas envolvendo poluentes primários

Durante a transformação química de um poluente primário em secundário, o composto químico pode mudar de estado inofensivo para um outro que pode ser danoso em altas concentrações (Henderson-Sellers, 1984).

Os poluentes do ar também são produzidos pela natureza, como exemplos podem ser citados o pólen, poros, bactérias, poeiras do solo, aerossóis marinhos, gases e material sólido resultantes de erupções vulcânicas, bem como fumaça de queima de florestas por raios (Galvão, 1991).

3.3 Os Poluentes do Ar

Como já foi apresentado, muitos são os poluentes lançados continuamente à atmosfera, seja por processos naturais ou antropogênicos. Aqueles que representam maior preocupação e têm sido estudados com um nível maior de aprofundamento estão descritos nos itens subsequentes, a saber, dióxido de enxofre, óxidos de nitrogênio e material particulado.

3.3.1 Dióxido de Enxofre

O dióxido de enxofre é um gás incolor, não inflamável que resulta essencialmente da queima de combustíveis fósseis, principalmente no setor da produção de energia e de diversos processos industriais, podendo também ser emitido em pequenas quantidades pelos veículos a diesel (Alebic, 1995). É classificado como poluente primário, pois resulta de eventos naturais ou atividades humanas e passa diretamente para a atmosfera após ser gerado (Henderson-Sellers, 1984)

A atmosfera também recebe doses naturais de enxofre provenientes da erupção de vulcões, do mar e de certos processos no solo. Na média global as emissões artificiais de dióxido de enxofre são quase equivalentes às emissões de fontes naturais. Em contraste, nos países industrializados de Europa e América do Norte as atividades antropogênicas são responsáveis por cerca de 90% das emissões de SO₂ (SEPA, 1993).

O SO₂ pode vir a reagir de uma maneira complexa com particulados metálicos, vapor de água e oxidantes atmosféricos, formando sulfatos que se dispersam sob a forma de aerossóis e se precipitam constituindo a chuva ácida (Macintyre, 1990).

Segundo Alebic (1995), na atmosfera o SO_2 pode ser convertido a sulfatos pela seguintes vias:

- Formação de vapor de ácido sulfúrico através de reações fotoquímicas e térmicas;
- oxidação de SO_2 nas nuvens e névoas depois de sua absorção;
- oxidação nas partículas de aerossol existentes.

A exposição crônica em ambientes contaminados com dióxido de enxofre pode causar efeitos graves aos pulmões, irritação respiratória, tosse, sangramento no nariz e até morte por asfixia (Chadwick & Kuylenstierna, 1992).

Concentrações elevadas de SO_2 podem provocar alterações nos processos metabólicos das plantas, das quais se destacam a redução da taxa de crescimento e da taxa fotossintética, especialmente quando combinadas com determinadas condições adversas como as baixas temperaturas (SEPA, 1993). Entre outros efeitos mais facilmente observáveis destacam-se o aparecimento de necroses, bem como o aumento da sensibilidade ao gelo e aos parasitas. A sensibilidade dos diferentes tipos de plantas é muito variável sendo os líquens os mais suscetíveis (McCormick, 1997).

3.3.2 Óxidos de Nitrogênio

Os óxidos de nitrogênio incluem óxido nitroso (N_2O), óxido nítrico (NO), dióxido de nitrogênio (NO_2), trióxido de nitrogênio (NO_3), tetraóxido de nitrogênio (N_2O_4) e pentóxido de nitrogênio (N_2O_5). Contudo, só três deles, óxido nitroso (N_2O), óxido nítrico (NO) e dióxido de nitrogênio (NO_2) são encontrados em quantidades apreciáveis (Stern, 1976). Os dois últimos, NO e NO_2 , são frequentemente analisados juntos no ar e são referidos como "óxidos de nitrogênio" e representados pelo símbolo NO_x .

O óxido nitroso (N_2O), é um gás incolor, não tóxico, presente no ambiente natural em quantidades relativamente grandes quando comparado às concentrações de outros gases traços, exceto dióxido de carbono, metano e gases nobres (Stern, 1976). Este gás tem sido associado com reações fotoquímicas na alta atmosfera. Devido a sua baixa reatividade na baixa atmosfera é ignorado geralmente nos estudos de poluição atmosférica (Stern, 1976).

O óxido nítrico (NO) é um gás sem cor, sem odor e sem sabor. É produzido na natureza por reações biológicas e por processos de combustão. No ar é oxidado rapidamente pelo ozônio atmosférico e por processos fotoquímicos e mais lentamente pelo oxigênio para formar dióxido de nitrogênio (McCormick, 1997). Como poluente, o óxido nítrico é produzido amplamente por combustão de combustíveis tanto de fontes móveis quanto de estacionárias (Macintyre, 1990).

O dióxido de nitrogênio é um gás de cor marrom avermelhada com um odor irritante. Fontes naturais de NO₂ são devidas principalmente a processos biológicos envolvendo nitratos que são reduzidos a nitritos seguido por conversão a ácido nitroso (HNO₂), decomposição a óxido nitroso e oxidação a dióxido de nitrogênio (Stern, 1976).

O dióxido de nitrogênio reage com os hidrocarbonetos e o ozônio em presença de luz solar, produzindo smog e certos compostos que irritam os olhos e prejudicam seriamente as vias respiratórias, os brônquios e os alvéolos pulmonares. É considerado fisicamente tóxico e causa dano aos vegetais (Macintyre, 1990)

Segundo Adachi e Kobayashi (1992), a proporção de emissão de NO_x de diferentes fontes varia regionalmente. O setor de transportes é responsável por 50% das emissões na União Européia e por 38% das emissões nos Estados Unidos e no Canadá, enquanto a geração de energia é responsável por 20% das emissões na União Européia, 37% nos Estados Unidos e 14% no Canadá.

Os óxidos de nitrogênio representam um fator crítico em muitas cidades da América Latina, onde a combinação do grande tráfego de veículos com padrões de ventos locais podem, freqüentemente, recircular óxidos de nitrogênio unido a outros poluentes, criando severos problemas de *smog* fotoquímico (McCormick 1997).

Na baixa atmosfera, os NO_x combinados com compostos orgânicos voláteis na presença de luz solar formam o ozônio que é o componente principal do *smog* urbano. Na alta atmosfera, os NO_x atuam como precursores, junto com outros gases, na destruição da camada de ozônio (McCormic, 1997).

3.3.3 Material Particulado

Os particulados são suspensões de substâncias fixas, sólidas ou líquidas existentes no ar. Existem dois termos para designá-los: partículas e aerossóis. As partículas referem-se somente às substâncias sólidas suspensas no ar. Alguns exemplos de particulados são: fuligem, partículas de solo, gotas oleaginosas, poeiras, névoa ácida, fumaça, fumos e neblina.

Na atmosfera os particulados ocorrem em vários tamanhos e formas. Usualmente são classificados em particulados finos (com diâmetro menor de 2,5 μm) e particulados grosseiros (com diâmetro maior de 2,5 μm) (Galvão, 1992). Os particulados finos são formados primariamente pela combustão incompleta e/ou reações químicas de poluentes primários na atmosfera (Stern, 1976). São leves em peso e podem persistir na atmosfera por dias. Os particulados grosseiros são formados primariamente pela suspensão de poeiras do solo, processos de trituração e moagem e brisa marinha. Causam menos problemas que os particulados finos, uma vez que a gravidade faz sua deposição no solo em poucas horas (Galvão, 1992).

3.4 Padrões de Qualidade do Ar

A Legislação Federal Brasileira, mediante a Resolução CONAMA N° 003/90, estabeleceu padrões de qualidade do ar, isto é, critérios e níveis de poluentes dispersos na atmosfera que não devem ser ultrapassados, com base em dois aspectos: variação temporal e toxicidade.

Quanto a variação temporal, os padrões de qualidade dizem respeito a curtos períodos (24 horas de amostragem) e a longos períodos (médias acumuladas durante um ano), para os dados medidos durante os períodos de 24 horas. Desta forma são consideradas as variações meteorológicas e das fontes poluidoras com o tempo (FEPAM, 1997).

Esta resolução estabelece os seguintes conceitos:

Padrões Primários de qualidade do ar são as concentrações de poluentes que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população.

Padrões Secundários de qualidade do ar são as concentrações de poluentes abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem-estar da população, assim como o mínimo dano à fauna, à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral.

Os parâmetros de qualidade do ar medidos nas estações de amostragem do ar em Porto Alegre podem ser resumidos na tabela 3.3.

Tabela 3.3 Padrões de Qualidade do Ar Segundo Resolução CONAMA Nº 3 de 1990

Poluente	Padrão de Qualidade do Ar	Período	Concentração
PTS	Padrão Primário	24 h 1 ano	240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ * MGA = 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Padrão Secundário	24 h 1 ano	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ * MGA = 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
SO ₂	Padrão Primário	24 h 1 ano	365 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ * MAA = 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Padrão Secundário	24 h 1 ano	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ * MAA = 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
NO _x	Padrão Primário	1 h 1 ano	320 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ** MAA = 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Padrão Secundário	1 h 1 ano	190 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ** MAA = 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

*As concentrações médias de 24h não devem ser excedidas mais de uma vez ao ano

** As concentrações médias de 1 hora não devem ser excedidas

MGA : Média Geométrica Anual

MAA Média Aritmética Anual

3.5 Qualidade do Ar em Porto Alegre (Dados Históricos)

O monitoramento da qualidade do ar no Município de Porto Alegre vem sendo realizado desde o mês de junho de 1992 pela Secretaria do Meio Ambiente (SMAM) da Prefeitura Municipal de Porto Alegre e pela Fundação Estadual de Proteção Ambiental (FEPAM) desde 1981. Atualmente, na área urbana de Porto Alegre existem três estações de amostragem operadas pela FEPAM, onde são monitorados SO₂ e PTS, e três estações operadas pela SMAM, nas quais são monitorados NO_x e SO₂. A 3.4 apresenta os valores médios históricos destas estações.

Tabela 3.4 Valores Médios Históricos de Poluentes no Ar Registrados na Cidade de Porto Alegre ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Período 1991 a 1997

Estação	Localização	Entidade Responsável	Valores Médios Históricos ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
			SO ₂	NO _x	PTS
Rodoviária	Avenida da Conceição, perto da Estação Rodoviária de Porto Alegre	SMAM/PMPA	24,33	62,17	*
Azenha	Avenida Azenha, perto das instalações do DMLU, bairro Azenha	SMAM/PMPA	11,33	57,00	*
HPS	Hospital Pronto Socorro, Avenida Osvaldo Aranha	SMAM/PMPA	22,33	60,33	*
Benjamin Constant	Junto à rótula das avenidas Benjamin Constant com Dom Pedro II, bairro São João	FEPAM/RS	13,50	*	113.26
Oitavo DISME	Oitavo Distrito de Meteorologia de Porto Alegre, junto ao Jardim Botânico	FEPAM/RS	43,60	*	148.28
CEASA	Junto às Centrais de Abastecimento do Rio Grande do Sul, bairro Anchieta	FEPAM/RS	74,60	*	209.76

* Parâmetro não medido nesta estação
(Fonte : FEPAM/SMAM, 1998)

3.6 Deposição Ácida

A deterioração da qualidade da água das chuvas e a ocorrência de precipitação ácida (chuva ácida) em muitas regiões do planeta são consequência dos efeitos de poluentes na atmosfera. Compostos de enxofre, nitrogênio e cloretos são os principais poluentes causadores desse efeito, principalmente nas áreas urbanas e industriais (Milano 1989). Estas substâncias são convertidas a ácidos em atmosfera úmida (ácido sulfúrico, ácido nítrico, ácido clorídrico) contribuindo para o rebaixamento do pH da água da chuva.

3.6.1 Mecanismos de Deposição de Íons Ácidos

Segundo McCormick (1997) , os poluentes lançados na atmosfera contribuem com a acidificação de duas maneiras principais cada uma delas apresentando diferentes consequências, que serão descritas a seguir.

3.6.1.1 Deposição Seca

Este mecanismo de deposição predomina na vizinhança da fonte de emissão e envolve SO_2 , NO_x , sulfatos e nitratos retornando à superfície da terra em forma de gases ou partículas que podem ser convertidos a ácidos através de adsorção (quando um gás se acumula na superfície de um sólido) ou absorção (quando SO_2 e NO_x entram nos estômatos das plantas e são oxidados a ácidos dentro das folhas). A acidificação pode também ocorrer diretamente sobre a superfície da vegetação ou do solo quando o material seco depositado é dissolvido na chuva ou na neve. A deposição seca é a forma mais simples de poluição ácida, não estando porém completamente entendida. As taxas de deposição são difíceis de medir e os mecanismos de transporte e as reações na superfície da terra não são muito claros. Apenas 10% da deposição total é deposição seca (De Luca, 1991).

3.6.1.2 Deposição Úmida

Este tipo de deposição é mais comum a grandes distâncias da fonte de emissão. Nesta fase, a qual é melhor compreendida do que a fase seca, os óxidos são lavados pela umidade atmosférica e sofrem reações químicas que podem torná-los ácidos em períodos de tempo de até uma hora. Posteriormente eles retornam à terra como chuva ácida.

A deposição úmida é o tipo mais freqüente de poluição ácida. Os poluentes podem se ligar de diferentes formas. A mais importante destas é a nucleação, na qual moléculas de água sobre receptores apropriados, tais como poeira e outros poluentes, formam uma nuvem de gotas de chuva ou cristais de gelo contendo o poluente. O segundo maior processo é a difusão, resultante da difusão de partículas de poluentes do ar na superfície das gotas de chuva. Finalmente, poluentes e gotas de chuva podem ser ligados por simples inércia.

A chuva é um dos mecanismos de deposição úmida. A água da chuva é naturalmente ácida devida a dissolução do dióxido de carbono (CO_2) que, nas concentrações e pressões normais na atmosfera (340 ppm e 1 atm), confere à precipitação um pH de 5,6 (ou uma acidez livre na água de 2,24 $\mu\text{eq/L}$ de íons hidrogênio H^+), o qual é considerado a linha de base natural para conceituar, em escala global, a chuva ácida (Ellis & Bowman, 1994).

Num sentido restrito, chuva ácida refere-se à precipitação úmida de compostos ácidos, os quais dissolvem-se nas nuvens e nas gotas de chuva para formar uma solução com um pH inferior a 5,6 (Figueredo, 1994). Entretanto, hoje este termo se tornou de uso mais generalizado, para abranger a deposição seca de poluentes ácidos gasosos e particulados. A tendência é usar a expressão “precipitação ácida” para incluir ambas as formas de deposição, ficando o termo “chuva ácida” realmente limitado à deposição úmida dos compostos ácidos.

3.6.2 Poluentes na Água da Chuva

A composição química da água da chuva é o resultado da combinação de uma série de parâmetros químicos e físicos de gases tais como : pressão parcial, coeficiente de solubilidade, velocidade de reação de espécies químicas gasosas (SO_2 , HNO_3 , NH_3 etc.) na atmosfera, temperatura, dimensão das gotas de chuva e aerossóis atmosféricos (Adewuyi, 1976, apud De Mello, 1993). Todos esses fatores atuam simultaneamente durante a formação e transporte das nuvens, bem como no decorrer da precipitação.

A qualidade da água da chuva pode variar em função do tipo de carga poluidora e das condições meteorológicas (intensidade, duração e tipo de chuva; regime dos ventos; estações do ano, etc.) (Milano, 1989).

Concentrações de metais pesados na água da chuva tais como zinco, chumbo, cádmio ou berílio podem ser associados a cinzas volantes de carvão mineral ou vegetal e ao uso e desgaste de freios e pneus de veículos (De Luca, 1991). Os íons cálcio, magnésio e potássio são provenientes principalmente de poeiras do solo, fabricação de cimento e da indústria cerâmica. Os íons sódio e cloreto ocorrem principalmente nas proximidades do mar. O íon amônia provém principalmente de fenômenos naturais que ocorrem na decomposição de matéria orgânica (McCormick, 1997). Os íons amônia, cálcio, magnésio e potássio são neutralizadores e atuam, também, como nutrientes quando precipitados (De Luca, 1991)

Compostos de ferro e alumínio dissolvidos são também capazes de gerar ácidos fracos em meio líquido podendo contribuir para a produção de acidez (Milano, 1989).

O Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) realizou monitoramento da qualidade da água das chuvas nos períodos de Outubro/1985 a Março/1986 (10 postos) e de

Dezembro/1986 a Novembro/1987 (23 postos). Os dados registraram uma ocorrência significativa de chuvas ácidas em 1987. Os sulfatos e cloretos foram os principais poluentes na geração de acidez, apresentando altas concentrações, enquanto os teores de nitratos e metais pesados foram baixos na região. As concentrações de cálcio, potássio e magnésio foram semelhantes às de regiões industrializadas, favorecendo a neutralização da acidez gerada por cloretos, sulfatos, nitratos e ferro dissolvidos.

3.6.3 Avaliação Estatística dos Dados

As principais variáveis analisadas na maioria dos estudos sobre poluição das águas da chuva fazem referência ao pH e aos íons dissolvidos. O tratamento estatístico dos dados está focado na determinação dos valores médios para caracterizar a qualidade da chuva e no estabelecimento de relações estatísticas significativas entre as diferentes variáveis medidas.

3.6.3.1 Relações entre Dados de Qualidade da Chuva Encontrados na Literatura

Figueredo (1994), em estudo realizado sobre as chuvas ácidas na Região Metropolitana de Belo Horizonte (MG), encontrou altas correlações do cálcio com o sulfato ($0,82 < r < 0,91$) e do cálcio com o nitrato ($0,72 < r < 0,95$) nas estações de amostragem analisadas. Tais correlações podem ser devidas à neutralização do ácido sulfúrico e do ácido nítrico com poeiras alcalinas contendo carbonato de cálcio, o que resultaria na formação de sulfato de cálcio, nitrato de cálcio e ácido carbônico na água da chuva coletada. No mesmo estudo, as análises de regressão linear múltipla mostraram valores relativamente elevados do coeficiente de determinação r^2 para a associação H^+ vs. a razão SO_4^{2-}/Ca^{2+} e NO_3^-/NH_4^+ ($r^2=0,66$) e para associação H^+ vs. a razão SO_4^{2-}/Ca^{2+} , NO_3^-/Ca^{2+} e NO_3^-/NH_4^+ ($r^2=0,81$)

Os ânions NO_3^- e SO_4^{2-} apresentaram correlação significativa ($R = 0,81$) no estudo desenvolvido por Tsurumi (1990) sobre a origem das espécies químicas solúveis na água da chuva na região de Tóquio, no Japão. Em compensação, no estudo de chuvas ácidas de Singer (1993) em Mt Carmel, Israel, as melhores correlações se apresentaram entre os íons Mg^{2+} e Cl^- ($r=0,91$) e entre os íons Na^+ e Cl^- ($r=0,92$), influenciados principalmente pelos aerossóis marinhos da área de estudo.

Por outro lado, no estudo sobre a qualidade da água das chuvas da Região Metropolitana de Porto Alegre, IPH/UFRGS (1988), as principais correlações se apresentaram entre as variáveis condutividade e SO_4^{2-} ($r=0,85$), condutividade e Cl^- ($r=0,80$), condutividade e ΣIons ($r=0,94$) e entre acidez e ΣIons ($r=0,85$).

3.6.4 Efeitos da Poluição Ácida

Os efeitos negativos das chuvas ácidas são observados nos ambientes aquáticos, no solo, na vegetação e nos materiais, e, indiretamente, sobre a saúde humana (McCormick, 1997). Os efeitos da acidificação de águas superficiais têm ocorrido principalmente nos países nórdicos (Noruega, Suécia, Finlândia e Dinamarca), em partes da Escócia e na porção nordeste da América do Norte, onde vários lagos encontram-se literalmente sem peixes (Sewdsh Secretariat on Acid Rain, 1998).

Em sistemas aquáticos, a deposição ácida pode afetar estes ecossistemas mediante a diminuição do pH. Porém, nem todos os sistemas aquáticos são afetados igualmente. Aqueles corpos de água que se encontram sobre camadas de rocha ou sedimentos ricos em cálcio e/ou magnésio são naturalmente tamponados dos efeitos da deposição ácida (Swedish Environmental Protection Agency, 1990). Um dos principais efeitos sobre os sistemas aquáticos é o declínio da quantidade de peixes. Num primeiro momento se acreditava que os peixes morriam somente devido ao incremento da acidez da água, porém, nos anos 70, cientistas descobriram que os lagos acidificados também continham altas concentrações de metais pesados tóxicos tais como mercúrio, alumínio e cádmio que também contribuíam para o processo. A fonte destes metais pesados eram os solos e rochas ao redor do corpo de água. Normalmente estes compostos químicos se encontram localizados em partículas de argila, minerais e rochas. Contudo, a acidificação dos solos e rochas pode fazer com que os íons destes metais se tornem solúveis (McCormick, 1997).

O impacto da deposição ácida na vegetação é dependente do tipo de solo no qual a planta cresce (Swedish Environmental Protection Agency, 1993). De igual forma, como ocorre com as águas superficiais, muitos solos têm uma capacidade tampão natural e são capazes de neutralizar ácidos. Em geral, os solos que têm compostos de cálcio são melhores neutralizando ácidos que os solos silíceos. Segundo a Swedish Environmental Protection

Agency (1993) em solos com capacidade tampão baixa a vegetação é afetada nos seguintes aspectos:

- O incremento da acidez resulta na lixiviação de vários nutrientes importantes, incluindo cálcio, potássio e magnésio. A redução da disponibilidade destes nutrientes causa o declínio da taxa de crescimento da planta;
- O alumínio chega a ser mais móvel em solos acidificados. Causa dano nas raízes e interfere com a capacidade da planta de captar outros nutrientes tais como magnésio e potássio;
- Altas concentrações de ácido nítrico podem incrementar a disponibilidade de nitrogênio e reduzir a disponibilidade de outros nutrientes necessários para o crescimento da planta;
- A precipitação ácida causa dano direto à folhagem da planta, especialmente quando a precipitação é na forma de neblina ou orvalho;
- A deposição ácida pode lavar nutrientes dos tecidos da planta, enfraquecendo sua estrutura

A combinação destes efeitos leva a planta a ter reduzida sua taxa de crescimento e a sua capacidade de florescer, tornando-se mais vulnerável a doenças, insetos, déficit hídrico e geadas.

Na saúde humana, segundo o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente - UNEP (1985), existe a suspeita da chuva ácida ser responsável por riscos indiretos causados por metais pesados como chumbo, cobre, zinco, cádmio e mercúrio liberados de solos e sedimentos por causa do aumento da acidez. Esses metais podem atingir as águas subterrâneas, rios, lagos e correntes usadas para a provisão de água potável e serem introduzidos na cadeia alimentar que chega ao homem.

Finalmente, os efeitos da deposição ácida podem causar diretamente danos aos materiais de construção através da corrosão atmosférica ou indiretamente através da acidificação de solos e água (Sewdish Secretariat on Acid Rain, 1998). Edificações e monumentos que são construídos de mármore são facilmente atacados por ácidos, assim como estruturas que são construídas de ferro ou aço. Da mesma maneira, a pintura dos carros pode reagir com a deposição ácida, causando descoloramento. Muitas das igrejas, catedrais e monumentos da Europa estão sob o ataque da poluição ácida, sofrendo seus efeitos.

3.7 Aplicação da Modelação Matemática nos Estudos de Poluição Atmosférica

Para simular os efeitos na atmosfera da dispersão de poluentes de múltiplas fontes tem-se desenvolvido diversos modelos de dispersão ou de simulação da qualidade do ar.

Os métodos de simulação cobrem um amplo espectro, sendo frequentemente utilizados modelos físicos, matemáticos ou físico-matemáticos, complementados por ensaios e provas experimentais tomando dados “in situ” (Zannetti, 1990).

Um modelo de difusão é uma expressão matemática dos efeitos na atmosfera sobre os poluentes do ar. Isto inclui os efeitos de advecção (transporte) e dispersão (incluindo diluição pelo vento e dispersão devido à turbulência), assim como considerações sobre a elevação da pluma, transformações físicas e químicas dos poluentes e mecanismos de remoção (Turner, 1979 apud Brigoni, 1983).

Segundo Zannetti (1990) a dispersão da poluição do ar pode ser numericamente simulada por várias técnicas, as quais estão divididas nas seguintes categorias:

Modelos Eulerianos

Modelos Lagrangianos

Modelos Gaussianos

A diferença básica entre os dois primeiros é que nos modelos Eulerianos o sistema de referência é fixado, enquanto que nos modelos Lagrangianos o sistema de referência segue o movimento atmosférico médio.

Os modelos de dispersão Gaussianos, os quais podem ser vistos do ponto de vista Euleriano ou Lagrangiano, são os mais comuns em estudos de poluição atmosférica (Zannetti, 1990). O mais empregado deles, o ISCST3 (Industrial Source Complex Short Term Model 3) da USEPA, será utilizado neste trabalho.

3.7.1 Modelo Gaussiano

Este modelo é baseado numa simples fórmula que descreve a concentração tridimensional gerada por uma fonte pontual (pluma) sob condições estacionárias meteorológicas e de emissão.

Em geral, a fórmula da pluma gaussiana é expressada por:

$$C(s,r) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z\bar{u}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y_r}{\sigma_y}\right)^2\right] \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{h_e - z_r}{\sigma_z}\right)^2\right] \quad (1)$$

Onde:

$C(s,r)$: é a concentração no ponto $r = (x_r, y_r, z_r)$ devido a emissão no ponto $s = (x_s, y_s, z_s)$

Q : é a taxa de emissão (g/s)

σ_y : desvio padrão da distribuição de concentração horizontal, medida na dimensão lateral da pluma (m)

σ_z : desvio padrão da distribuição de concentração vertical, medida na dimensão vertical da pluma (m)

\bar{u} : é a velocidade média do vento (m/s)

y_r : é a distância entre o receptor e a fonte, no sentido transversal da pluma (m)

h_e : é a altura efetiva de emissão (m)

z_r : é a altura do receptor (m)

Os desvios padrão σ_y e σ_z , são chamados de parâmetros de dispersão e são pontos fundamentais no ajuste dos modelos. Eles refletem a influência do estado da atmosfera, bem como os aspectos do relevo local na dispersão da pluma (Degrazia, 1983).

Os ventos representam o papel mais importante na dispersão. São eles que promovem a diluição dos gases poluentes e afetam diretamente a dispersão horizontal da pluma. A dispersão vertical é afetada principalmente pelo gradiente térmico da atmosfera, isto é, pela variação da temperatura do ar com a altura, e representa uma média da estabilidade atmosférica. A estabilidade ou instabilidade do ar depende da radiação solar incidente e, conseqüentemente, do grau de nebulosidade, da latitude geográfica, da época do ano, da hora

do dia considerada e ainda, da velocidade do vento que irá homogeneizar as diversas camadas de ar (Brigoni, 1983).

Um outro fator meteorológico importante na dispersão de poluentes gasosos na atmosfera é a altura da camada de mistura, que é a camada na qual variáveis como temperatura potencial ou razão de mistura são constantes, devido à intensa mistura existente em decorrência da turbulência (Carvalho et al, 1996).

Nos itens subsequentes serão apresentados os métodos para a determinação dos parâmetros de dispersão (σ_y e σ_z) e da altura da camada de mistura.

3.7.1.1 Determinação de σ_y e σ_z

A aplicação prática da equação (1) requer estimativas de σ_y e de σ_z . Estas duas quantidades, conhecidas como parâmetros de difusão, são função da distância da fonte e das classes de estabilidade atmosférica e são governadas basicamente pelo estado dinâmico da atmosfera no momento em que são lançados os poluentes.

Avaliação semiempírica de σ

Pasquill propôs um esquema simples de classificar a turbulência. Ele apresentou informações sobre a dispersão lateral σ_y e a dispersão vertical σ_z de plumas, como função de seis classes de estabilidade atmosférica, classificadas de “A” até “F” e arranjadas da forma apresentada a seguir.

- A: Condições extremamente instáveis
- B: Condições moderadamente instáveis
- C: Condições levemente instáveis
- D: Condições neutras
- E: Condições levemente estáveis
- F: Condições moderadamente estáveis

A categoria de estabilidade aplicável é escolhida pela referência a uma tabela relacionando estas a observações de velocidade do vento, cobertura de nuvens e condições de insolação (tabela 3.5).

Tabela 3.5 Condições Meteorológicas Definindo os Tipos de Turbulência de Pasquill

Velocidade do Vento a 10 m (m/s)	Insolação Diurna			Condições noturnas	
	Forte	Moderada	Fraca	Cobertura de nuvens $\geq 4/8$	Cobertura de nuvens $\leq 3/8$
$0 \leq u_s < 2$	A	A-B	B	-	-
$2 \leq u_s < 3$	A-B	B	C	E	F
$3 \leq u_s < 5$	B	B-C	C	D	E
$5 \leq u_s < 6$	C	C-D	D	D	D
$6 \leq u_s$	C	D	D	D	D

(Fonte: Degrazia, 1983)

Após o cálculo da classe de estabilidade, σ_y e σ_z podem ser calculadas a qualquer distância x (no sentido da direção do vento) escolhendo alguma das diversas formulações apresentadas a seguir:

1. Valores de σ de Pasquill-Gifford (Gifford 1961, apud Zannetti, 1990) graficamente apresentados por Turner (1970), e analiticamente por Green et al. (1980) como:

$$\sigma_y(x) = \frac{k_1 x}{[1 + (x/k_2)]^{k_3}} \quad (2)$$

$$\sigma_z(x) = \frac{k_4 x}{[1 + (x/k_2)]^{k_5}} \quad (3)$$

Onde as constantes k_1, k_2, k_3, k_4, k_5 , são apresentadas na tabela 3.6

Tabela 3.6 Valores das Constantes das Equações (2) e (3)

Classe de Estabilidade	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5
A	0,2500	927	0,189	0,1020	-1,918
B	0,2020	370	0,162	0,0962	-0,101
C	0,1340	283	0,134	0,0722	0,102
D	0,0787	707	0,135	0,0475	0,465
E	0,0566	1070	0,137	0,0335	0,624
F	0,0370	1170	0,134	0,0220	0,700

(Fonte: Zannetti, 1990)

Os valores de σ de Pasquill-Gifford são as formulações mais usadas em aplicações de modelos regulatórios da U.S EPA. (Zannetti, 1990).

2. Valores de σ de Brookhaven (Smith, 1968 apud Zannetti, 1990), os quais são determinados mediante uma única função potencial para σ_y e σ_z apresentada a seguir:

$$\sigma = ax^b \quad (4)$$

A tabela 3.7 fornece os coeficientes a e b para cada categoria atmosférica e a tabela 3.8 ilustra a relação entre cada categoria atmosférica e as classes de Pasquill

Tabela 3.7 Coeficientes a e b da Equação (4)

Categoria Atmosférica	σ_y		σ_z	
	a	b	a	b
B ₂	0,40	0,91	0,41	0,91
B ₁	0,36	0,86	0,33	0,86
C	0,32	0,78	0,22	0,78
D	0,31	0,71	0,06	0,71

(Fonte: Zannetti, 1990)

Tabela 3.8 Relação entre a Categoria Atmosférica e as Classes de Pasquill

Classe de Pasquill	Categoria Atmosférica
A	B ₂ (muito instável)
B	B ₁ (instável)
C	B ₁ (instável)
D	C (neutral)
E	C/D (neutral/estável)
F	D (estável)

(Fonte: Zannetti, 1990)

3. Valores de σ de Briggs (Briggs, 1973 apud Zannetti, 1990) em versões rural e urbana fornecem um esquema de interpolação que concorda com os valores de Pasquill-Gifford

na faixa de 100 m a 10 km no sentido da direção do vento, exceto para valores de σ_z nas classes A e B que se aproximam melhor das curvas B1 e B2 de Brookhaven. Nas tabelas 3.9 e 3.10 são apresentados os valores de σ de Briggs, onde x representa a distância em metros da fonte na direção do vento predominante.

Tabela 3.9 Funções σ de Briggs em Condições Rurais e Distâncias entre 100 m e 10 km

Classe de Pasquill	σ_y (m)	σ_z (m)
A-B	$0,32 x (1 + 0,0004 x)^{-0,5}$	$0,24 x (1 + 0,001 x)^{0,5}$
C	$0,22 x (1 + 0,0004 x)^{-0,5}$	$0,20 x$
D	$0,16 x (1 + 0,0004 x)^{-0,5}$	$0,14 x (1 + 0,0003 x)^{-0,5}$
E-F	$0,11 x (1 + 0,0004 x)^{-0,5}$	$0,08 x (1 + 0,00015 x)^{-0,5}$

(Fonte: Zannetti, 1990)

Tabela 3.10 Funções σ de Briggs em Condições Urbanas e Distâncias entre 100 m e 10 km

Classe de Pasquill	σ_y (m)	σ_z (m)
A	$0,22 x (1 + 0,0001 x)^{-0,5}$	$0,20 x$
B	$0,16 x (1 + 0,0001 x)^{-0,5}$	$0,12 x$
C	$0,11 x (1 + 0,0001 x)^{-0,5}$	$0,08 x (1 + 0,0002 x)^{-0,5}$
D	$0,08 x (1 + 0,0001 x)^{-0,5}$	$0,06 x (1 + 0,0015 x)^{-0,5}$
E	$0,06 x (1 + 0,0001 x)^{-0,5}$	$0,03 x (1 + 0,0003 x)^{-1}$
F	$0,04 x (1 + 0,0001 x)^{-0,5}$	$0,016 x (1 + 0,00015 x)^{-1}$

(Fonte: Zannetti, 1990)

3.7.1.2 Determinação da Altura da Camada de Mistura

A altura da camada de mistura pode ser determinada diretamente mediante medidas por radiosondagem ou pode ser determinada mediante a aplicação de equações empíricas que se apresentam a seguir (Zannetti, 1990):

Em condições estáveis (Classes E e F de Pasquill)

$$h = C_1 \sqrt{\frac{u_*}{f}} L \quad (5)$$

Onde:

$$C_1 \approx 0,40 \quad (6)$$

$$u_* = 0,1u_{10} \quad (7)$$

$$f = 2\Omega \sin \phi \quad (8)$$

$$L = \frac{1}{aZ_o^b} \quad (9) \qquad Z_o = \frac{\epsilon}{30} \quad (10)$$

- h : Altura da camada de mistura
 u_* : Velocidade de fricção do vento (determinada segundo EPA, 1995a)
 u_{10} : Velocidade do vento a 10 m de altura (medido pelo anemômetro)
 f : Fator de coriolis
 Ω : Taxa de rotação da terra = $7,29 \cdot 10^{-5} \text{ seg}^{-1}$
 ϕ : Latitude
 L : Longitude de Monin-Obukhov
 Z_o : Comprimento de rugosidade
 a, b : Coeficientes, que dependem da estabilidade atmosférica, segundo a tabela 3.11
 ϵ : Altura média dos obstáculos na área de estudo

Tabela 3.11 Coeficientes a e b para o Cálculo de L

Classe de Estabilidade de Pasquill	a	b
A	-0,08750	-0,1029
B	-0,03849	-0,1714
C	-0,00807	-0,3049
D	0,00000	0,0000
E	0,00807	-0,3049
F	0,03849	-0,1714

(Fonte: Zanetti, 1990)

Em condições turbulentas a neutras (Classes de Pasquill A a D)

Nestas condições a altura da camada de mistura é calculada pela seguinte expressão

$$C_2 = 0,15 \text{ a } 0,20 \quad (11)$$

$$h = \frac{C_2 u_*}{f} \quad (12)$$

Os valores de u_* e f são calculados da mesma maneira que para as condições estáveis.

3.7.2 Programas de Computador Disponíveis

Muitos programas de computador têm sido desenvolvidos para a simulação da qualidade do ar. Destacam-se na literatura o Screen 3 e o ISCST3 da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (U.S. EPA). Enquanto o Screen 3 é aconselhado para uma única fonte, o ISCST3 tem sido empregado para múltiplas fontes. O modelo ISCST3, o qual será utilizado como ferramenta nesta dissertação de mestrado, será apresentado a seguir.

3.7.2.1 Descrição Geral do Modelo ISCST3

O ISCST3 (Industrial Source Complex Short Term Model 3) é um modelo Gaussiano de transporte desenvolvido pela U.S. EPA (United States Environmental Protection Agency) cujo princípio é a distribuição estatística normal a qual é usada para representar a dispersão de poluentes emitidos de uma ou várias fontes pontuais.

3.7.2.2 Opções do Modelo

As fontes de emissão são classificadas em quatro tipos: pontuais, superficiais ou de área, volumétricas, e de minas à céu aberto. As opções de fontes superficiais e volumétricas pode ser usada também para simular fontes lineares.

O modelo aceita dados meteorológicos de hora em hora registrados para definir as condições de elevação da pluma e estima o valor de concentração ou deposição para cada combinação de fonte e receptor para cada hora dos dados meteorológicos de entrada; calcula, também, médias à curto prazo selecionadas pelo usuário. Podem ser estimados valores de deposição seca, úmida ou total, sendo esta última simplesmente a soma das deposições seca e úmida para uma localização particular do receptor. O usuário tem também a opção de selecionar médias para os períodos inteiros ou parciais dos dados meteorológicos de entrada. Da mesma maneira, quando se tem mais de uma fonte, é possível determinar a contribuição de uma fonte em particular no valor da concentração total num ponto específico.

3.7.2.3 Requisitos Básicos dos Dados de Entrada

Existem dois tipos básicos de dados de entrada que são requeridos para executar o modelo. São eles o arquivo de dados de entrada de fluxos (“runstream file”) e o arquivo de

dados meteorológicos. O primeiro contém as opções selecionadas para a modelagem, assim como os parâmetros e dados de localização das fontes, localização do receptor, especificações do arquivo que contém os dados meteorológicos e as opções de saída. O segundo arquivo contém os dados meteorológicos requeridos para a aplicação do modelo tais como direção e velocidade do vento, temperatura, estabilidade atmosférica (determinada pela classes de estabilidade de Pasquill) e altura da camada de mistura.

3.7.2.4 Descrição Geral das Opções Disponíveis na Modelação

Opções de Dispersão

Estas opções incluem o uso da lavagem do topo da chaminé, dispersão por flutuação induzida, elevação final da pluma (com exceção de fontes com lavagem por edificações), e uma rotina para processar médias quando ocorrem calmarias, valores predeterminados para expoentes de perfil do vento e para gradientes verticais de temperatura.

O usuário pode selecionar parâmetros de dispersão rural ou urbana, dependendo das características da localização da fonte. Da mesma maneira o usuário pode especificar que se calculem várias médias de curto prazo numa única execução, assim como pode solicitar médias de períodos completos, mensal ou anual por exemplo.

Opções de Fontes

Podem ser especificadas vários grupos de fontes numa única execução e/ou as contribuições combinadas de cada fonte para cada grupo. O modelo possui algoritmos para simular os efeitos de lavagem aerodinâmica devido a edificações em emissões de fontes pontuais e algoritmos para modelar os efeitos de fixação e remoção de material particulado grosseiro através da deposição seca.

As taxas de emissão das fontes podem ser tratadas como constantes durante todo o período de modelação ou podem ser variadas por mês, temporada, hora do dia ou qualquer outro período opcional de variação. Estes fatores de taxa de emissão variável podem ser

especificados para uma única fonte ou para um grupo de fontes, simulando situações de carga, produção ou de tráfego.

Opções do Receptor

O usuário tem a possibilidade de especificar redes de receptores múltiplas em uma única execução, podendo combinar igualmente redes de receptores em coordenadas cartesianas com redes de receptores em coordenadas polares numa mesma execução. Isto é útil em aplicações onde o usuário poderia necessitar uma densidade maior de dados nas áreas onde são esperados os impactos maiores.

Podem ser indicadas alturas de receptor para simular os efeitos do terreno acima ou abaixo da base da chaminé e podem ser especificadas, também, posições do receptor acima do nível do solo.

Opções Meteorológicas

O usuário pode utilizar arquivos ASCII que contém registros horários seqüenciais de variáveis meteorológicas. Para estes arquivos ASCII, o usuário pode utilizar um formato ASCII predefinido, pode especificar o formato ASCII de leitura ou pode especificar leituras de formato livres como dados meteorológicos. Um programa útil chamado BINTOASC é incluído com o modelo ISCST para converter arquivos de dados meteorológicos não formatados a vários tipos ASCII formatados usados pelo modelo.

Opções de Saída

Os tipos básicos de informação de saída disponíveis no modelo são descritos a seguir:

- Resumo dos valores mais altos (primeiros, segundos, etc.) por receptor para cada média do período selecionado e/ou combinação de grupos de fontes;
- Resumo do total de valores máximos (por exemplo os 50 máximos) para cada média do período e combinação de grupos de fontes;

- Tabelas de valores simultâneos resumidos por receptor para cada média do período e combinação de grupos de fontes de cada dia dos dados processados.

Além da informação de saída impressa em forma de tabela descrita acima, o modelo fornece opções para vários tipos de arquivos de informação de saída. Uma destas opções é obter um arquivo sem formato (binário) para todos os valores de concentração média calculados. Estes arquivos são usados com frequência para pós-processamento especial dos dados para a geração de gráficos de curvas de isoconcentração.

Uma outra opção de saída é a geração de um arquivo separado com todas as ocorrências quando um valor de concentração iguala ou excede um valor limite especificado pelo usuário. Estes arquivos incluem a data em que se excede o limite, a localização do receptor e o valor da concentração.

4. METODOLOGIA

4.1 Levantamento de Dados de Qualidade do Ar

Os dados requeridos para a avaliação da qualidade do ar foram fornecidos pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SMAM) da Prefeitura Municipal de Porto Alegre e pela Fundação Estadual de Proteção Ambiental (FEPAM) do Estado do Rio Grande do Sul.

O monitoramento da qualidade do ar no Município de Porto Alegre vem sendo realizado sob a coordenação da Equipe de Combate à Poluição Hídrica e Atmosférica (ECCPHA)/SMAM desde o mês de Junho de 1992, com o objetivo de avaliar a concentração atmosférica de dióxido de enxofre (SO_2) e de dióxido de Nitrogênio (NO_2), e para adotar medidas para garantir uma boa qualidade do ar. Este trabalho tem sido feito dentro de um convênio entre a Prefeitura Municipal de Porto Alegre através da Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SMAM), a Universidade Federal de Rio Grande do Sul (Centro de Ecologia) e a Petrobrás, contando ainda com o apoio da Divisão de Pesquisa do Departamento Municipal de Águas e Esgotos (DMAE).

A rede de monitoramento da qualidade do ar da SMAM em Porto Alegre é constituída por quatro estações de amostragem as quais são indicadas na tabela 4.1 e cuja localização se apresenta na figura 4.1. Embora a programação das campanhas de amostragem seja semanal, existem várias falhas de dados, especialmente de NO_x , devido principalmente a fatores técnicos do amostrador.

A FEPAM, dentro de suas atribuições como órgão ambiental estadual, vem monitorando a qualidade do ar em diversos pontos do Estado do Rio Grande do Sul. Em cada um destes postos tem instalado estações de monitoramento fixas para partículas totais em suspensão (PTS) e para dióxido de enxofre. No momento são operadas 14 estações das quais 3 em Porto Alegre, as quais estão apresentadas na tabela 4.1 e localizadas também na figura 4.1. O intervalo de tempo entre amostragens nas estações da FEPAM é de seis dias. Os dados apresentam algumas falhas, devidas principalmente a fatores tais como falta de energia elétrica e do amostrador.

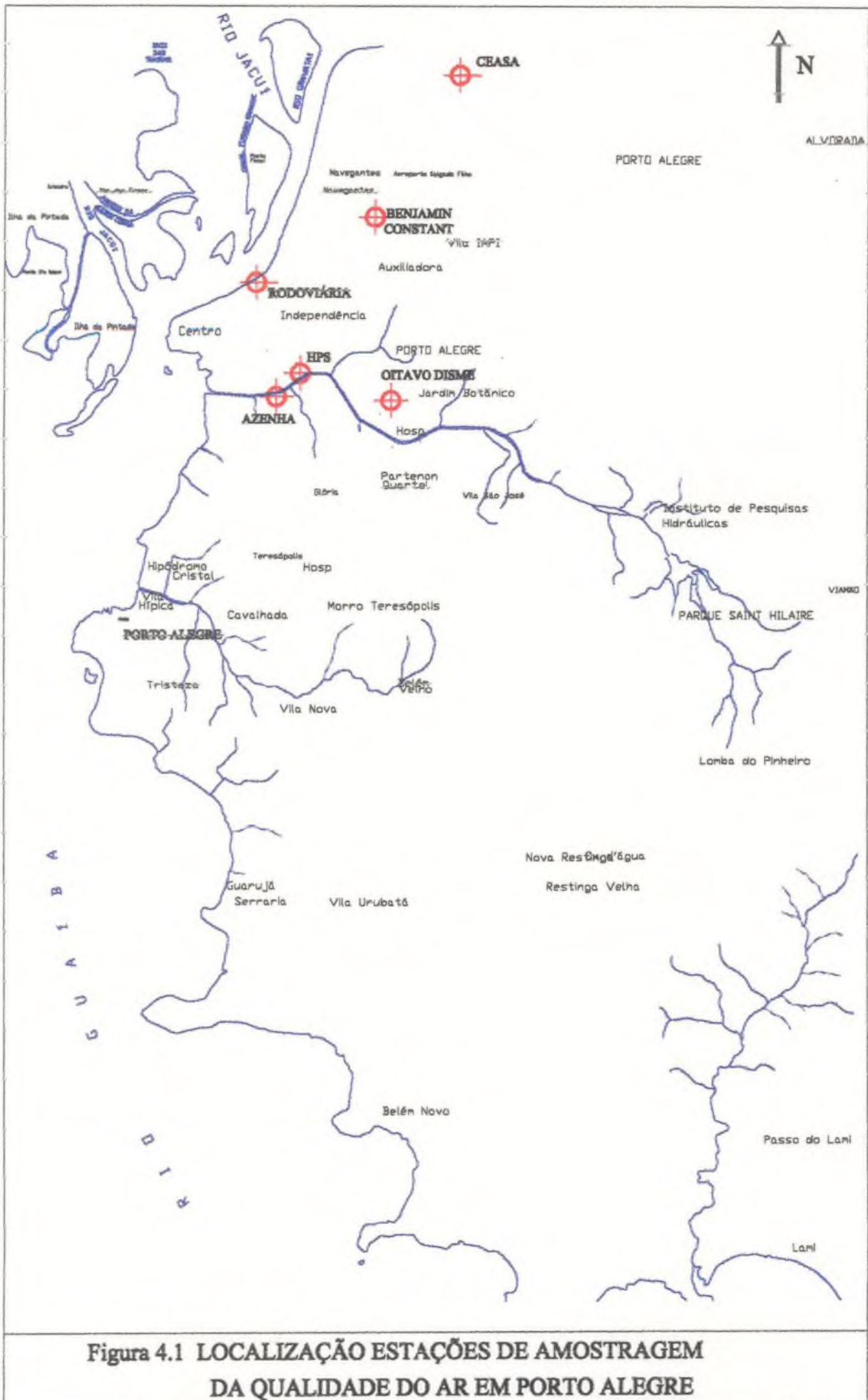


Figura 4.1 LOCALIZAÇÃO ESTAÇÕES DE AMOSTRAGEM DA QUALIDADE DO AR EM PORTO ALEGRE

Tabela 4.1 Localização das Estações de Amostragem da Qualidade do Ar

Ponto	Localização	Variáveis Analisadas	Entidade Responsável
RODOVIÁRIA	Avenida da Conceição, perto da Estação Rodoviária de Porto Alegre	SO ₂ , NO ₂	SMAM/PMPA
AZENHA	Avenida Azenha, perto das instalações do DMLU, bairro Azenha	SO ₂ , NO ₂	SMAM/PMPA
HPS	Hospital Pronto Socorro, avenida Osvaldo Aranha	SO ₂ , NO ₂	SMAM/PMPA
BENJAMIN CONSTANT	Junto à rótula das avenidas Benjamin Constant com Dom Pedro II, bairro São João	PTS, SO ₂	FEPAM/RS
8*DISME	Oitavo Distrito de Meteorologia de Porto Alegre, junto ao Jardim Botânico	PTS, SO ₂	FEPAM/RS
CEASA	Junto às Centrais de Abastecimento do Rio Grande do Sul, bairro Anchieta	PTS, SO ₂	FEPAM/RS

4.2 Levantamento de Dados de Qualidade das Chuvas

4.2.1 Localização das Estações de Amostragem

Uma rede de monitoramento de qualidade da chuva foi instalada no município de Porto Alegre. Na área de estudo, a escolha dos postos de amostragem decorreu de vários fatores, envolvendo principalmente a localização das estações de amostragem de qualidade do ar da FEPAM/RS e da SMAM/PMPA, assim como a abrangência das três bacias a serem estudadas dentro do projeto "Avaliação e Controle dos Impactos Ambientais Decorrentes da Urbanização" financiado pelo Projeto de Núcleos de Excelência (PRONEX) e que estuda as bacias dos arroios Capivara, Belavista e Mãe d'água. Outros fatores básicos, tais como facilidade de acesso, cuidado contra vândalos, disponibilidade de área livre em torno ao amostrador para evitar interferência de prédios, morros, árvores etc., também foram levados em conta.

Assim, foram instalados onze postos espalhados pelo município de Porto Alegre, os quais estão apresentados na tabela 4.2 e as respectivas localizações na figura 4.2

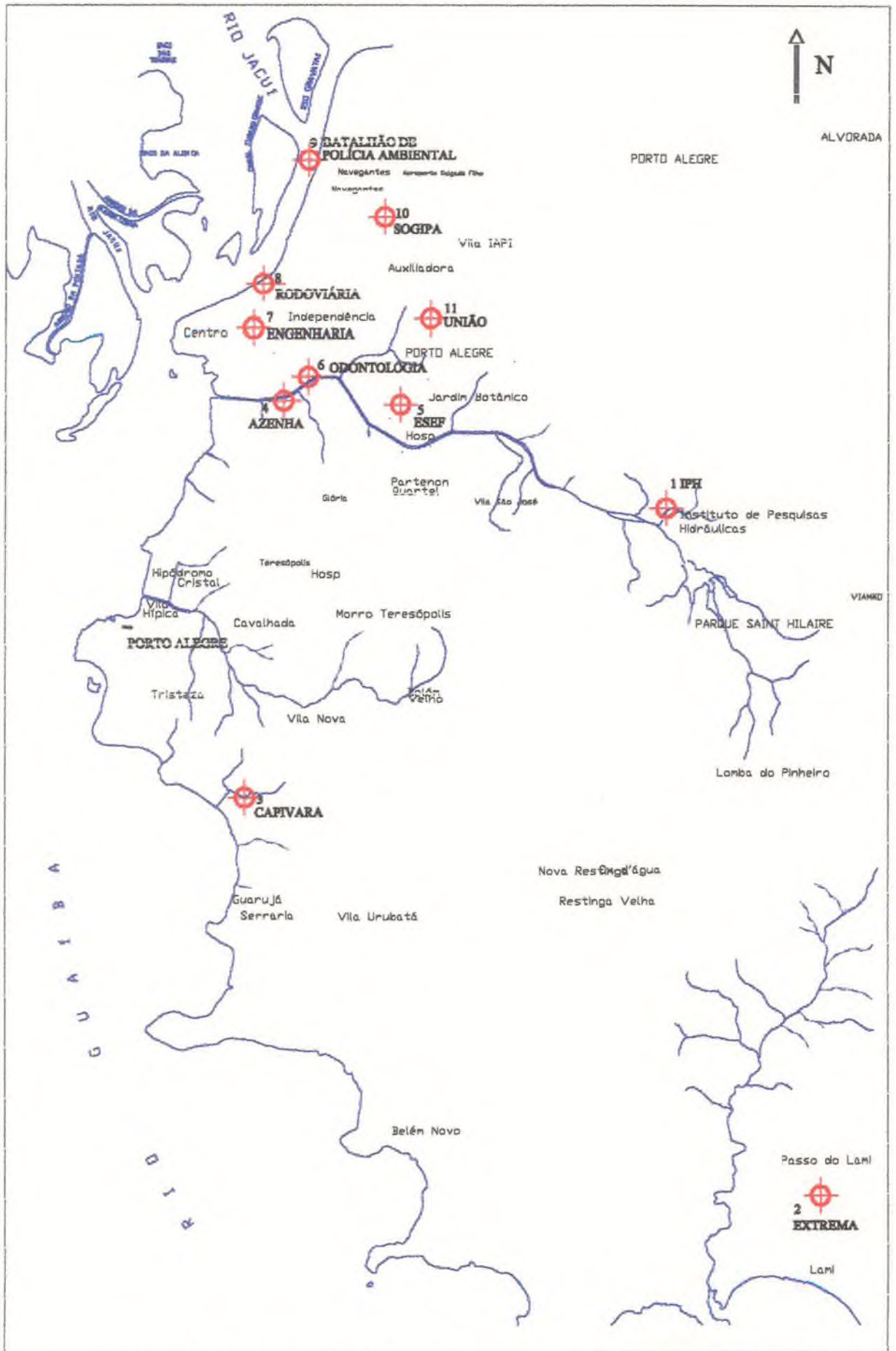


Figura 4.2 Localização Estações de Amostragem da Qualidade das Chuvas em Porto Alegre

Tabela 4.2 Localização dos Postos de Amostragem da Água da Chuva

Ponto	Localização
IPH	Campus do Vale/Bairro Agronomia
Extrema	Aterro Sanitário da Extrema (DMLU, PMPA)
Capivara	Arroio Capivara com a Avenida Cavalhada/Bairro Cavalhada
Azenha	Nas Instalações do DMLU/Bairro Azenha
ESEF	Escola Superior de Educação Física, UFRGS/Bairro Jardim Botânico
Odontologia	No Terraço do Prédio da Faculdade de Odontologia/UFRGS/Bairro Rio Branco
Engenharia	No Terraço do Prédio de Engenharia Elétrica/UFRGS/Centro
Rodoviária	Estação Rodoviária de Porto Alegre/Centro
Batalhão de Polícia Ambiental	Batalhão de Polícia Ambiental, frente a Travessia Getúlio Vargas/Zona Norte
SOGIPA	Sociedade Ginástica de Porto Alegre/Bairro São João
União	Grêmio Náutico União/ Bairro Bela Vista

No Anexo A1 se observam cada um dos amostradores instalados nos diferentes postos.

4.2.2 Tipo de Amostragem de Chuva

As amostras coletadas representam a deposição bruta (deposição seca mais deposição úmida). Este tipo de amostragem tem a vantagem de recuperar tanto os materiais que precipitam como os que a chuva está precipitando (Azhari, 1990).

O amostrador utilizado era constituído por um sistema bastante simples, compreendido dos seguintes componentes (De Luca, 1991)

Cone de Coleta : área superficial de 0,90 m² em chapa galvanizada. Este cone foi revestido com material plástico afim de prevenir eventuais contaminantes ou corrosão e foi posicionado de tal forma que a parte superior ficasse a 1,50 m de altura do solo, seguindo instruções da OMM (Organização Meteorológica Mundial).

Reservatório de Acumulação da Amostra : recipiente plástico com capacidade de 20 litros, montado baixo do cone de coleta de modo a receber por gravidade a amostra coletada.

Estrutura de Apoio :foi utilizado um tambor cilíndrico de 1,20 metros de altura e 65 centímetros de diâmetro, cuja função era sustentar o cone de coleta e proteger o reservatório de acumulação de amostra contra a ação do sol, ventos e outros interferentes.

Para impedir a entrada de material estranho, que pudesse contaminar a amostra, o funil foi recoberto na parte superior com uma tela plástica com malha 2 # ASTM.

Na figura 4.3 apresenta-se o esquema de amostrador utilizado para a coleta de amostras de chuva, padrão IPH. Este amostrador garante que 1 mm de chuva proporcione 900 mL de amostra, garantindo a seqüência temporal de coleta de dados, e já tendo sido por sua utilização, comprovado ser bastante eficiente no estudo para a Petrobás de 86/87.

4.2.3 Freqüência de Amostragem

As amostras de água da chuva foram recolhidas a cada duas semanas, contendo cada amostra, a água precipitada de todos os eventos de chuva ocorridos durante as duas semanas.

O tipo de amostrador não permite detectar as variações que eventualmente ocorrem ao longo de uma precipitação, porém tem a vantagem de informar a situação média da qualidade da água amostrada e a massa total depositada (Milano, 1991).

O período de amostragem foi iniciado em outubro de 1998 com a instalação dos amostradores no dia 7 desse mês e se prolongou até o dia 16 de março de 1999, quando foi feita a última coleta. Um total de 11 amostras foi coletado em cada ponto de amostragem.

4.2.4 Variáveis de Caracterização da Qualidade da Água da Chuva

Após a coleta, o recipiente contendo a amostra de chuva era recolhido do equipamento, tampado, etiquetado e conduzido ao laboratório. No laboratório, o volume das amostras foi medido em proveta graduada com capacidade de 1000 ml.



Figura 4.3 Amostrador Utilizado para a Coleta da Água da Chuva(Posto Batalhão de Polícia Ambiental)

Seguindo o Standard Methods, 20th ed., 1998, as amostras foram analisadas para os parâmetros apresentados na tabela 4.3.

Tabela 4.3 Parâmetros Analisados na Água da Chuva

Parâmetro	Unidade	Método Utilizado
Temperatura	°C	Sonda
pH	Unidade	Potenciométrico (Medidor de pH com eletrodo combinado, de referência de prata, cloreto de prata)
Oxigênio Dissolvido	mg/L	Sonda
Acidez	mg CaCO ₃ /L	Titulométrico / potenciométrico
Alcalinidade total	mg CaCO ₃ /L	Titulométrico / potenciométrico
Condutividade elétrica	µmho/cm	Potenciométrico
Sólidos Totais	mg/L	Gravimétrico
Sólidos dissolvidos	mg/L	Gravimétrico
Amônia	mg/L	Kit Merck
DQO	mg/L	Digestão por dicromato de potássio, refluxo fechado
Sulfatos	mg/L	Cromatografia iônica
Fosfatos	mg/L	
Cloretos	mg/L	
Nitritos	mg/L	
Nitratos	mg/L	
Cálcio	mg/L	Digestão com ácido nítrico e leitura do elemento por espectrometria de absorção atômica, com chama de ar- acetileno
Magnésio	mg/L	
Sódio	mg/L	
Potássio	mg/L	Digestão com ácido nítrico a 100 °C e leitura do elemento por espectrometria de absorção atômica, com chama de ar acetileno
Chumbo	mg/L	
Cobre	mg/L	
Cádmio	mg/L	
Ferro total	mg/L	Digestão com ácido nítrico a 65 °C e leitura do elemento por espectrometria de absorção atômica, técnica de vapor a frio
Mercúrio	µg/L	

4.2.5 Análise Estatística dos Dados de Chuva

Os dados de qualidade da chuva foram submetidos a testes de diferença entre médias “t” de Student, para determinar a existência de variabilidade espacial e temporal entre os

postos de amostragem, formulando a hipótese nula de que não existe diferença entre dois postos selecionados.

Da mesma maneira, foram determinados coeficientes de correlação, os quais indicam o grau de relação entre duas séries de dados dos parâmetros de qualidade da chuva medidos para tentar explicar a interdependência dos parâmetros de qualidade.

4.3 Relações entre Qualidade das Chuvas e Qualidade do Ar

Para estabelecer as relações entre as concentrações de poluentes no ar e as concentrações de poluentes na água da chuva foram correlacionadas as variáveis indicadas na tabela 4.4

Tabela 4.4 Correlação entre Poluentes do Ar e da Água da Chuva

Estações de Amostragem		Variáveis Correlacionadas (Chuva/ar)
Qualidade do Ar	Qualidade das Chuvas	
Azenha	Azenha	(SO ₄ ²⁻) Vs. (SO ₂), (NO ₂ ⁻ +NO ₃ ⁻) Vs.(NO ₂)
8*disme	ESEF	(SST) Vs.(PTS), (SO ₄ ²⁻) Vs.(SO ₂)
HPS	Odontologia	(SO ₄ ²⁻) Vs.(SO ₂)
Rodoviária	Rodoviária	(SO ₄ ²⁻) Vs.(SO ₂), (NO ₂ ⁻ +NO ₃ ⁻) Vs.(NO ₂)
Rodoviária	Engenharia	(SO ₄ ²⁻) Vs.(SO ₂)
CEASA	Batalhão de Polícia Ambiental	(SST) Vs.(PTS), (SO ₄ ²⁻) Vs.(SO ₂)
Benjamin Constant	SOGIPA	(SST) Vs.(PTS), (SO ₄ ²⁻) Vs.(SO ₂)

A relação entre as variáveis da Chuva e do Ar foi feita utilizando regressão linear simples e múltipla, sendo a concentração do poluente do ar (SO_2 , NO_x ou PTS) a variável dependente e a concentração do poluente contido na água da chuva (SO_4^{2-} , NO_3^- , ou Sólidos Suspensos) e o volume da água precipitado entre os períodos de amostragem, as variáveis independentes.

Para cada uma das regressões realizadas foi determinado o índice de correlação, o qual indica o grau de associação entre as variáveis independentes e a variável dependente, podendo ou não explicar o fenômeno em análise.

4.4 Aplicação do Modelo ISCST3

Para simular o comportamento dos gases poluentes na atmosfera de Porto Alegre foi utilizado o modelo ISCST3 (Industrial Source Complex Short Term Model 3) que é um modelo Gaussiano de transporte desenvolvido pela U.S. EPA (United States Environmental Protection Agency) cujo princípio é a distribuição gaussiana normal, a qual é utilizada para representar a dispersão de poluentes.

O modelo foi utilizado para determinar as concentrações de SO_2 e NO_x na Região Metropolitana de Porto Alegre e na área urbana de Porto Alegre, como produto da geração de emissões gasosas das principais fontes fixas na Região Metropolitana de Porto Alegre.

4.4.1 Fontes de Emissão

Como fontes de emissão foram utilizadas as principais fontes fixas geradoras de poluentes atmosféricos da Região Metropolitana de Porto Alegre e arredores. As fontes móveis não foram incluídas por falta de informação precisa.

O modelo foi aplicado para determinar a concentração máxima horária, a média diária, a média mensal e média total correspondente ao período de amostragem da água da chuva (Outubro/98 a Março/99). A descrição de cada uma das fontes utilizadas para a execução do modelo é apresentada na tabela 4.5, as características das emissões na tabela 4.6 e a localização das mesmas na figura 4.4.

Tabela 4.5 Localização e Características das Fontes

Fonte	Descrição	Localização		Altura da Chaminé (m)	Diâmetro da Chaminé (m)
		Ordenada X (m)	Ordenada Y (m)		
F1	Usina Termoelétrica de Charqueadas	440108,4	6686677,2	62,0	5,0
F2	Aços Finos Piratini	440564,6	6685885,0	25,0	1,5
F3	Usina Termoelétrica de Jacuí*	444744,6	6686328,7	200,0	5,6
F4	COPEL	464189,6	6694064,4	120,0	1,4
F5	Siderúrgica Riograndense	483432,0	6701757,3	25,0	1,5
F6	Refinaria Alberto Pasquallini	484614,6	6695183,0	60,0	2,3
F7	RIOCELL	468736,7	6663997,1	126,0	2,0
F8	Cimenteira (Município Nova Santa Rita, Morretes)	473423,0	6689221,2	42,3	5,76
F9	Cimenteira (Município Esteio)	482973,0	6698428,8	62,0	4,36

*Em construção

Tabela 4.6 Características das Emissões de Cada uma das Fontes

Fonte	Vazão de saída dos gases (Nm ³ /h)	Taxa de Emissão de SO ₂ (g/s)	Taxa de Emissão de NO _x (g/s)	Temperatura dos Gases °K	Velocidade dos Gases (m/s)
F1	250113	312,6	51,2	403	11,88
F2	78700	1,5	16,4	333	12,14
F3	840042	950,0	720,0	432	22,7
F4	81000	396,0	99,0	410	19,20
F5	78700	1,5	16,4	333	12,14
F6	135000	231,5	176,0	451	9,0
F7	152000	166,2	126,0	433	13,37
F8	783000	24,5		169	8,35
F9	449280	44,4		101,6	8,36

Na aplicação do modelo foi assumido que a emissão das fontes é constante, ou seja que não existe variação da carga das fontes emissoras.

4.4.2 Dados Meteorológicos para Aplicação do Modelo

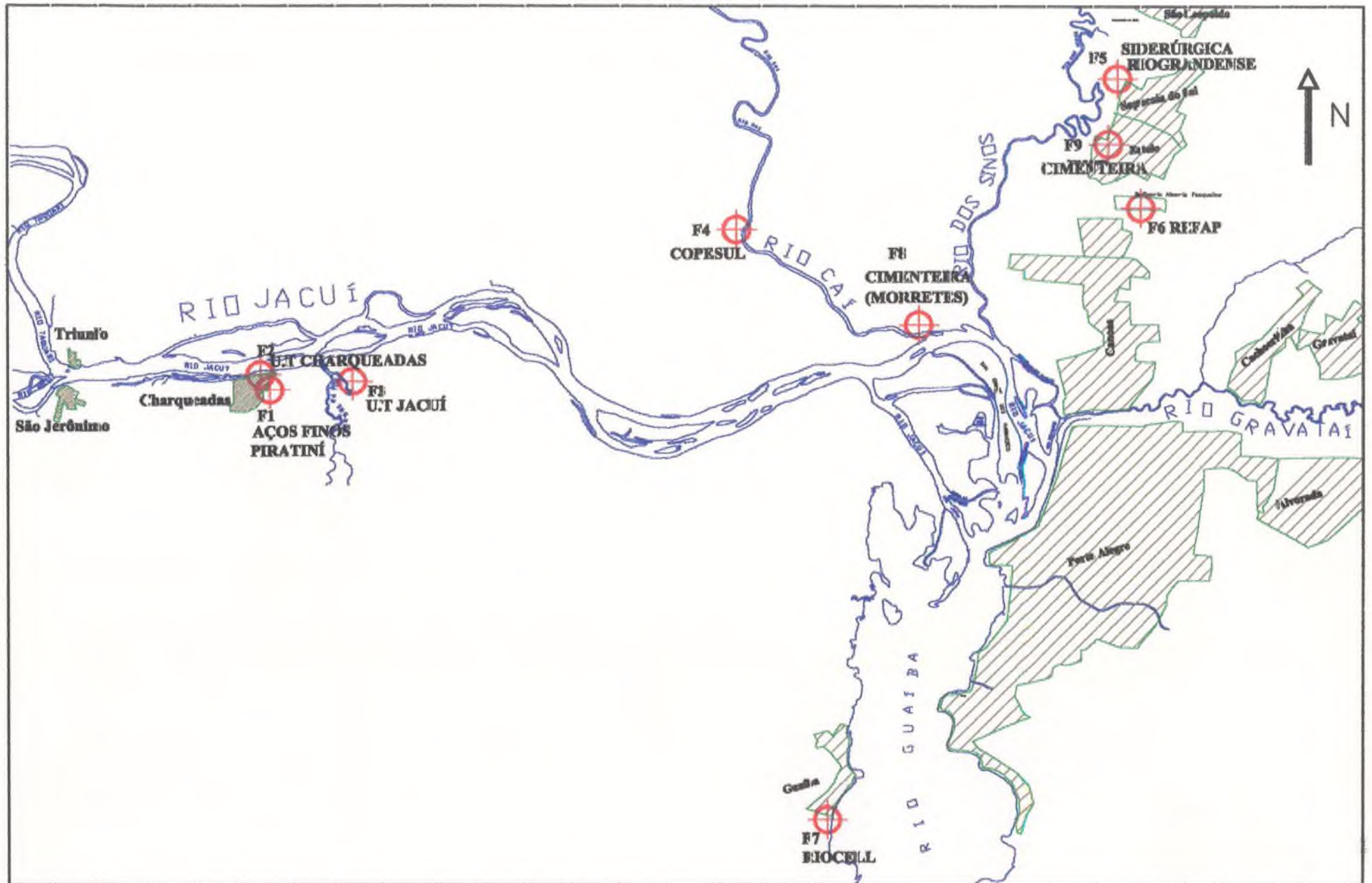
Os dados meteorológicos utilizados para a execução do modelo foram direção e velocidade do vento, temperatura, estabilidade atmosférica e altura da camada de mistura.

Os dados meteorológicos foram formatados em um arquivo ASCII "entrada.ASC", com a ordem especificada nos manuais do usuário (EPA, 1995a), e correspondem ao período histórico compreendido entre Outubro de 1996 e março de 1997 da estação Aeroporto. Para a aplicação do modelo foi assumido que os dados do Aeroporto de Porto Alegre são representativos para toda a região de simulação. Estes dados tem sido empregados em todos os estudos de Impacto Ambiental nesta região.

Os dados de temperatura e velocidade do vento foram fornecidos pelo setor de meteorologia do Aeroporto Internacional Salgado Filho, a estabilidade atmosférica foi determinada segundo as classes de Pasquill utilizando os dados de nebulosidade e insolação, e a altura da camada de mistura foi determinada analiticamente usando as expressões já apresentadas no item 3.7.1.2 da revisão bibliográfica.

Os resultados da simulação são apresentados em listagem e mapas temáticos.

Figura 4.4 Localização das Fontes Emissoras Ensaçadas



5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Qualidade do Ar

A qualidade de ar em Porto Alegre foi estudada durante o período compreendido entre Outubro de 1998 e Março de 1999 sendo avaliados os parâmetros SO₂, NO_x e Partículas Totais em Suspensão (PTS). Os dados das campanhas de amostragem foram cedidos pela SMAM/PMPA e pela FEPAM/RS e são apresentados nas tabelas 5.1 e 5.2.

Tabela 5.1 Resultados Obtidos no Monitoramento da Qualidade do Ar das Estações de Amostragem da FEPAM/RS no Período Outubro/98 a Março/99

DATA	Oitavo DISME		CEASA		BENJAMIN CONSTANT	
	PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	SO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	SO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	SO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
14/10/98	28	23	144	130	102	237
20/10/98	60	8	124		139	33
26/10/98	18		16		106	19
01/11/98			52		60	8
07/11/98			23		93	5
13/11/98	10	65	95		132	21
19/11/98	24	13			83	28
25/11/98	25	5	23		84	
01/12/98	77		121		128	
07/12/98	31	7	55		124	20
13/12/98	15		55		77	7
19/12/98						
25/12/98						
31/12/98						
06/01/99	18	2	37	2	93	11
12/01/99	19	6	36	2	84	22
18/01/99	36		59	7	94	
24/01/99	54		76		76	
30/01/99	43	2	55	2	76	
05/02/99	36	2	72	2	118	
11/02/99	51	4	87	2	114	20
17/02/99	27	2	49	2	115	17
23/02/99	27	2	55	2	144	
01/03/99	45	2	75	2	110	
07/03/99	32	2	56	2	69	7
13/03/99	25	9	49	2	62	26
19/03/99	54	9	95	2	141	28
25/03/99	61	5	92	7	134	24
31/03/99	22	2	46	2	111	21
Média Aritmética		8,95		2,71		18,65
Média Geométrica.	31,06		58,07		99,51	
Desvio Padrão	17,14	14,55	32,43	1,82	25,39	8,37
Padrão Médio	Primário	80	80	80	80	80
Anual	Secundário	60	40	60	40	40
Padrão 24 h	Primário	240	365	240	365	365
	Secundário	150	100	150	100	100

Tabela 5.2 Resultados Obtidos no Monitoramento da Qualidade do Ar das Estações de Amostragem da SMAM/PMPA no Período Outubro/98 a Março/99

DATA	AZENHA		HPS		RODOVIÁRIA		
	NO _x (µg/m ³)	SO ₂ (µg/m ³)	NO _x (µg/m ³)	SO ₂ (µg/m ³)	NO _x (µg/m ³)	SO ₂ (µg/m ³)	
14/10/98		4		4	36	4	
28/10/98		4		4	74	6	
10/11/98		4	13	4		4	
24/11/98	45	4		8		14	
08/12/98	25	5		11		16	
22/12/98		4				6	
05/01/99	49	4		5		4	
19/01/99		4	32	4		21	
08/02/99		4		4		4	
18/02/99							
03/03/99		4		9	27	8	
16/03/99				12	40	7	
Média Aritmética	39,67	4,10	22,50	6,50	44,25	8,55	
Desvio Padrão	12,86	0,32	13,44	3,21	20,56	5,82	
Padrão Médio Anual	Primário	100	80	100	80	100	80
	Secundário	100	40	100	40	100	40
Padrão 24 h	Primário		365		365		365
	Secundário		100		100		100
Padrão 1 h	Primário	320		320		320	
	Secundário	190		190		190	

Para determinar a variação temporal nas concentrações de poluentes foram comparados separadamente os três primeiros meses (Outubro a Dezembro /98), correspondentes à primavera com os três últimos meses (Janeiro a Março/99) correspondentes ao verão. Na tabela 5.3 e 5.4 se apresentam as variações sazonais nas estações de amostragem

Tabela 5.3 Variações Sazonais dos Poluentes Atmosféricos Medidos nas Estações da FEPAM/RS

DATA	Oitavo DISME		CEASA		BENJAMIN CONSTANT	
	PTS (µg/m ³)	SO ₂ (µg/m ³)	PTS (µg/m ³)	SO ₂ (µg/m ³)	PTS (µg/m ³)	SO ₂ (µg/m ³)
Amostragem Outubro – Dezembro/98						
Média Aritmética		20,17				17,63
Média Geométrica	26,52		55,42		99,47	
Desvio Padrão	22,10	22,89	46,81		25,68	10,20
Máximo	77,00	65,00	144,00		139,00	33,00
Amostragem Janeiro – Março/99						
Média Aritmética		3,77		2,71		19,56
Média Geométrica	34,14		59,90		99,54	
Desvio Padrão	13,96	2,68	19,11	1,82	26,08	6,88
Máximo	61,00	9,00	95,00	7,00	144,00	28,00

Tabela 5.4 Variações Sazonais dos Poluentes Atmosféricos Medidos nas Estações da SMAM/PMPA

DATA	AZENHA		HPS		RODOVIÁRIA	
	NOx $\mu\text{g}/\text{m}^3$	SO2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	NOx $\mu\text{g}/\text{m}^3$	SO2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	NOx $\mu\text{g}/\text{m}^3$	SO2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Amostragem Outubro – Dezembro/98						
Média	35,00	4,17	13,00	6,20	55,00	8,33
Desvio padrão	14,14	0,41		3,19	26,87	5,28
Máximo	45,00	5,00	13,00	11,00	74,00	16,00
Amostragem Janeiro – Março/99						
Média	49,00	4,00	32,00	6,80	33,50	8,80
Desvio padrão		0,00		3,56	9,19	7,05
Máximo	49,00	4,00	32,00	12,00	40,00	21,00
Mínimo	49,00	4,00	32,00	4,00	27,00	4,00

Usando o teste “t” de Student verifica-se que a nível de significância de 5% há diferenças sazonais e espaciais para alguns parâmetros analisados em determinadas estações.

5.1.1 Partículas Totais em Suspensão (PTS) do Ar

5.1.1.1 Distribuição Espacial

Este parâmetro de poluição do ar foi medido nas estações Oitavo DISME, CEASA e Benjamin Constant, operadas pela FEPAM/RS. Observa-se grande variabilidade deste poluente entre elas, apresentando-se os maiores valores na estação Benjamin Constant, localizada sobre a avenida do mesmo nome, com um valor de $99,51 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a qual apresenta um grande fluxo veicular, principalmente de transporte coletivo. As menores concentrações ocorreram na estação Oitavo DISME com um valor médio de $31,06 \mu\text{g}/\text{m}^3$ no período analisado.

Ao fazer-se uma avaliação com respeito aos padrões nacionais de qualidade do ar estabelecidos na resolução CONAMA N° 3 de 28/06/90, verifica-se que as concentrações de PTS apresentadas nas três estações são inferiores aos valores estabelecidos em dita resolução para as concentrações médias em 24 horas. Contudo, a média geométrica do período de estudo (seis meses) ultrapassa o padrão primário ($80 \mu\text{g}/\text{m}^3$) na estação Benjamin Constant na qual o valor da média geométrica foi de $99,51 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Na estação CEASA a média geométrica de $58,07 \mu\text{g}/\text{m}^3$ está próxima de ultrapassar o padrão secundário de $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Cabe anotar

que as médias geométricas foram calculadas para o período de seis meses, sendo que os valores da resolução fazem referência a períodos de um ano.

5.1.1.2 Distribuição Temporal

Este parâmetro não apresentou variação significativa em nível temporal. Na estação Benjamin Constant passou de um valor médio de $99,47 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na primavera para $99,54 \mu\text{g}/\text{m}^3$ no verão, na estação CEASA passou de $55,42 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para $59,90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ no verão e a estação do oitavo DISME apresentou a maior variação: passou de $26,52 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para $34,14 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

O padrão nacional de PTS foi atendido nas estações Oitavo DISME e CEASA. Não aconteceu o mesmo na estação Benjamim Constant, na qual o padrão primário de $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ foi ultrapassado, apresentando valores médios na primavera e no verão de $99,47 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $99,54 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente.

5.1.2 Dióxido de Enxofre (SO₂) do Ar

5.1.2.1 Distribuição Espacial

Este parâmetro de poluição do ar foi medido nas estações Oitavo DISME, CEASA e Benjamin Constant, operadas pela FEPAM e nas estações Azenha, HPS e Rodoviária operadas pela SMAM/PMPA.

Uma das principais fontes de SO₂ em Porto Alegre é o tráfego de veículos pesados movidos a diesel, principalmente os utilizados em transporte coletivo na avenida Benjamin Constant (Livi, 1995). Fontes industriais locais e na Região Metropolitana também contribuem para esta contaminação.

As concentrações de SO₂ nas diferentes estações de medição não apresentaram variação significativa durante o período de estudo. Da mesma forma que com PTS, a estação Benjamin Constant apresentou os valores mais altos, com uma média aritmética de $18,65 \mu\text{g}/\text{m}^3$, seguida pelas estações oitavo DISME e Rodoviária que apresentaram médias de $8,95 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $8,55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente. Os valores mais baixos foram obtidos na estação CEASA com uma média aritmética de $2,71 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Na figura 5.1 apresentam-se as linhas de isoconcentração de SO₂ na área urbana de Porto Alegre, tendo como base os valores médios medidos nas estações de amostragem.

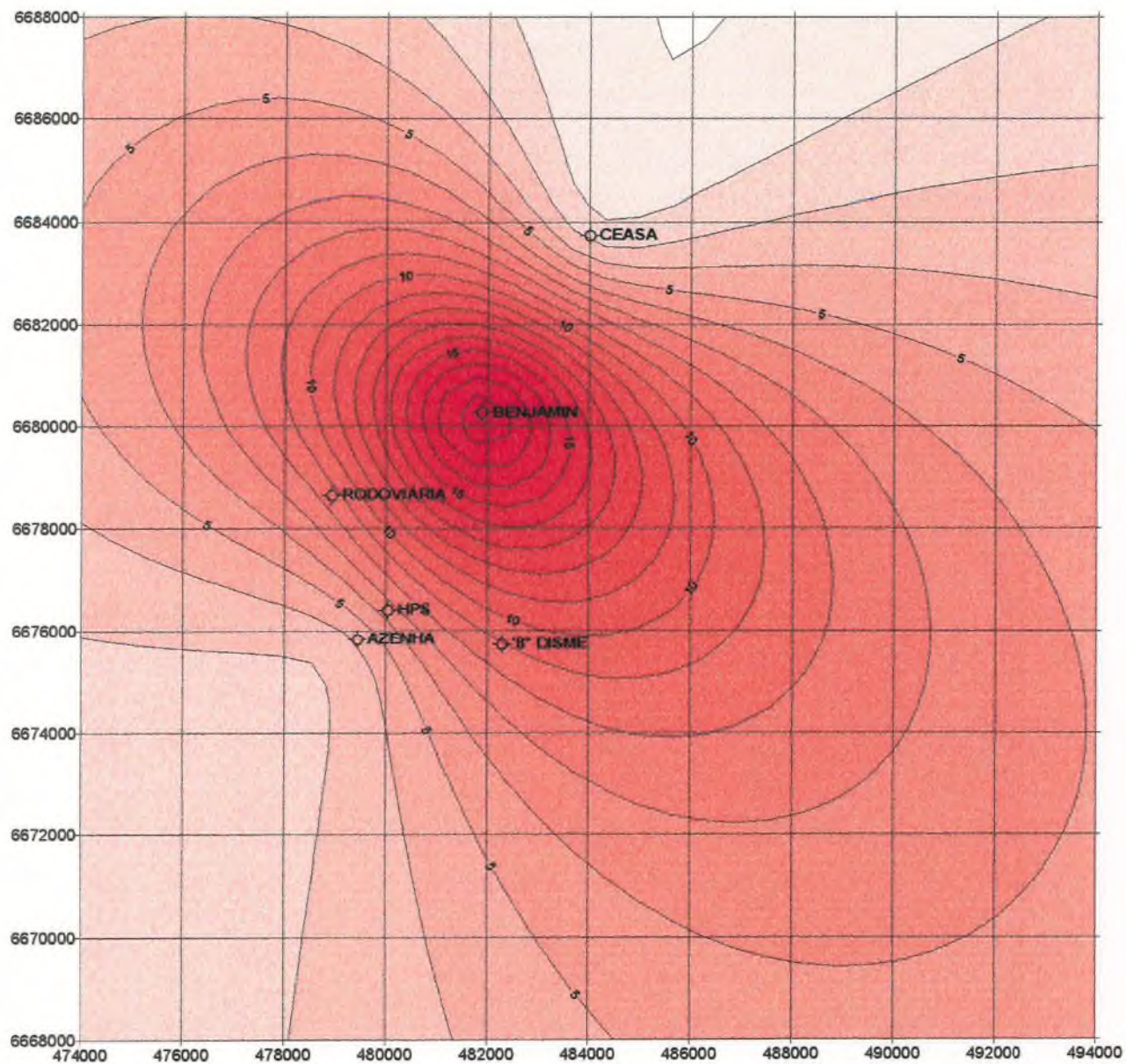


Figura 5.1 Linhas de Isoconcentração Médias Anuais de SO₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) no Ar de Porto Alegre no Período Outubro/98 a Março/99 (Fontes : FEPAM/SMAM, 1999)

Os valores de dióxido de enxofre não ultrapassaram os padrões nacionais de qualidade do ar nem para a média de 24 horas nem para a média geométrica do período.

Em geral, as concentrações de SO₂ foram baixas, confirmando que o uso do óleo diesel metropolitano contribui para a diminuição dos teores de dióxido de enxofre lançados à atmosfera, uma vez que as outras fontes fixas não possuem tratamento adequado para este contaminante, usando a dispersão atmosférica para diluição.

A Administração Municipal através do decreto 10.432 de 23/10/92, instituiu a obrigatoriedade de distribuição e uso do diesel metropolitano no município de Porto Alegre. Este diesel, produzido e distribuído pela Refinaria Alberto Pasquallini (REFAP), tem menos da metade do teor de enxofre do tradicionalmente usado, contendo em torno de 0,3% em peso deste elemento (Almeida et al, 1995), contra 1% anteriormente utilizado.

5.1.2.2 Distribuição Temporal

O dióxido de enxofre apresentou variação significativa da primavera para o verão na estação Oitavo DISME, na qual passou de um valor médio de 20,17 µg/m³ para 3,77 µg/m³, apresentando melhoria na qualidade do ar. Nas outras estações, a variação no teor de SO₂ não foi significativa; os valores médios da primavera para o verão se mantiveram próximos aos valores médios do período completo.

Os padrões nacionais de qualidade do ar de SO₂ não foram ultrapassados nem na primavera nem no verão.

5.1.3 Óxidos de Nitrogênio (NO_x) do Ar

5.1.3.1 Distribuição Espacial

Os óxidos de nitrogênio foram medidos nas estações Azenha, HPS e Rodoviária, operadas pela SMAM/PMPA e determinados como NO₂.

A frequência de amostragem deste parâmetro foi baixa. Os valores obtidos nas três estações não apresentaram grande variabilidade, sendo a estação Rodoviária com $44,25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ onde apresenta-se a concentração média mais alta, seguida pela estação Azenha com $39,67 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e a estação HPS com $22,50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Em geral os teores de dióxido de nitrogênio são baixos, quando comparados com os padrões nacionais de qualidade do ar. No período avaliado nenhum dos valores estabelecidos na resolução CONAMA foi ultrapassado.

Uma das principais fontes de emissão de NO_2 é o tráfego de veículos, o que pode ser confirmado quando observados os valores obtidos na estação Rodoviária, a qual apresentou os valores mais altos deste poluente.

5.1.3.2 Distribuição Temporal

Devido à baixa frequência de amostragem do dióxido de nitrogênio, não é possível afirmar com certeza se existem ou não variações na concentração deste poluente. Contudo, com as amostragens feitas, é possível perceber uma diminuição do dióxido de nitrogênio na estação Rodoviária, passando de um valor de $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na primavera para um valor de $33,50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ no verão e um aumento nas estações Azenha e HPS, nas quais de um valor de $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ passaram para $49 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e de $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente.

Nenhum dos padrões nacionais de qualidade do ar para NO_x foram ultrapassados, mantendo-se as concentrações menores que as estabelecidas na resolução CONAMA N° 3 de 28/06/90.

5.2 Qualidade das Chuvas

A qualidade das chuvas foi avaliada dos pontos de vista temporal e espacial. A distribuição espacial dos poluentes serviu para determinar se existe diferença entre os diferentes postos através dos valores médios das doze campanhas. A distribuição temporal determinou a variação sazonal da qualidade da água da chuva na primavera e no verão.

5.2.1 Distribuição Espacial

5.2.1.1 Potencial de Hidrogênio – pH

Sendo este o principal parâmetro de indicação de ocorrência de chuva ácida, ao examinarmos os valores de pH verificou-se a ocorrência de valores pouco característicos de chuvas ácidas ($\text{pH} < 5,6$). Somente em duas campanhas diferentes, e em dois postos, obteve-se valores de pH de chuvas ácidas. Na coleta 10 no posto IPH com um pH de 5,32 e na coleta 6 no posto Odontologia, com um valor de 5,5.

O pH situou-se no valor médio de 6,29 para todo o período de amostragem, apresentando o valor mínimo no posto IPH com 5,8 e o máximo valor no posto União com pH 6,6. Na figura 5.2 se observa os valores médios de pH em cada um dos postos amostrados.

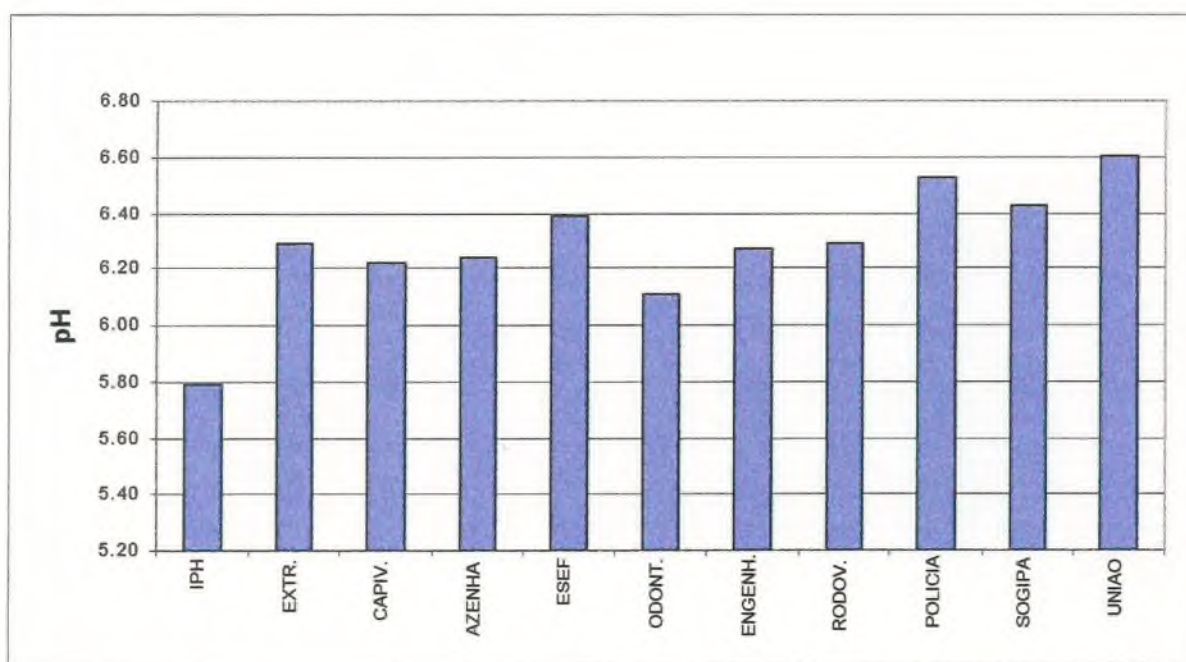


Figura 5.2 Variação do pH nos Postos de Amostragem da Água da Chuva

Embora o pH da chuva de Porto Alegre não mais apresente características de chuvas ácidas, verifica-se uma variabilidade significativa entre os diferentes postos. A aplicação do teste de diferença entre médias “t” de Student, a nível de significância $P < 5\%$, mostrou que existe diferença significativa somente entre os postos de amostragem.

As linhas de isoconcentração de pH (valores médios) para o período outubro/98-março/99 para Porto Alegre são apresentadas na figura 5.3.

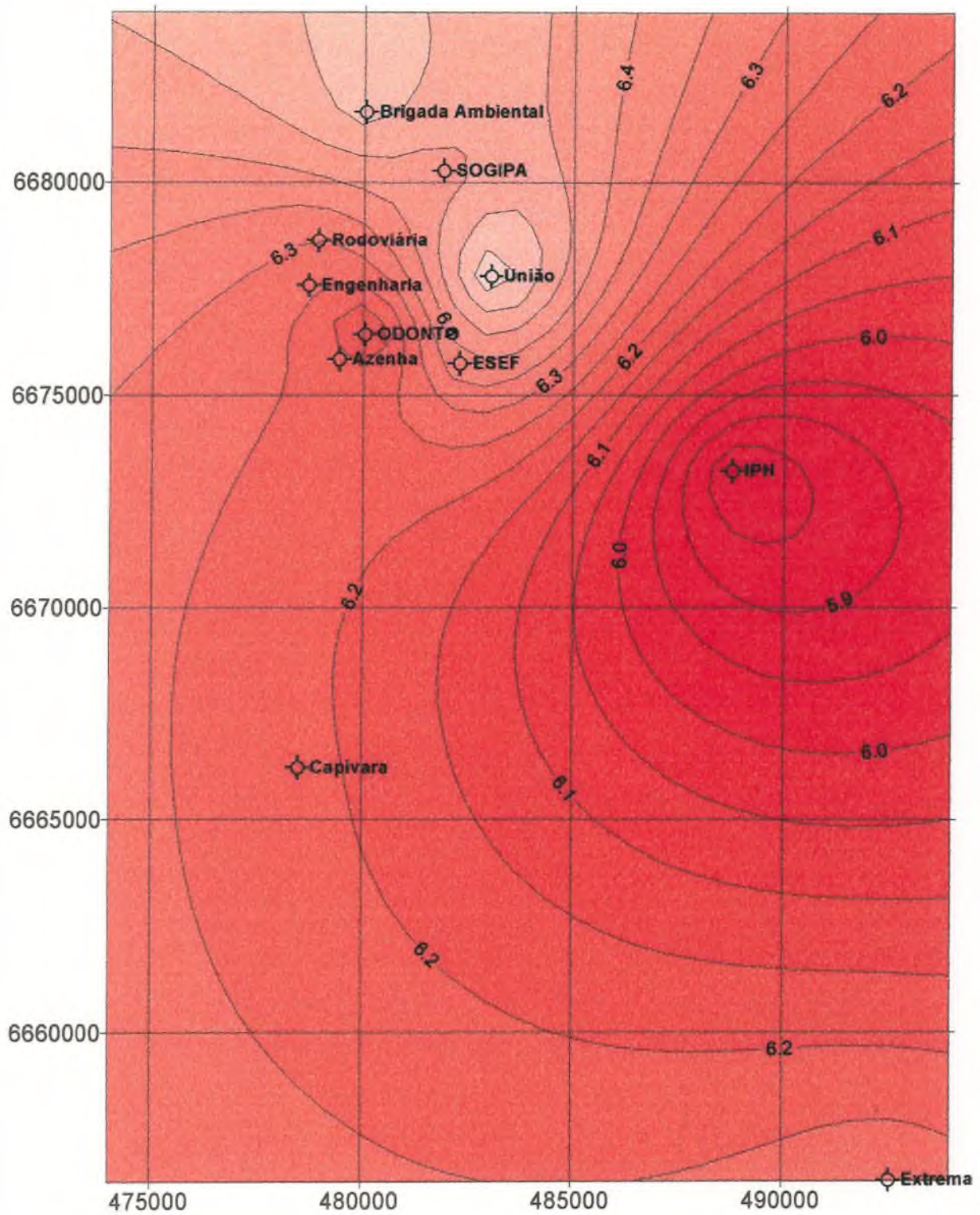


Figura 5.3 Distribuição Espacial dos Valores Médios de pH na Chuva de Porto Alegre, Período Outubro/98 - Março/99

5.2.1.2 Acidez e Alcalinidade

Na figura 5.4 são apresentados os valores médios de acidez e alcalinidade para cada um dos postos de amostragem da qualidade das chuvas. Observa-se que em todos os postos a alcalinidade sempre é maior que a acidez.

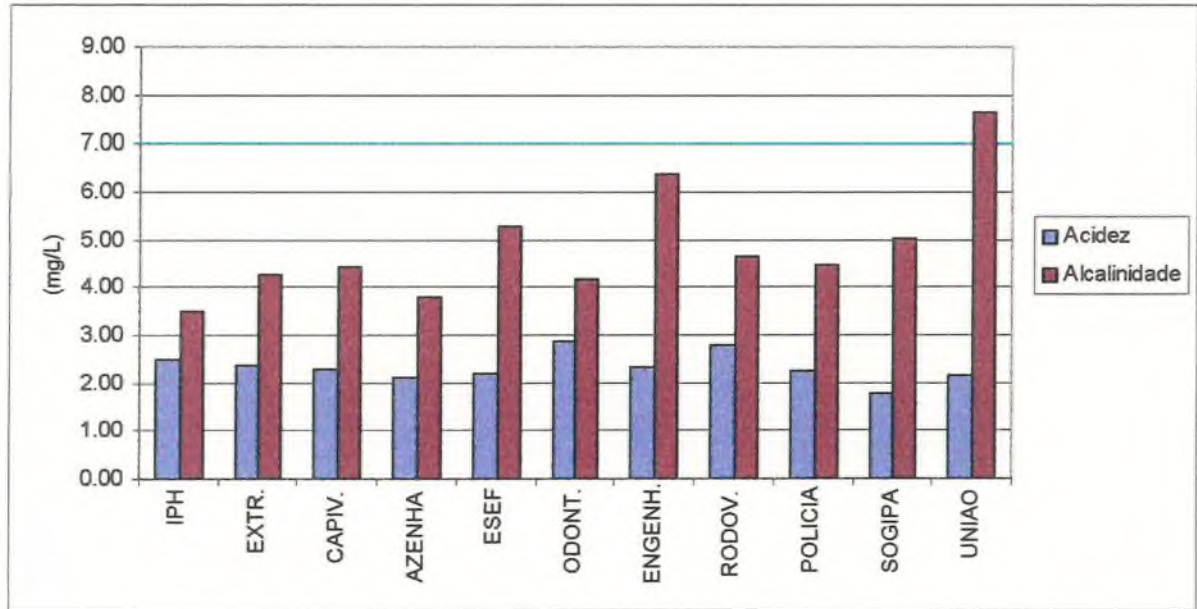


Figura 5.4 Variação da Acidez e Alcalinidade (em mg/L) nos Postos de Amostragem da Água da Chuva

Em geral os valores de acidez são baixos e apresentam pouca variabilidade entre os diferentes postos. Os valores médios variaram entre 1,77 mg/L de CaCO_3 no posto SOGIPA e 2,86 mg/L de CaCO_3 no posto Odontologia.

Com respeito aos valores de alcalinidade, foram obtidos valores entre 7,64 mg/L de CaCO_3 no posto União e 3,53 mg/L de CaCO_3 no posto IPH. Sendo consistentes com os valores de pH, os quais apresentaram o maior e menor valor respectivamente nestes postos.

5.2.1.3 Sólidos

Na figura 5.5 se apresenta a distribuição gráfica das concentrações de sólidos (totais e suspensos) em cada um dos postos de amostragem de qualidade da chuva.

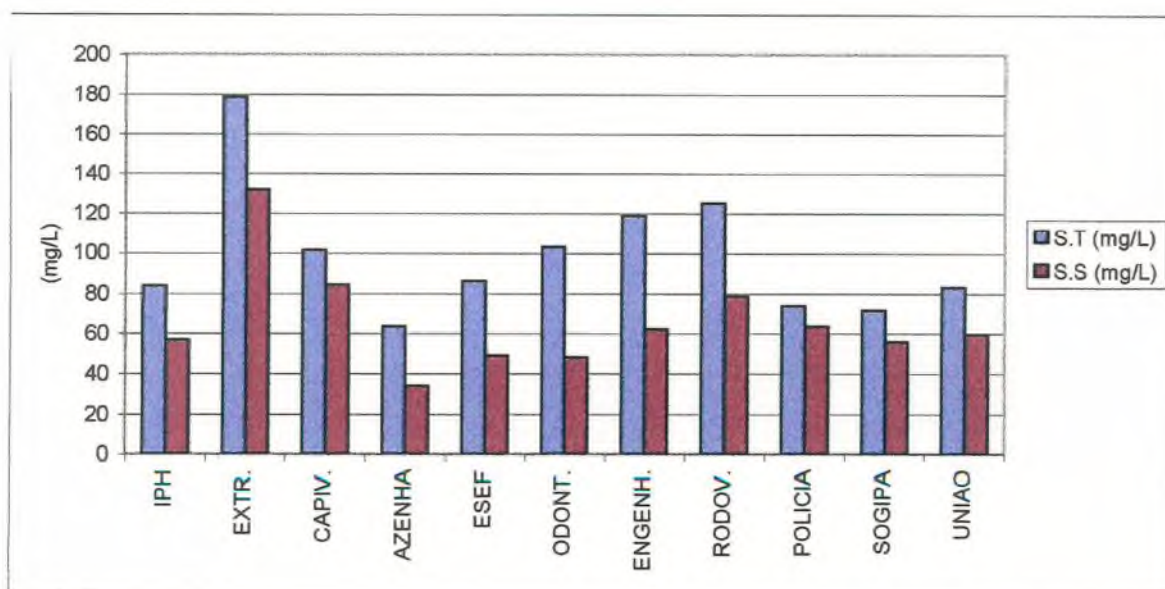


Figura 5.5 Variação dos Sólidos Totais (ST) e Suspensos (SS) nos Postos de Amostragem da Água da Chuva

Os máximos valores de sólidos totais ocorreram no posto localizado junto ao aterro sanitário de Extrema com 178,91 mg/L. Neste local a manipulação dos materiais para a conformação do aterro sanitário da Extrema fazem com que seja gerada uma grande quantidade de poeiras do solo. No posto Azenha se encontrou o valor médio mínimo de sólidos totais, 63,50 mg/L. No entanto, este mesmo posto apresentou a maior concentração de sólidos dissolvidos com 27,09 mg/L. Outros postos que apresentaram alta concentração de sólidos, tanto suspensos quanto dissolvidos, foram Engenharia e Rodoviária, locais que apresentam altos volumes de tráfego e portanto uma grande geração de fuligem.

5.2.1.4 Demanda Química de Oxigênio (DQO)

Na figura 5.6 são apresentados os valores médios de DQO para cada um dos postos de amostragem de qualidade das chuvas.

O valor máximo de DQO foi obtido no posto Odontologia, 25,83 mg/L, e o mais baixo, no posto Capivara, 10,93 mg/L. Na área de estudo, os valores de DQO apresentaram pouca variabilidade. A aplicação do teste de diferença entre médias “t” de Student, a nível de significância $P < 5\%$, mostrou que existe diferença significativa somente entre os postos Capivara e Engenharia.

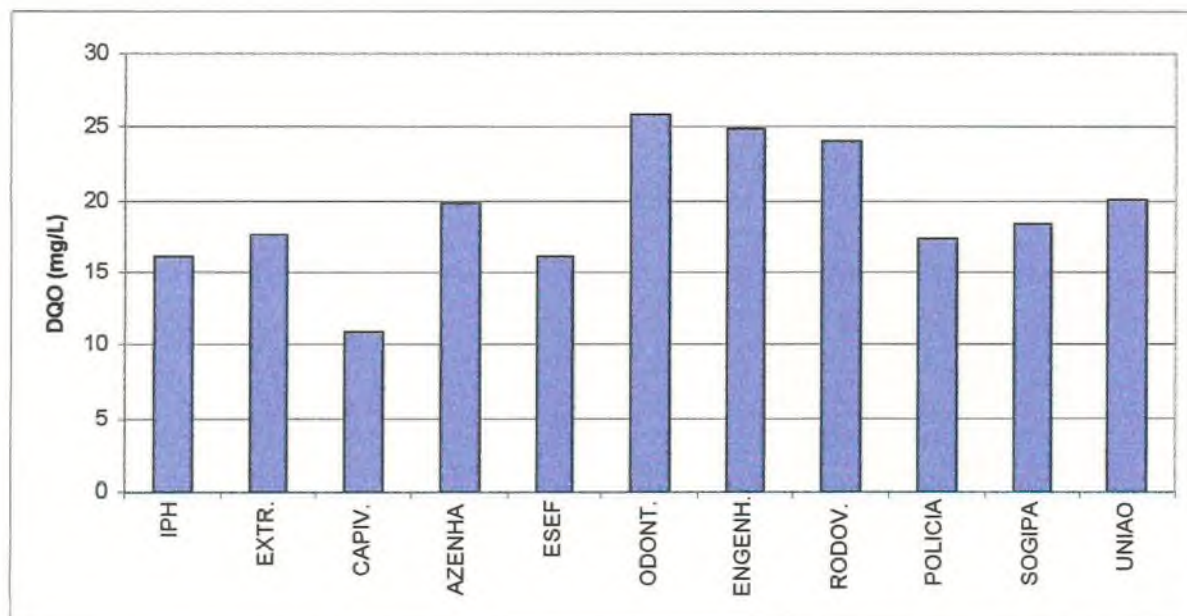


Figura 5.6 Variação da DQO nos Postos de Amostragem da Água da Chuva

A DQO pode ser devido à presença de compostos orgânicos voláteis, provenientes de veículos, dissolvidos na água da chuva, assim como de poeiras orgânicas não biodegradáveis. Deve-se lembrar que cloretos, amônia e compostos de ferro interferem com a DQO.

5.2.1.5 Íons

Foram analisados os cátions Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , e os ânions F^- , Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{-3} , SO_4^{-2} . Nas figuras 5.7 e 5.8 pode-se observar a representação gráfica dos valores médios dos cátions e ânions respectivamente, para cada um dos postos de amostragem de qualidade das chuvas.

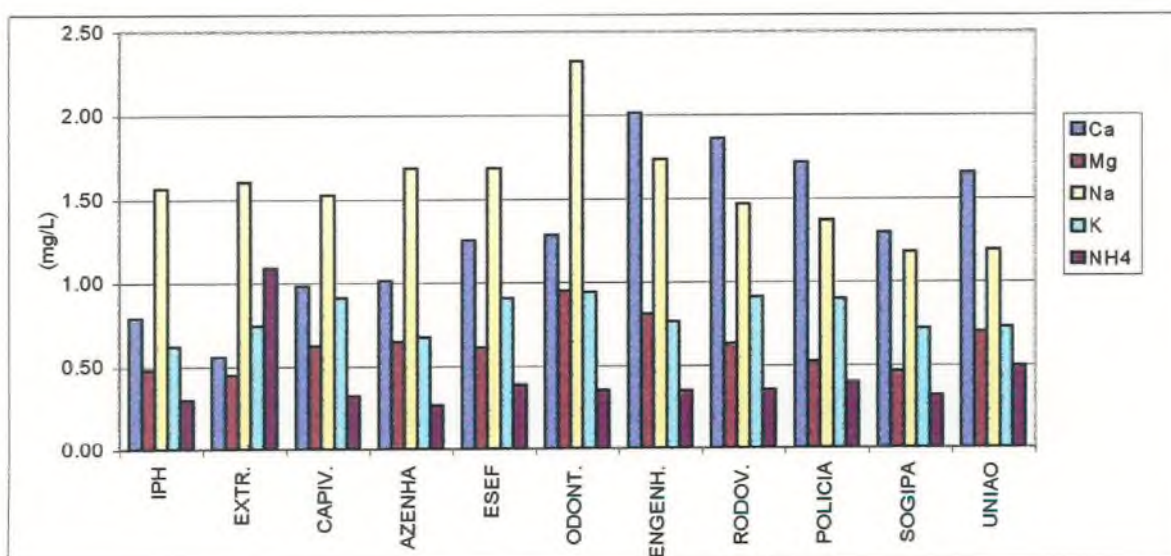


Figura 5.7 Variação dos Cátions (em mg/L) nos Postos de Amostragem da Água da Chuva

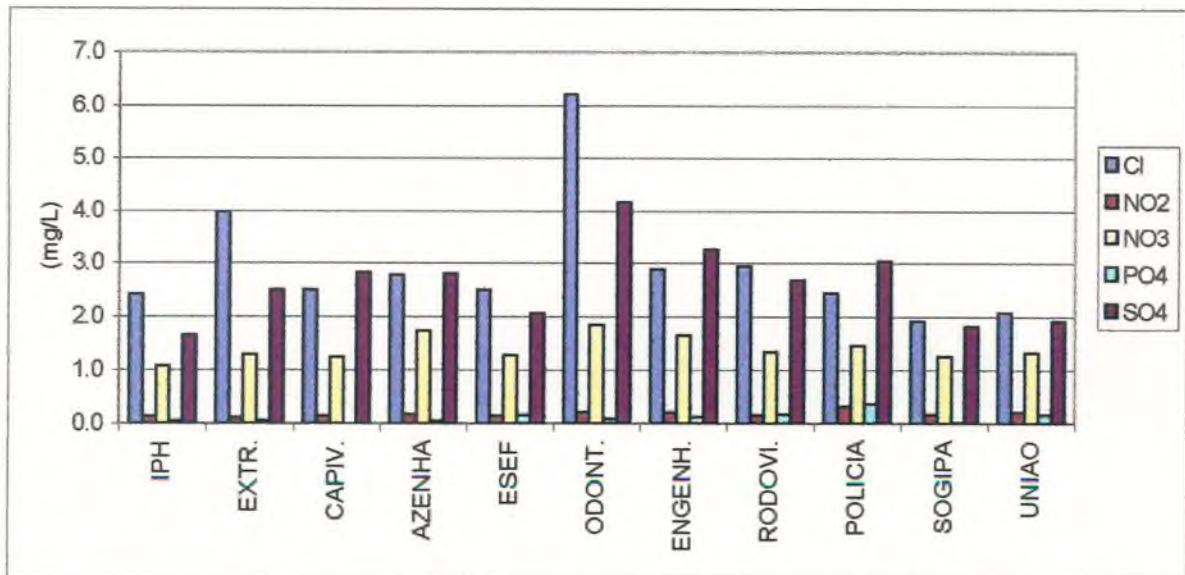


Figura 5.8 Variação dos Ânions (em mg/L) nos Postos de Amostragem da Água da Chuva

Na tabela 5.5 se encontram as concentrações médias dos íons analisados na água da chuva. Todas as concentrações são apresentadas em $\mu\text{eq/L}$ para determinar o balanço iônico.

Tabela 5.5 Concentração Média dos Íons Dissolvidos na Água da Chuva ($\mu\text{eq/L}$) de Porto Alegre no Período Outubro/98 – Março/99

	IPH	EXTREM.	CAPIV.	AZENHA	ESEF	ODONT.	ENGENH.	RODOV.	POLÍCIA	SOGIPA	UNIÃO
H ⁺	1.60	0.51	0.61	0.58	0.41	0.78	0.54	0.51	0.30	0.38	0.25
Ca ²⁺	39.43	27.56	57.59	61.50	70.28	69.46	108.21	96.11	90.56	77.94	102.97
Mg ²⁺	39.25	36.74	51.25	53.02	50.33	78.12	66.50	51.86	43.15	38.09	57.76
Na ⁺	67.96	69.65	66.39	74.20	74.70	100.96	69.95	63.81	59.47	51.21	51.73
K ⁺	15.84	18.99	23.20	17.20	23.19	24.13	19.47	23.35	23.04	18.42	18.60
NH ₄ ⁺	16.64	60.46	17.99	14.90	21.59	19.78	19.56	19.72	22.18	17.63	27.31
Σcátions	180.96	214.09	217.11	221.55	240.61	293.53	284.34	255.52	238.78	203.75	258.71
F ⁻	5.51	4.84	2.97	3.22	3.25	5.33	5.66	4.37	5.86	3.93	4.48
Cl ⁻	68.39	112.04	70.62	78.21	70.56	175.37	81.39	83.11	68.83	54.47	58.71
NO ₂ ⁻	2.76	2.28	3.37	3.86	3.05	4.49	4.64	3.51	6.93	3.77	4.52
NO ₃ ⁻	17.42	20.87	20.03	28.00	20.64	29.82	26.56	21.73	23.56	20.17	21.46
PO ₄ ³⁻	1.91	1.69	0.00	1.78	5.13	2.85	3.97	5.71	11.61	0.79	5.12
SO ₄ ²⁻	34.62	51.92	58.87	58.20	43.06	86.68	67.77	55.98	63.32	38.12	40.04
Σânions	130.60	193.64	155.86	173.27	145.68	304.55	189.99	174.43	180.10	121.26	134.33
Σânions / Σcátions	0.72	0.90	0.72	0.78	0.61	1.04	0.67	0.68	0.75	0.60	0.52

Na maioria dos postos o balanço iônico não foi atingido e a razão entre a soma dos ânions e a soma dos cátions foi inferior a 1. Isto pode ser devido à presença do ânion bicarbonato (HCO_3^-), de ânions orgânicos não determinados no estudo (Ravichandran & Padmanabhamurty, 1994) ou por problemas analíticos.

Em geral a concentração dos principais íons dissolvidos na água da chuva apresentam valores maiores que os observados na Região Metropolitana de Belo Horizonte, MG, como pode ser observado na tabela 5.6.

Tabela 5.6 Concentração Média em $\mu\text{eq/L}$ dos Principais Íons na Água da Chuva em Diferentes Locais ao redor do Mundo

Local	pH	H^+	Ca^{2+}	Na^+	Mg^{2+}	K^+	NH_4^+	SO_4^{2-}	NO_3^-	Cl^-
Long Island, U.S.A. (1986)	4,29	51,2	3,2	32,4			17,9	24,7	27,9	37,2
Pennsylvania, U.S.A. (1987)	3,51	311		70			70	299	87	8,5
Pasadena, CA, U.S.A. (1978)	4,06	87	9,6	25	6,6	2,1	33	60	75	29
Upstate NY, U.S.A. (1972)	4	103,3	57,7	8,3	15,8	3,3	32	113,2	51,6	33
Colorado, U.S.A. (1984)	5,2	6,3	38,5	10,9	7,1	8,4		38,7	25,7	16,3
Alberta, Canadá (1986)	5,5	3,16	63	15,2	15,1	7,2	15,2	43,3	15,8	6,6
Checoslováquia (1987)	4,3	50,7	29	6,1	6,6	2,3	57,2	104,4	44,8	10,4
Patras, Grécia (1988)	5,07	8,5	113,3		31,2		15,7	76	57	118,1
Beijing, China (1988)	6,7	0,18	760	77,4		38,2	224,4	337,5	81	59,1
Guiyang, China (1988)	4,07	84,5	231,2	10,1	56,5	26,4	78,9	411	21	8,2
Dhahran, Arábia Saudita (1990)	5,48	3,29	462,9	130	89,5	11,5	45,6	233	181	144,2
Belo Horizonte, MG Brasil (1994)	5,15	7,10	43,9	3,56	7,1	3,6	18,1	25,1	12,0	
Este Estudo	6,29	5,20	72,87	68,18	51,46	20,5	23,4	54,4	21,46	83,8

(Fonte: Azhari, 1990)

Os cátions Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} e K^+ apresentam valores superiores aos encontrados no Canadá, Tchecoslováquia e Estados Unidos. Em compensação, os valores dos ânions sulfato e nitrato apresentam valores inferiores à maioria dos outros estudos.

Em Porto Alegre, o sódio junto com o cálcio é o cátion que governa a química da precipitação e apresenta as maiores concentrações nos postos Odontologia e Engenharia. Os valores máximos apresentados foram de 2,32 mg/L de Na^+ no posto Odontologia e de 2,16 mg/L de Ca^{2+} no posto Engenharia. Isto sugere que a acidez da precipitação em Porto Alegre é controlada principalmente pelo efeito tampão destes íons na chuva, o que resulta em pHs com valores não característicos de chuvas ácidas.

A principal fonte dos cátions Ca^{2+} , Mg^{2+} e Na^+ são as poeiras atmosféricas o qual se observa na alta correlação entre as concentrações destes cátions e as concentrações de sólidos totais principalmente nos postos Odontologia, Engenharia e Rodoviária ($0,74 < r < 0,97$)

O íon amônia tem importância apenas no posto Extrema, o qual apresenta altos valores, justificados pelos processos de decomposição orgânica que ocorrem no aterro sanitário do DMLU. A presença de terras úmidas também favorece o aparecimento deste íon na precipitação.

A aplicação do teste de diferença entre médias "t" de Student, a nível de significância $P < 5\%$ para os diferentes cátions, mostrou que entre os postos existe diferença significativa somente do íon Ca^{2+} , apresentando os maiores valores nos postos Engenharia e União com valores de 2,16 mg/L e 2,06 mg/L respectivamente.

O ânion que governa a química da precipitação em Porto Alegre é o cloreto (Cl^-), seguido pelos íons sulfato (SO_4^{2-}) e o nitrato (NO_3^-). O posto que apresentou as maiores concentrações destes ânions foi Odontologia com valores médios de 6,22 mg/L de Cl^- , 4,17 mg/L de SO_4^{2-} e 1,85 mg/L de NO_3^- .

O fosfato foi encontrado em concentrações bastante baixas, sendo o posto da Polícia Ambiental que apresentou o máximo valor médio do período em estudo com 0,37 mg/L. Embora as concentrações de fosfato sejam baixas, a água da chuva coletada nos diferentes postos de amostragem pode ser classificada como classe 4 por ultrapassar o limite de 0,025 mg/L.

As correlações observadas entre as concentrações de sulfato-magnésio e nitrato-magnésio podem ser devidas à neutralização dos ácidos sulfúrico e nítrico com poeiras alcalinas contendo carbonato de magnésio, o que resultaria na formação de sulfato de magnésio e nitrato de magnésio na água de chuva coletada. Isto faz com que o pH da água da chuva não apresente valores característicos de chuvas ácidas. As seguinte expressões representam a concentração (mg/L) de sulfato e nitrato em função da concentração (mg/L) de magnésio.

$$[SO_4^{2-}] = 0,43 + 3,5[Mg^{2+}]$$

$$[NO_3^-] = 0,67 + 1,18[Mg^{2+}]$$

Um outro par de ânions que apresentou bom coeficiente de correlação em todos os postos ($0,75 < r < 0,95$) foi o sulfato (SO_4^{2-}) com a soma de nitrito e nitrato ($NO_2^- + NO_3^-$). Esta relação pode ser útil nos casos em que não se tem informações completas sobre este par de ânions. A expressão que representa a concentração de sulfato (mg/L) em função da concentração (mg/L) da soma dos ânions nitrito e nitrato é apresentada a seguir.

$$[SO_4] = -1,01 + 2,28[NO_3 + NO_2]$$

5.2.1.6 Metais (Al, Cd, Cr, Pb, Cu, Hg, Fe total)

Na figura 5.9 pode-se observar a representação gráfica dos valores médios de Cr, Pb e Fe para cada um dos postos de amostragem de qualidade das chuvas. Na figura 5.10 observa-se a variação do mercúrio (em mg/L).

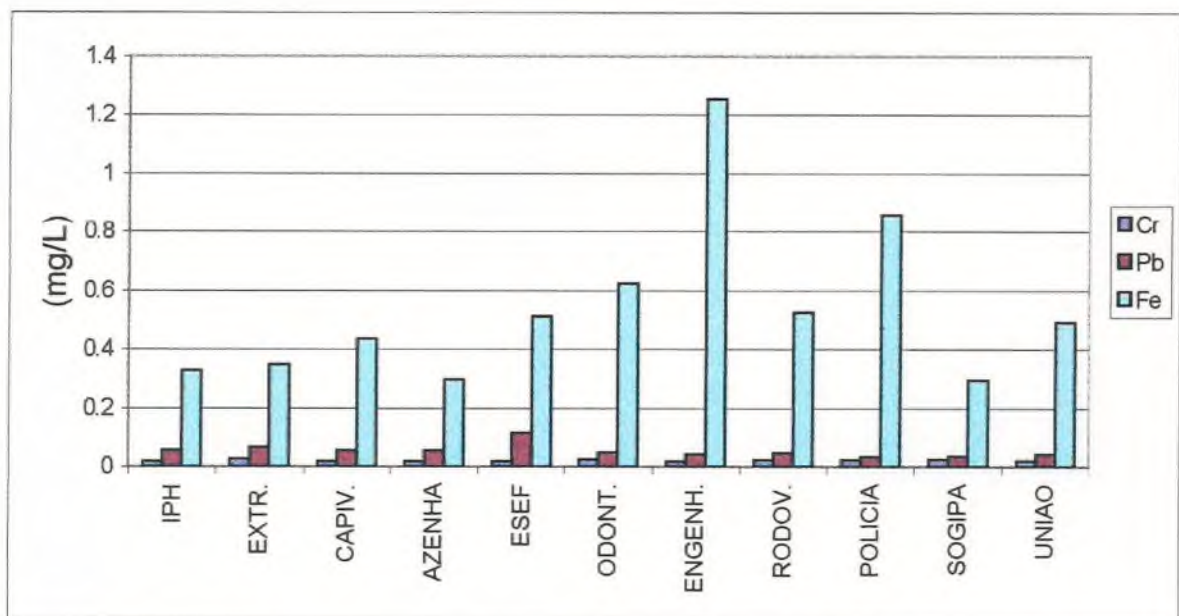


Figura 5.9 Variação do Cr, Pb e Fe (em mg/L) nos Postos de Amostragem da Água da Chuva

Dos metais analisados na água da chuva, somente foram detectados cromo (Cr), chumbo (Pb), mercúrio (Hg) e ferro total. A variabilidade na concentração destes metais não é significativa quando aplicado o teste de diferença entre médias “t” de Student.

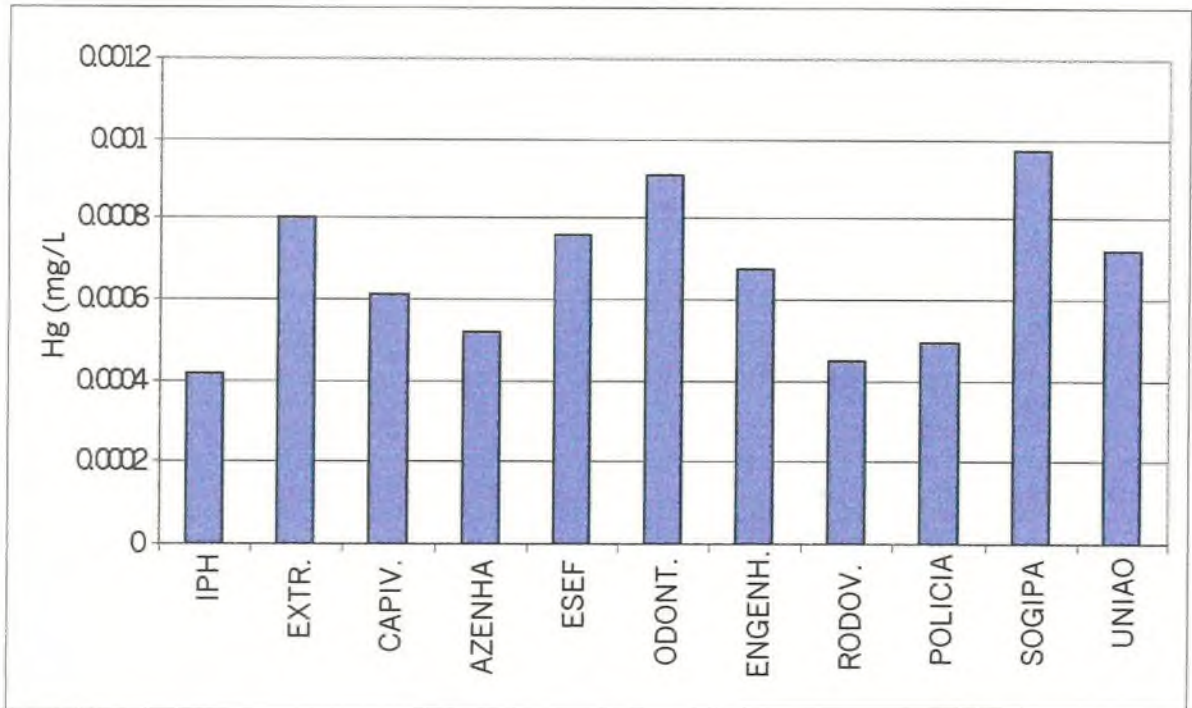


Figura 5.10 Variação do Hg (em mg/L) nos Postos de Amostragem da Água da Chuva

Observa-se que o metal que apresentou as maiores concentrações foi o ferro, com um valor máximo de 1,25 mg/L no posto Engenharia, seguido pelo chumbo com um valor máximo de 0,12 mg/L no posto ESEF, o cromo com 0,03 mg/L no posto Extrema e por último o mercúrio com 0,00098 mg/L no posto SOGIPA.

As concentrações de metais são devidas às poeiras atmosféricas. Nos postos ESEF e SOGIPA, nos quais se observaram as maiores concentrações de cromo e mercúrio respectivamente, foram encontrados altos índices de correlação com os teores de sólidos totais. No posto ESEF se observou um índice de correlação de $r=0,86$ entre a concentração de chumbo e a concentração de sólidos totais, e no posto SOGIPA se observou um índice de correlação $r=0,94$ entre a concentração de mercúrio e a concentração de sólidos totais. A seguir são apresentadas as equações que representam as concentrações destes metais (mg/L) em função da concentração de sólidos totais.

$$\text{Posto ESEF: } [Pb] = -0,14 + 0,0029[ST]$$

$$\text{Posto SOGIPA: } [Hg] = -0,27 + 0,017[ST]$$

Em todos os locais a concentração de cromo chumbo e mercúrio excedem os limites de classe 3 de CONAMA, mostrando precipitações atmosféricas bem poluídas que podem estar associadas a cinzas volantes de carvão, desgaste de lonas de freios e/ou desgaste de

pneus de carros e caminhões, desgaste de material de construção e transporte atmosférico de longa distância.

5.2.2 Comparação dos Dados de Qualidade das Chuvas com Estudos Anteriores

Os valores médios das concentrações de diferentes parâmetros obtidos neste estudo foram comparados com o resultado do trabalho desenvolvido conjuntamente pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul/Instituto de Pesquisas Hidráulicas e PETROBRÁS/Refinaria Alberto Pasqualini, no ano 19886/1987. Na tabela 5.7 são apresentados os valores médios destes parâmetros e na figura 5.11 a representação gráfica de dita variação.

Tabela 5.7 Comparação da Concentração Média dos Poluentes da Água da Chuva do Estudo 1986/1987 com o Estudo Atual

	Concentração Média I	Concentração Média II	% de Variação
PH	5,49	6,29	14.57
Acidez (mg/L)	4,9	2,33	-52.45
Sulfatos(mg/L)	6,04	2,61	-56.79
Nitratos(mg/L)	0,45	1,41	213.33
Cloretos (mg/L)	4,55	2,97	-34.73
Fe Total (mg/L)	0,65	0,54	-16.92
Cálcio (mg/L)	0,95	1,46	53.68
Magnésio (mg/L)	0,81	0,63	-22.22
Potássio (mg/L)	0,66	0,80	21.21
Pb (mg/L)	0,06	0,05	-16.67
Cu (mg/L)	0,01	ND	-100.00
Cd (mg/L)	0,02	ND	-100.00

I: Estudo 1986/1987 (Fonte: De Luca, 1991)

II: Estudo Atual

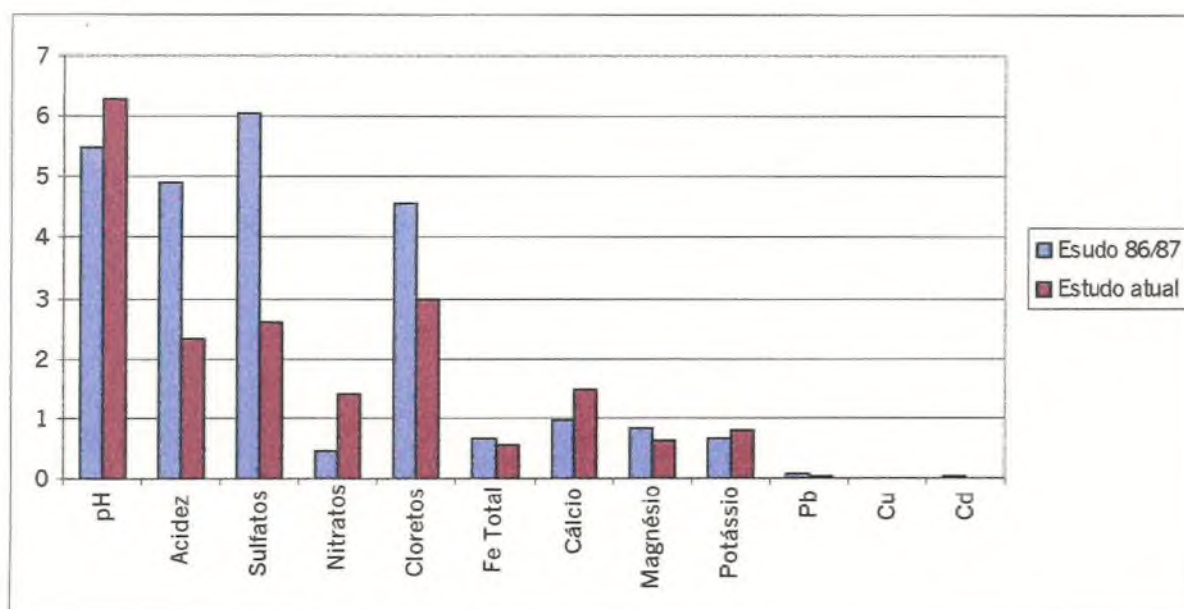


Figura 5.11 Comparação das Concentrações Médias de Poluentes na Água da Chuva dos Estudos 1986/1987 e o Estudo Atual

Observa-se que em geral, houve melhoria na qualidade da água da chuva. Parâmetros tais como o pH passaram de um valor médio de 5,49 para 6,29, refletindo também uma diminuição no valor da acidez, a qual passou de um valor de 4,9 mg/L para 2,33 mg/L. Da mesma maneira, o sulfato, que no estudo de 86/87 apresentou um valor de 6,04 mg/L diminuiu em 56%, apresentando uma concentração média de 2,61 mg/L. Outros parâmetros que também apresentaram diminuição na concentração foram os cloretos, ferro total, magnésio, e chumbo. O cobre e o cádmio não foram detectados no estudo atual. Atualmente está havendo uma substituição gradual de lonas de freios, diminuindo o teor de cádmio atmosférico

O nitrato apresentou aumento na concentração em relação ao estudo anterior passando de 0,45 mg/L para 1,41 mg/L, o que pode ser devido ao aumento do volume de tráfego na cidade de Porto Alegre, tendo em conta que os maiores aportes de NO_x à atmosfera provêm dos veículos.

A concentração dos cátions cálcio e potássio também aumentou em relação ao estudo anterior. O cálcio, que no estudo 1986/1987 apresentou uma concentração de 0,95mg/L aumentou para 1,46 mg/L e o potássio passou de 0,66 mg/L para 0,80 mg/L. O aumento na concentração destes cátions pode ter contribuído como agente tamponante para o aumento do pH em relação ao estudo do ano 1986/1987

A melhoria na qualidade da água da chuva pode ser devida às múltiplas medidas de controle impostas nos últimos anos especialmente o uso de óleo diesel metropolitano a partir de 1993.

5.2.3 Níveis de Deposição

Os níveis de deposição foram determinados para os principais parâmetros no período total de amostragem em cada um dos postos, multiplicando-se a concentração em mg/L pela altura total de chuva durante o período. Os valores de deposição se apresentam em unidades de massa/hectare e representam a carga de poluentes aportada pela chuva no período compreendido entre o 7 de outubro de 1998 e o 16 de março de 1999 (161 dias).

O volume precipitado em cada posto de amostragem de água da chuva foi determinado usando as estações meteorológicas do Aeroporto Internacional Salgado Filho, do Oitavo Distrito de Meteorologia e da Cavalhada. Na tabela 5.8 se apresentam os valores da precipitação assim como os níveis de deposição para cada posto.

Tabela 5.8 Valores Médios de Deposição em kg/ha do Período Outubro/98 – Março/99

	IPH	EXTREM.	CAPIV.	AZENHA	ESEF	ODONT.	ENG.	RODOV.	POLICIA	SOGIPA	UNIÃO
Precip. (mm)	372,34	343,14	371,12	331,01	355,77	331,78	364,59	370,69	343,26	362,90	331,45
Ca	2,94	1,89	4,27	4,07	5,00	4,61	7,89	7,13	6,22	5,66	6,83
Mg	1,78	1,53	2,31	2,13	2,18	3,15	2,95	2,34	1,80	1,68	2,33
Na	5,82	5,50	5,67	5,57	6,00	7,70	6,32	5,44	4,70	4,27	3,94
K	2,31	2,55	3,37	2,23	3,23	3,13	2,78	3,39	3,09	2,61	2,41
NH₄	1,11	3,73	1,20	0,89	1,38	1,18	1,28	1,32	1,37	1,15	1,63
Cl	9,03	13,63	9,29	9,18	8,90	20,63	10,52	10,92	8,38	7,01	6,90
NO₂	0,47	0,36	0,58	0,59	0,50	0,68	0,78	0,60	1,09	0,63	0,69
NO₃	4,02	4,44	4,61	5,75	4,55	6,13	6,00	4,99	5,01	4,54	4,41
PO₄	0,22	0,18	0,00	0,19	0,58	0,30	0,46	0,67	1,26	0,09	0,54
SO₄	6,19	8,56	10,50	9,26	7,36	13,82	11,87	9,97	10,44	6,65	6,38
Cr	0,07	0,09	0,07	0,06	0,07	0,08	0,07	0,08	0,08	0,09	0,07
Pb	0,20	0,23	0,20	0,18	0,41	0,16	0,16	0,17	0,11	0,12	0,14
Hg	0,00155	0,00276	0,00226	0,00171	0,00270	0,00302	0,00247	0,00167	0,00169	0,00354	0,00238
Fe	1,22	1,19	1,61	0,98	1,82	2,07	4,57	1,95	2,95	1,07	1,63

A carga depositada dos principais poluentes apresenta os maiores valores nos postos mais próximos do centro da cidade (Odontologia, Engenharia e Rodoviária), onde também as concentrações apresentam os maiores valores já que a diferença da precipitação entre os postos não é muito significativa.

Os valores médios de deposição anual foram determinados com as concentrações médias e a precipitação média anual de Porto Alegre de 1600 mm. Os resultados podem ser observados na tabela 5.9.

Tabela 5.9 Deposição Média Anual em Kg/ha/ano em Porto Alegre

P (mm)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	Cr	Pb	Hg	Fe
1600	32.86	11.24	11.64	11.64	7.86	33.23	3.32	21.29	2.60	30.77	0.32	0.69	0.01	7.85

5.2.3.1 Comparação dos Níveis de Deposição deste Estudo com Estudos Anteriores em Porto Alegre

Na tabela 5.10 são apresentados os valores de carga média anual obtidos neste estudo e os obtidos no estudo realizado no ano 1986/1987. A figura 5.12 contém a representação gráfica da variação deste valores.

Tabela 5.10 Comparação da Carga Média Anual de Poluentes na Água da Chuva dos Estudos 1986/1987 e o Estudo Atual

Carga (kg/há/ano)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Fe	Pb	Cu	Cd
I	32,86	11,24	11,64	7,86	33,23	21,29	30,77	7,85	0,69	0	0
II	18,29	15,60	12,70	34,34	81,26	8,66	116,3	12,52	1,16	0,19	0,380
% de Variação	79,66	-27,95	-8,35	-77,11	-59,11	145,84	-73,54	-37,30	-40,52	-100,00	-100,00

I : Estudo Atual

II : Estudo 1986/1987 (Fonte: De Luca, 1991)

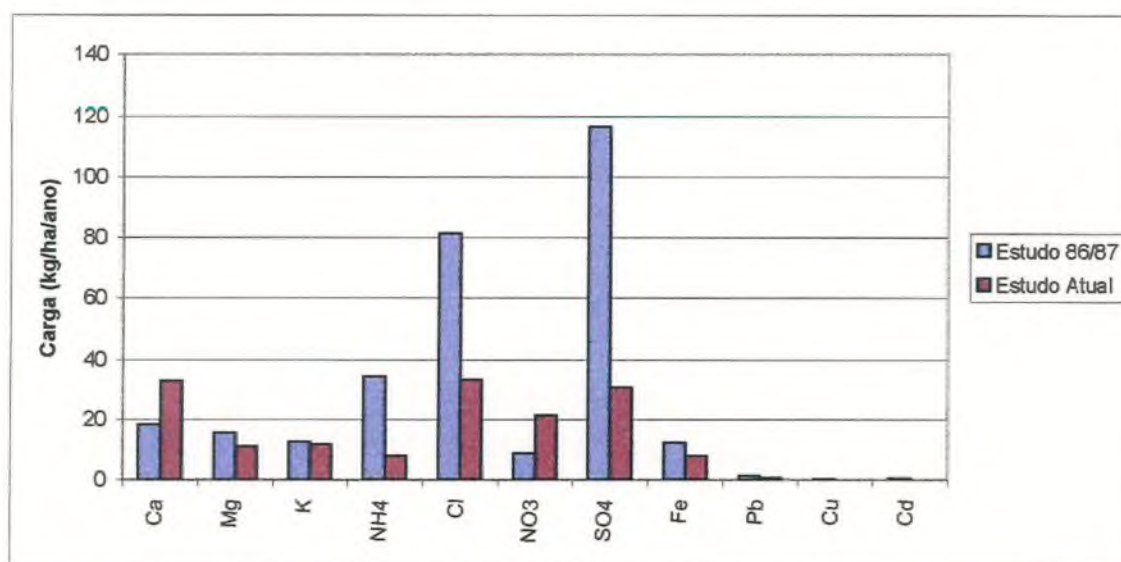


Figura 5.12 Comparação da Carga Média Anual de Poluentes na Água da Chuva dos Estudos 1986/1987 e o Estudo Atual

Observa-se que com exceção dos íons cálcio e nitrato, os valores da carga depositada (em Kg/ha/ano) apresentaram melhoria. As principais diminuições ocorreram com a amônia, o sulfato e com o cloreto nos quais se obtiveram porcentagens de variação de 77,11%, 73,54% e 59,11% respectivamente.

O Cálcio e o nitrato, cujos valores de carga depositada aumentaram em relação ao ano 1986/1987, apresentaram uma variação de 79,66% e 145,84% respectivamente. As maiores cargas de nitrato estão associadas aos óxidos de nitrogênio do ar de fontes fixas e móveis.

5.2.4 Variação Sazonal

Na tabela 5.11 estão indicados os valores médios para cada posto dos dois períodos avaliados: primavera e verão. O primeiro período corresponde ao período entre 7 de outubro e 22 de dezembro de 1998 (seis primeiras coletas). O segundo período corresponde ao período entre o 22 de dezembro e 16 de março de 1999 (seis últimas coletas).

Tabela 5.11 Valores Médios da Qualidade da Água da Chuva na Primavera e no Verão em Porto Alegre

Parâmetro	Estação	IPH	EXTR.	CAPIV.	AZENH.	ESEF	ODONT.	ENGENH	RODOV.	POLIC.	SOGIPA	UNIAO	Média
pH	Primavera	5.90	6.19	6.27	6.25	6.34	6.13	6.29	6.32	6.53	6.45	6.57	6.29
	Verão	5.67	6.41	6.16	6.23	6.45	6.08	6.25	6.26	6.52	6.40	6.64	6.28
Cond.	Primavera	21.50	39.17	19.20	24.17	22.00	38.83	29.00	20.50	31.00	19.17	17.17	25.61
	Verão	16.20	23.40	18.40	24.33	21.67	31.00	15.40	28.60	18.33	16.33	23.50	21.56
Acidez	Primavera	3.12	2.52	2.36	2.68	2.50	3.58	2.40	2.95	2.78	1.82	2.63	2.67
	Verão	1.72	2.20	2.22	1.58	1.88	2.00	2.22	2.64	1.78	1.72	1.72	1.97
Alcal.	Primavera	4.58	4.53	4.70	4.04	5.55	5.27	6.42	5.17	4.62	6.13	8.83	5.44
	Verão	2.26	3.96	4.14	3.58	5.05	2.92	6.34	4.02	4.38	3.90	6.45	4.27
ST	Primavera	112.83	230.00	139.00	76.00	113.00	139.17	169.83	153.67	82.20	106.00	99.33	129.2
	Verão	48.60	117.60	63.80	51.00	59.00	59.80	57.80	92.00	66.67	37.00	66.67	65.45
SS	Primavera	79.00	162.80	121.80	45.00	61.60	68.40	79.00	86.80	71.80	91.00	74.60	85.62
	Verão	34.20	101.00	46.60	25.00	38.50	27.60	45.20	70.20	56.50	26.67	46.50	47.09
DQO	Primavera	20.53	25.17	12.54	22.65	19.55	32.43	26.15	31.98	21.07	23.17	23.70	23.54
	Verão	10.80	8.68	9.32	17.07	12.62	17.90	23.52	14.52	13.52	13.67	16.62	14.38
Ca	Primavera	0.90	0.51	1.60	1.79	1.93	1.71	3.11	2.20	2.20	2.35	2.98	1.93
	Verão	0.65	0.60	0.70	0.67	0.88	1.00	1.03	1.59	1.42	0.77	1.14	0.95
Mg	Primavera	0.52	0.43	0.73	0.70	0.77	1.24	1.06	0.72	0.60	0.51	0.76	0.73
	Verão	0.42	0.46	0.52	0.59	0.45	0.60	0.50	0.52	0.45	0.41	0.64	0.51
Na	Primavera	1.74	1.65	1.70	1.78	1.98	2.82	1.77	1.74	1.90	1.21	1.19	1.77
	Verão	1.35	1.56	1.35	1.59	1.39	1.73	1.69	1.14	0.84	1.15	1.19	1.36
K	Primavera	0.66	0.86	0.60	0.83	1.25	1.21	0.94	1.25	1.21	0.80	0.88	0.95
	Verão	0.57	0.63	1.22	0.51	0.57	0.63	0.55	0.51	0.59	0.64	0.57	0.64
NH4	Primavera	0.42	1.03	0.39	0.43	0.54	0.47	0.38	0.41	0.60	0.39	0.68	0.52
	Verão	0.21	1.14	0.27	0.16	0.29	0.27	0.33	0.31	0.27	0.27	0.36	0.35
Cl	Primavera	2.90	4.57	2.92	3.30	3.37	7.20	3.60	2.62	3.10	2.21	2.36	3.47
	Verão	1.85	3.26	2.09	2.25	1.63	5.03	2.02	3.34	1.78	1.65	1.81	2.43
NO2	Primavera	0.23	0.17	0.24	0.31	0.25	0.38	0.35	0.30	0.37	0.25	0.29	0.29
	Verão	0.00	0.02	0.07	0.05	0.04	0.00	0.05	0.00	0.26	0.10	0.12	0.06
NO3	Primavera	1.38	1.51	1.41	1.80	1.56	2.11	1.84	1.20	1.48	1.40	1.25	1.54
	Verão	0.71	1.03	1.08	1.68	1.00	1.54	1.42	1.52	1.44	1.11	1.41	1.27
PO4	Primavera	0.11	0.07	0.00	0.05	0.26	0.17	0.23	0.25	0.52	0.00	0.20	0.17
	Verão	0.00	0.04	0.00	0.06	0.06	0.00	0.00	0.10	0.21	0.05	0.13	0.06
SO4	Primavera	2.16	2.84	3.76	3.38	2.82	5.52	3.86	2.81	3.77	2.32	2.16	3.22
	Verão	1.07	2.08	1.90	2.21	1.32	2.54	2.53	2.55	2.31	1.34	1.68	1.96
Cr	Primavera	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.04	0.05	0.05	0.04	0.04
	Verão	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pb	Primavera	0.09	0.11	0.11	0.09	0.22	0.08	0.06	0.06	0.05	0.05	0.06	0.09
	Verão	0.01	0.02	0.00	0.02	0.01	0.01	0.02	0.03	0.01	0.01	0.02	0.01
Hg µg/L	Primavera	0.53	0.94	0.66	0.62	1.13	0.93	0.63	0.46	0.55	1.32	0.66	0.77
	Verão	0.28	0.67	0.56	0.42	0.38	0.88	0.72	0.44	0.43	0.63	0.77	0.56
Fe	Primavera	0.26	0.42	0.35	0.23	0.62	0.71	0.87	0.48	0.40	0.26	0.45	0.46
	Verão	0.41	0.28	0.51	0.37	0.41	0.52	1.71	0.58	1.32	0.33	0.53	0.63

Unidades em mg/L exceto onde indicado

Na tabela acima pode-se observar que, com poucas exceções, as concentrações médias correspondentes à primavera sempre foram maiores do que as concentrações obtidas no verão. Tal não é o caso do ferro total, o qual apresentou maiores teores no segundo período para todos os postos.

Ao aplicar-se o teste de diferença entre médias “t” de Student, pode-se concluir que existe forte evidência ($P < 1\%$) de que as concentrações das espécies químicas encontradas na água da chuva são maiores na primavera do que no verão exceto o pH, condutividade, sólidos dissolvidos e ferro total.

O cátion que apresenta maior variação é o cálcio, com concentrações médias de 1,93 mg/L na primavera e de 0,95 mg/L no verão. Entre os ânions mais importantes, os que apresentam maior variação são os sulfatos, com concentrações de 3,22 mg/L na primavera e 1,96 mg/L no verão. Da mesma maneira, entre os metais, o que apresentou maior variação foi o cromo, cuja concentração passou de 0,04 mg/L na primavera a quase zero no verão.

5.3 Correlações Qualidade da Chuva – Qualidade do Ar

As relações entre os poluentes da chuva e do ar foram relacionados utilizando regressão linear simples envolvendo os poluentes e regressão linear múltipla envolvendo a precipitação média de cada posto. Os resultados obtidos dos coeficientes de correlação são apresentados na tabela 5.12.

Tabela 5.12 Coeficientes de Correlação das Variáveis Chuva-Ar nos Diferentes Postos de Amostragem

Variáveis Relacionadas	Azenha-Azenha		ESEF-8° DISME		ODONT.-HPS		Engenh.-Rodoviária		Rodov. – Rodov.		Polícia – CEASA		SOGIPA – Benjamin C.	
	r	r ²	r	r ²	r	r ²	r	r ²	R	r ²	r	r ²	r	r ²
SO4 Vs. SO2	0,242	0,060	0,490	0,240	0,360	0,130	0,370	0,140	0,040	0,001	0,980	0,950	0,700	0,490
SO4-P Vs. SO2	0,243	0,060	0,520	0,270	0,570	0,320	0,510	0,260	0,130	0,020	0,980	0,950	0,730	0,540
NO3+NO2 Vs. NOx	0,330	0,110	*	*	**	**	*	*	0,930	0,860	*	*	*	*
NO3 Vs. NOx	0,510	0,260	*	*	**	**	*	*	0,990	0,990	*	*	*	*
SS Vs. PTS	*	*	0,600	0,360	*	*			*	*	0,340	0,110	0,002	0,000
SS – P Vs. PTS	*	*	0,600	0,360	*	*			*	*	0,340	0,110	0,62	0,38

P : Volume precipitado

* Parâmetro de qualidade do ar não medido

** Número de dados insuficiente

Na tabela acima observa-se que as melhores correlações entre o SO_2 no ar e SO_4 na chuva se apresentam quando relacionados os dados de qualidade da chuva do posto do Batalhão da Polícia Ambiental com os dados da estação de amostragem de qualidade do ar da CEASA, com um índice de correlação $r=0,98$. Uma outra situação que apresentou um índice de correlação alto foi quando relaciona-se o posto da SOGIPA com a estação da Benjamin Constant sendo $r=0,70$. Isto mostra que os atletas na SOGIPA estão respirando ar altamente contaminado e que a estação de amostragem da chuva está bem posicionada.

Com relação ao NO_x no ar e os compostos de nitrogênio na água da chuva (nitrito e nitrato), o posto da Rodoviária apresenta um índice de correlação de 0,99, porém este valor não é muito representativo, pois o número de amostragens de NO_x no período avaliado é muito baixo, sendo a regressão realizada somente com três dados.

As outras variáveis correlacionadas foram os sólidos suspensos na água da chuva e as partículas totais em suspensão (PTS) no ar, apresentando um índice de correlação máximo $r=0,60$ quando feita a regressão entre os dados de qualidade da chuva do posto ESEF com os dados de qualidade do ar de posto 8º DISME.

Um aspecto a ressaltar é que em todas as regressões realizadas, o volume precipitado não modificou significativamente os valores finais dos índices de correlação entre os dados de qualidade da chuva e de qualidade do ar.

Em geral as correlações de poluentes chuva/ar não são muito boas, indicando que não existe uma relação direta causa – efeito, pois os poluentes lançados à atmosfera não são depositados no mesmo local onde são gerados, mas sim, dependem do tempo de residência na atmosfera que pode ser bastante breve ou se estender por muitos dias, semanas ou até anos. Além de outros fatores, principalmente meteorológicos, tais como tipo de precipitação (frontal, convectiva,) , tamanho das gotas de chuva, dias precedentes sem precipitação, velocidade e direção do vento, topografia do terreno , etc...

5.4 Aplicação do Modelo ISCST3

Este modelo de difusão de contaminantes atmosféricos foi aplicado utilizando como fontes fixas de emissão de poluentes as principais fontes do parque industrial da Região

Metropolitana de Porto Alegre, para determinar as concentrações de SO₂ e NO_x na Região Metropolitana de Porto Alegre e na área urbana do Município de Porto Alegre. Os dados de entrada e de saída do modelo são apresentados no anexo A2.

5.4.1 Simulação das Concentrações de SO₂

5.4.1.1 Região Metropolitana

Inicialmente o modelo foi executado visando observar a influência das principais fontes fixas na Região Metropolitana de Porto Alegre na qualidade do ar. A figura 5.13 apresenta as linhas de isoconcentração dos valores médios anuais de SO₂ para toda esta área.

Verifica-se que os máximos teores DE SO₂ se apresentam nas proximidades dos municípios de Canoas e Esteio, notadamente, pela influência da REFAP (Fonte F6). O máximo valor médio obtido no período avaliado nesta área foi de 102,69 µg/m³, ultrapassando o padrão primário de 100 µg/m³ estabelecido pela resolução CONAMA. Uma outra área que apresenta altos teores de SO₂, embora sem ultrapassar os padrões de qualidade do ar é a região próxima à COPESUL, onde ocorreram concentrações de até 68 µg/m³.

O valor máximo de 24 horas para esta região foi de 123,5 µg/m³ o qual ocorreu também nas proximidades dos municípios de Canoas e Esteio, excedendo o padrão secundário de qualidade do ar da Resolução CONAMA. Este padrão foi excedido em várias oportunidades no mesmo local.

5.4.1.2 Área Urbana do Município de Porto Alegre

A concentração média de 24 horas de SO₂ simulada para a área de Porto Alegre, mostra um valor máximo de 70,03 µg/m³, observado no dia 31 de outubro, na zona norte de Porto Alegre, entre o Aeroporto Internacional Salgado Filho e as instalações da CEASA, nas coordenadas Leste = 484.724,47 e Norte = 6.682.781. As condições climáticas médias durante este dia apresentaram uma velocidade do vento de 2,4 m/s no sentido sul, temperatura de 23 °C, condições atmosféricas levemente estáveis e altura da camada de mistura de 262 metros, condições favoráveis para a presença do fenômeno de inversão térmica. O valor médio encontrado é menor que os valores estabelecidos como padrão primário e secundário de 365 µg/m³ e 100 µg/m³ respectivamente na Resolução CONAMA N° 3 de 1990.

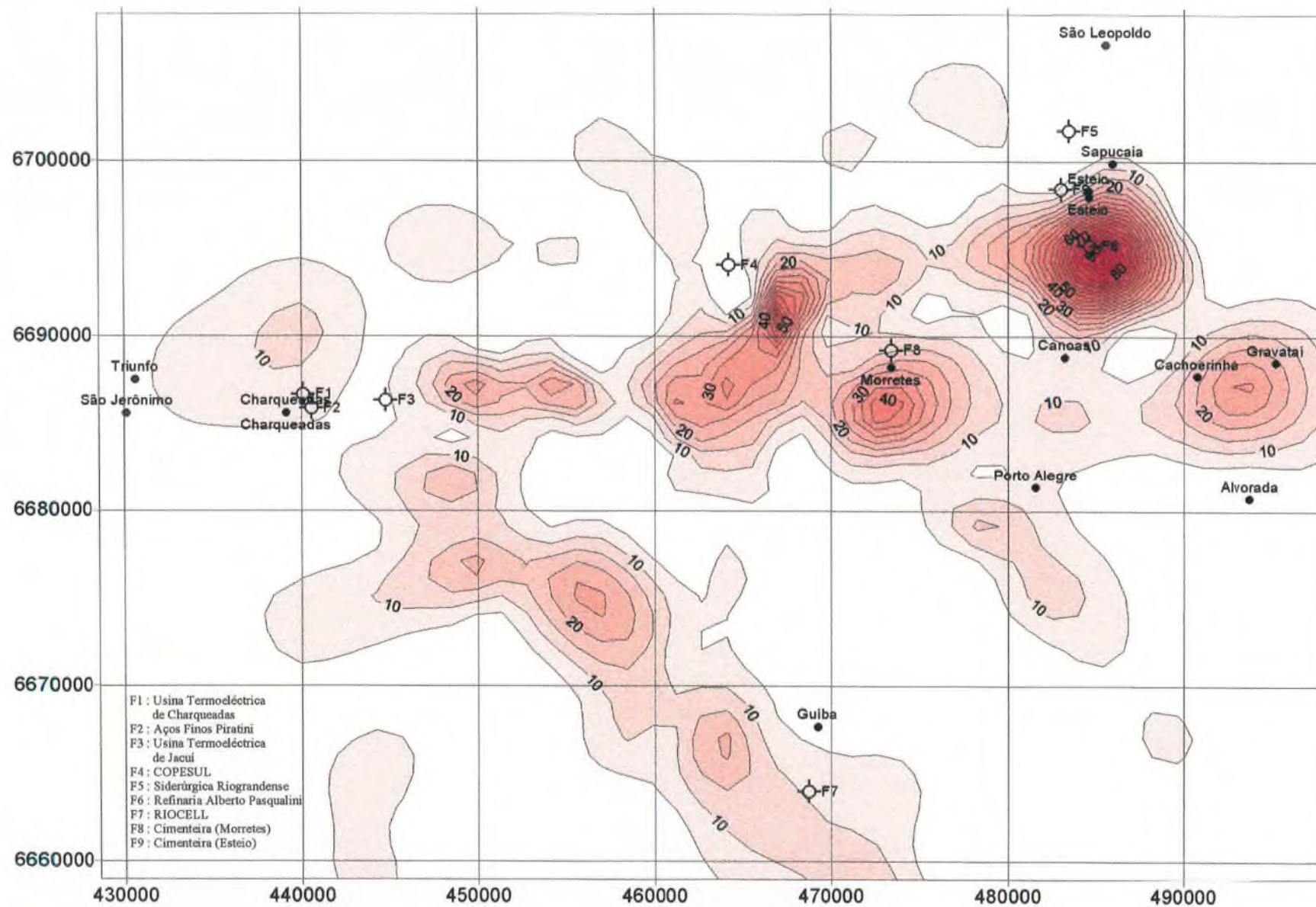


Figura 5.13 Linhas de Isoconcentração Médias Anuais de SO₂ (µg/m³) na Região Metropolitana de Porto Alegre Geradas pelo Modelo para as Principais Fontes Fixas Locais

O máximo valor mensal simulado de SO₂ foi de 22,02 µg/m³, observado no mês de outubro nas coordenadas Leste = 479.488 e Norte = 6.678.995 e cuja localização corresponde às proximidades da Estação Rodoviária de Porto Alegre.

Os valores médios anuais simulados de SO₂ para o período estudado estão na faixa entre 0 µg/m³ e 17 µg/m³. Na figura 5.14 são apresentadas as linhas de isoconcentração dos valores médios anuais de SO₂ na área urbana de Porto Alegre geradas pelo modelo quando consideradas as principais fontes da Região Metropolitana de Porto Alegre. Observa-se que as maiores concentrações se encontram na direção sudeste, justamente na direção predominante do vento segundo a rosa dos ventos (Anexo A3). Na área mais urbanizada de Porto Alegre, as concentrações máximas de SO₂ se apresentam nas proximidades da Rodoviária e da Escola Superior de Educação Física (ESEF), com valores de até de 17 µg/m³

Embora o período avaliado abranja somente seis meses, os valores encontrados são menores que 80 µg/m³ e 40 µg/m³ estabelecidos como padrão primário e secundário respectivamente para a média aritmética anual.

Com o objetivo de observar de onde provem os maiores aportes de SO₂, o modelo foi executado várias vezes, cada uma delas sem incluir cada uma das fontes. Observa-se que os principais aportes médios de SO₂ no período avaliado provêm da COPESUL (fonte F4). O maior valor médio de concentração foi de 17,12 µg/m³ quando consideradas as sete fontes e de 12,24 µg/m³ quando não foram consideradas as emissões geradas pela fonte F4.

Um outro aspecto importante a considerar são os aportes gerados pela Usina Termoelétrica do Jacuí, a qual entrará em operação no ano 2000. Quando o modelo foi executado considerando todas as fontes, a média anual da concentração de SO₂ no município de Porto Alegre foi de 17,12 µg/m³ e quando o modelo foi executado sem incluir esta fonte, a mesma concentração passou para 16,99 µg/m³, o que indica que a qualidade do ar em Porto Alegre se verá pouco afetada quando esta termoelétrica entrar em operação.

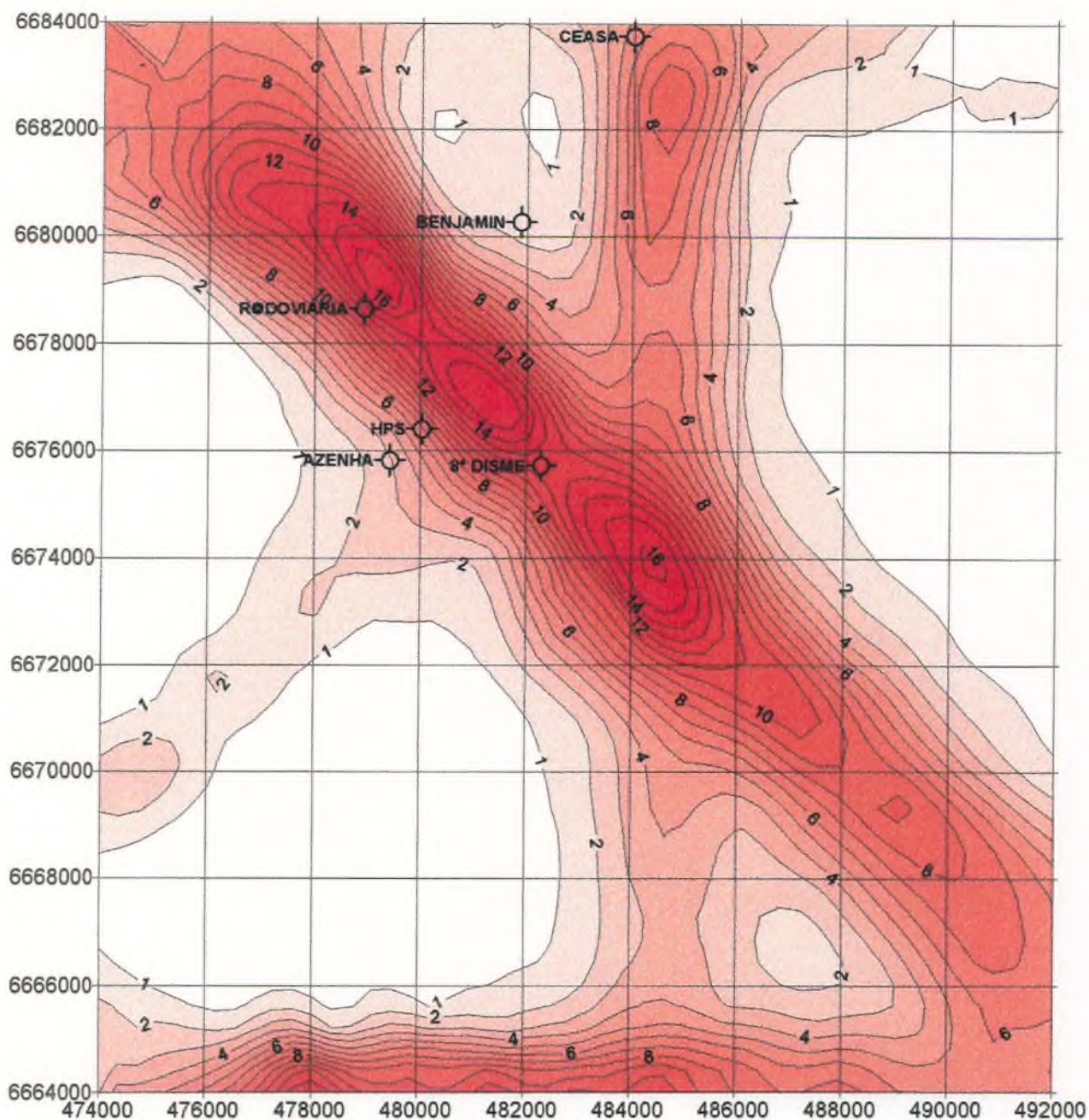


Figura 5.14 Linhas de Isoconcentração Médias Anuais de SO₂ (µg/m³) na Área Urbana de Porto Alegre Geradas pelo Modelo para as Principais Fontes Fixas Locais

Não foram adicionadas fontes móveis e o background regional

5.4.2 Simulação das Concentrações de NO_x

5.4.2.1 Região Metropolitana

Na figura 5.15 são apresentadas as linhas de isoconcentração dos valores médios anuais de NO_x na Região Metropolitana de Porto Alegre para as principais fontes fixas. O máximo valor encontrado foi de 73,9 µg/m³ o qual ocorreu nas proximidades dos município de Canoas e Esteio, sem chegar a ultrapassar o padrão de qualidade do ar de 100 µg/m³ da Resolução CONAMA.

O valor máximo de 1 hora foi de 565 µg/m³ ocorrendo também nas proximidades do município de Canoas. O padrão primário de 1 hora foi ultrapassado em várias oportunidades, principalmente nesta região.

5.4.2.2 Área Urbana do Município de Porto Alegre

O modelo foi executado para os períodos de máxima concentração de 1 hora, máxima concentração mensal e concentração média do período avaliado (outubro/96 a março/97), para os quais existem valores limites estipulados pelos padrões de qualidade do ar da Resolução CONAMA. Os resultados obtidos são discutidos a seguir.

A máxima concentração de NO_x de uma hora foi de 360,03 µg/m³, ultrapassando os padrões primário e secundário de qualidade do ar. Esta concentração foi observada entre o aeroporto Internacional Salgado Filho e a CEASA, no mesmo lugar onde se apresenta o máximo valor de SO₂ de 24 horas. Neste mesmo local, o padrão primário e secundário foi ultrapassado várias vezes, no período avaliado. Em geral todos os valores máximos obtidos de concentração de NO_x de 1 hora ocorreram em condições climáticas de inversão térmica (classe de Pasquill 6), com velocidade do vento menor que 1 m/s e nas horas da noite.

Embora tenham ocorrido várias concentrações de NO_x acima de 320 µg/m³ (padrão primário para concentração de 1 hora), o maior valor médio de 24 horas foi de 73,40 µg/m³ o qual ocorreu no mesmo local e em condições climáticas similares que o máximo valor de 1 hora.

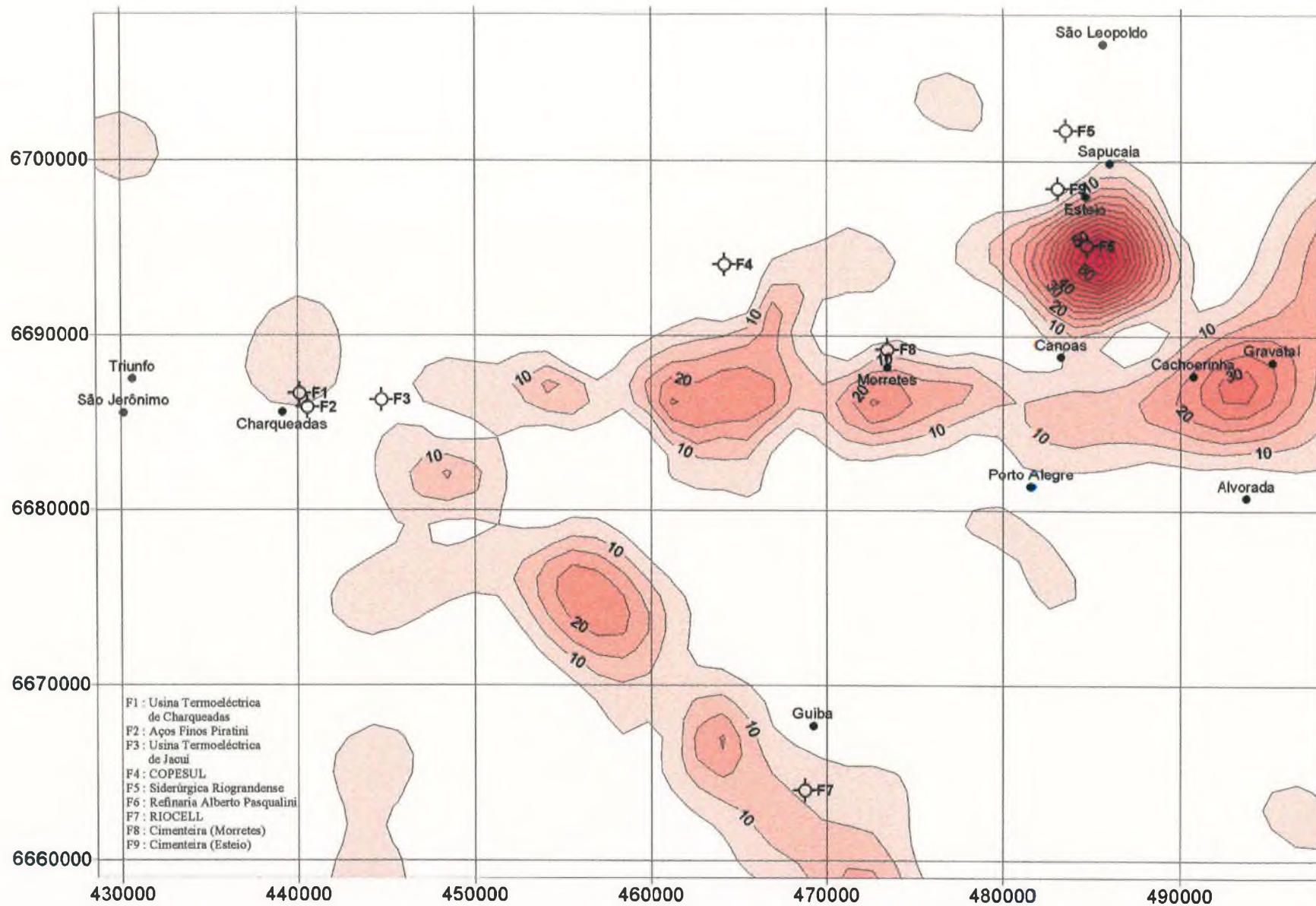


Figura 5.15 Linhas de Isoconcentração Médias Anuais de NO_x (µg/m³) na Região Metropolitana de Porto Alegre para as Principais Fontes Fixas Locais

Foi também avaliada a concentração média mensal, a qual apresentou o valor máximo de $20,95 \mu\text{g}/\text{m}^3$ no norte da cidade, à altura do Aeroporto Internacional Salgado Filho, ocorrido no mês de Outubro.

Os valores médios anuais de NO_x do período avaliado (seis meses) estiveram na faixa de $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $13,08 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sem ultrapassar os padrões primário e secundário de 1 ano da Resolução CONAMA de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. As maiores concentrações ocorreram na direção sudeste da cidade, apresentando um padrão de distribuição espacial similar às concentrações de SO_2 , o que pode ser observado na figura 5.16.

O mesmo procedimento realizado para as concentrações de SO_2 foi feito para as concentrações de NO_x para determinar as fontes que oferecem os maiores aportes na área urbana de Porto Alegre. Neste caso, as fontes que oferecem maiores aportes são em ordem de importância a Riocell e a Refinaria Alberto Pasquallini (REFAP). Na primeira, o valor médio do período diminuiu de $13,08 \mu\text{g}/\text{m}^3$, quando consideradas todas as fontes, para $10,07 \mu\text{g}/\text{m}^3$ quando não foram consideradas as emissões da Riocell. Na Segunda, o valor de $13,08 \mu\text{g}/\text{m}^3$ passou para $11,50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ quando não foram consideradas as emissões geradas pela REFAP.

Da mesma maneira que com as concentrações de SO_2 , as emissões geradas de NO_x pela Usina Termoeletrica do Jacuí, são insignificantes em Porto Alegre para a direção predominante do vento. O valor de $13,08 \mu\text{g}/\text{m}^3$ se manteve quando não foi considerada esta fonte.

5.4.3 Comparação dos Valores Calculados (Simulados) com os Valores Medidos

5.4.3.1 Concentração de SO_2

A tabela 5.13 apresenta a comparação entre as médias das concentrações de SO_2 geradas pelo modelo e as médias das concentrações registradas durante as campanhas de amostragem de qualidade do ar do período de Outubro de 1998 a Março de 1999 realizadas pela FEPAM/RS e a SMAM/PMPA.

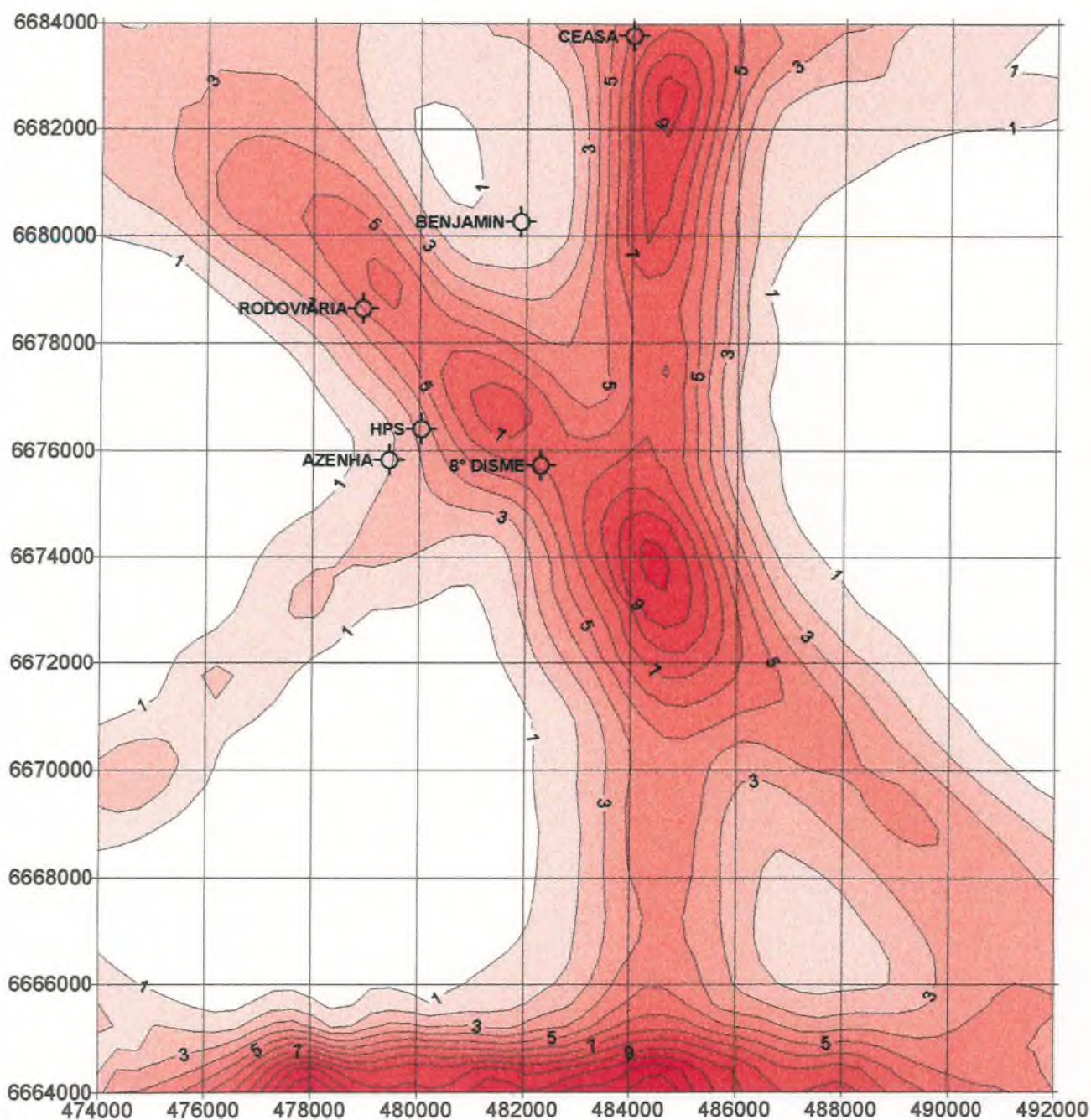


Figura 5.16 Linhas de Isoconcentração Médias Anuais de NOx ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) na Área Urbana de Porto Alegre Geradas pelo Modelo para as Principais Fontes Fixas Locais

Não foram considerados veículos e o background regional

Tabela 5.13 Comparação entre os Teores de SO₂ Medidos e Calculados

	Azenha	HPS	Rodov.	Oitavo DISME	CEASA	Benjamin Constant
SO ₂ Calculado pelo Modelo (µg/m ³)	3,0	7,5	13,0	13,50	5,50	1,80
SO ₂ Médio do Período 10/98 – 3/99 (µg/m ³)	4,10	6,50	8,55	8,95	2,71	18,65
SO ₂ Média Histórica (µg/m ³)*	11.33	22.33	24.33	43.60	74.60	113.50

*(Fonte FEPAM/SMAM, 1998)

Observa-se que os valores calculados pelo modelo se aproximam dos valores medidos nas estações Azenha e HPS, indicando que nestes locais os aportes das fontes fixas da Região Metropolitana de Porto Alegre são mais importantes que os aportes das fontes móveis, considerando que na execução do modelo as últimas não foram consideradas. Nas estações Rodoviária, Oitavo DISME e, principalmente, na estação Benjamin Constant as diferenças são grandes, indicando que os aportes do fluxo veicular são bastante importantes nestes locais.

Os valores calculados pelo modelo estão na ordem de magnitude dos valores medidos nas campanhas de amostragem de qualidade do ar indicando que os valores de SO₂ na área urbana de Porto Alegre são provenientes principalmente das fontes fixas da Região Metropolitana de Porto Alegre, exceto naquelas áreas com alto volume de tráfego como é a avenida Benjamin Constant.

É de esperar que os valores medidos sejam maiores do que os calculados pois na execução do modelo somente foram consideradas as principais fontes fixas da Região Metropolitana de Porto Alegre. Contudo alguns dos valores medidos são menores. Isto pode ser devido a que as amostragens não são contínuas e a frequência destas é semanal, enquanto que o modelo determina as concentrações das 24 horas do dia para todo o período avaliado. Por esta razão, os valores calculados foram comparados, também, com a média histórica, observando que sempre a média histórica é maior para cada um dos postos avaliados. Deve-se lembrar que a média histórica ainda contém dados da época em que não se usava óleo diesel metropolitano em Porto Alegre.

5.4.3.2 Concentração de NO_x

A tabela 5.13 apresenta a comparação entre as médias das concentrações de NO_x geradas pelo modelo e as médias das concentrações registradas durante as campanhas de

amostragem de qualidade do ar do período de outubro de 1998 a março de 1999 realizadas pela FEPAM/RS e a SMAM/PMPA.

Tabela 5.14 Comparação entre os Teores de NOx Medidos e Calculados

	Azenha	HPS	Rodov.
NOx Calculado pelo Modelo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	2,0	3,5	5,0
NOx Médio do Período 10/98 – 3/99 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	39,7	22,5	44,3
NOx Média Histórica ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)*	57.00	60.33	62.17

*(Fonte SMAM, 1998)

Pode-se observar que os teores de NOx calculados pelo modelo apresentam grande diferença com os valores medidos, o que indica que o tráfego veicular além de pequenas fontes tais como churrascarias, padarias, gás de cozinha, caldeiras, pequenas indústrias etc., representam a principal fonte de NOx na área urbana de Porto Alegre e que as fontes fixas representam pouca importância quando comparadas com os valores totais medidos em campo no período de Outubro/98 a Março/99 e com a média histórica. Um outro fator a considerar é o reduzido número de medições feitas em campo durante o período avaliado, sendo de máximo quatro amostragens por estação. A tabela 5.14 apresenta também dados históricos observando que estes são maiores que os obtidos no período de amostragem de outubro/98 a março/99 e portanto maiores que os determinados pelo modelo.

A média histórica detém valores de emissão veiculares anteriores à existência de catalisadores nos veículos que transformam NOx em N₂.

6. CONCLUSÕES

Do estudo pode-se concluir que a qualidade do ar em Porto Alegre tem melhorado nos últimos anos como resultado das medidas mitigadoras aos impactos ambientais decorrentes da poluição atmosférica. Isto pode ser observado quando são comparadas a média histórica com a média obtida no período de amostragem compreendido entre Outubro de 1998 e Março de 1999, onde, com exceção das partículas totais em suspensão (PTS) na estação Benjamin Constant, os padrões de qualidade do ar da Resolução CONAMA N°3 de 28/06/90 não foram ultrapassados.

Um outro aspecto que pode ser verificado durante o período de amostragem foi que a variação dos teores de poluentes atmosféricos da primavera para o verão somente são significativos para o SO₂ na estação Oitavo DISME, na qual se obteve uma redução na concentração deste poluente, passando de um valor médio de 20,17 µg/m³ na primavera para 3,77 µg/m³ no verão. Embora tenham-se observado variações na concentração de NOx da primavera para o verão, ainda fica a incerteza pois o número de amostragens deste parâmetro foi muito reduzida durante o período avaliado.

Em relação à qualidade das chuvas, pode-se observar que o local que apresentou as piores características na água da chuva, tendo em conta os parâmetros analisados, foi o posto localizado no prédio da Faculdade de Odontologia/UFRGS, seguido pelo posto do prédio da Escola de Engenharia/UFRGS e pelo posto localizado na Estação Rodoviária de Porto Alegre. Por outro lado as melhores características foram obtidas no Campus do Vale, posto IPH, embora este tenha apresentado os menores valores de pH na água da chuva.

Verificou-se que, em geral, também ocorreu uma melhoria na qualidade das chuvas em relação ao período de amostragem de 1986/1987 (IPH/UFRGS). O pH que naquela oportunidade tinha apresentado uma média de 5,49, passou a ter uma média de 6,29 neste estudo. Outros compostos tais como sulfatos e cloretos mostraram uma redução importante na concentração em relação com o estudo anterior, contribuindo também ao aumento do pH da água da chuva.

Alguns elementos tais como o fosfato, cromo, chumbo e mercúrio, embora em pequenas concentrações, fazem com que estas águas sejam classificadas como classe 4 de

CONAMA, transformando a chuva de Porto Alegre em mais uma fonte de contaminação dos recursos hídricos superficiais regionais.

Em relação à associação entre os poluentes medidos no ar e os poluentes medidos na água da chuva, observou-se que as correlações foram pobres, apresentando, em geral, índices de correlação abaixo de 0,73. Somente obteve-se um valor aceitável ($r=0,98$) quando foram correlacionados os valores de SO_2 no ar e SO_4 na chuva das estações CEASA e Batalhão de Polícia Ambiental respectivamente.

Sobre a aplicação do modelo ISCST3, verificou-se uma boa aderência aos dados meteorológicos e de qualidade do ar, em algumas estações de amostragem, apresentando concentrações na ordem de magnitude esperada, indicando que as principais fontes de dióxido de enxofre na área urbana de Porto Alegre estão ligadas principalmente às grandes fontes fixas regionais exceto nas áreas com alto volume de tráfego veicular movido a diesel com no caso da avenida Benjamin Constant. No caso das concentrações de NO_x , observou-se a importância dos aportes provenientes das fontes móveis e de pequenas fontes difusas.

7. RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se avaliar a variação na concentração de poluentes na água da chuva em relação à altura de localização do amostrador.

Da mesma maneira, recomenda-se analisar poluentes orgânicos, levando-se em conta os processos especiais de amostragem para estes compostos.

Recomenda-se também estudar a variabilidade da composição química da água da chuva durante eventos de precipitação, levando-se em consideração fatores meteorológicos e morfológicos.

Recomenda-se testar outros modelos de difusão de poluentes atmosféricos, comparar seus resultados e incorporar nas simulações as fontes móveis representadas pelo parque automotor de Porto Alegre assim como as pequenas fontes dispersas.

8. BIBLIOGRAFIA

- ADACHI, A. ; KOBAYASHI, T. 1992. Influence of Motor Vehicle Exhausts on Chemical Components in Rainwater. Water Science and Technology. V26 No. 9-11. Pp 2563-2566.
- ALEBIC A.,JURETIC, F. (1995). Trends in Sulphur Dióxide Concentrations and Sulfur Deposition in the Urban Atmosphere of Rijeka (Croatia). Water, Air and Soil Pollution Volume 85 pp 2199-2204.
- ALMEIDA, M. ET AL. 1995. Controle Ambiental e Monitoramento da Qualidade do Ar. ECOPOA, Mostra Sobre Meio Ambiente de Porto Alegre, Boletim de resumos. Pp 21-22.
- APHA-AWWA-WPCF. 1998. The Standard Methods For Examination Of Water And Wastewater, 20th ed. Washington, American Public Health Association, 1268 p.
- AZHARI, F. M.; RAJ P.; AARIF H. 1980. Chemistry of Atmospheric Precipitation at the Western Arabian Gulf Coast. Atmospheric Environment, Vol 24A, N° 12, pp 2927-2934
- BRIGONI. S. F. 1983. Metodologias Utilizadas no Planejamento e na Simulação da Qualidade do Ar em Áreas Urbanas e Industriais. Secretaria da Saúde e do Meio Ambiente, Divisão de Controle da Poluição do Ar.
- CARVALHO, J.; ACEVEDO, O.; KARAM, H.; VASCONCELOS, C. 1996. Simulação da Evolução da Camada de Mistura para a Região de Candiota Utilizando o Modelo de Deardorff. Workshop on Air Pollution and Acid Rain: The Candiota Program, pp 97 – 103
- CHADWICK, M.; KUYLENSTIERNA, J. C. I. 1992. Effects of Acid Deposition on Living Organisms. International Journal of Environment and Pollution. V 2 N 1-2 pp 23-24.
- DE LUCA, S. J.; MILANO, L.; IDE, C. N. 1991. Rain and Urban Stormwater Quality. Water Science and Technology Vol 23, pp 133-140.

- DE MELLO, W. 1988. Variabilidade na Composição Química da Água da Chuva Durante a Precipitação. Ciência e Cultura 40(10) pp 1008-1011.
- DEGRAZIA, G. 1983. Dispersão Lateral de Poluentes na Baixa Atmosfera. Dissertação de Mestrado, Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 83 p.
- ELLIS, H.; BOWMAN, M. 1994. Critical Loads and Development of Acid Rain Control Options. Journal of Environmental Engineering, Vol 20 N° 2, pp 273-290.
- FEDERAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL – FEPAM. 1997. Boletim de Qualidade de Ar. Divisão de Planejamento e Diagnóstico, Departamento de Qualidade Ambiental.
- ≡ FIGUEREDO, D. V. 1994. Chuvas Ácidas na Região Metropolitana de Belo Horizonte/MG. X Congresso Brasileiro de Meteorologia, pp 133-137.
- ≡ GALVÃO, J. B. 1991. Meio Ambiente, Aspectos Técnicos e econômicos. Editado por IPEA Sergio Margulis , editor. 238 páginas
- HENDERSON –SELLERS, B. 1984. Pollution of Our Atmosphere. Bristol, Adam Hilger, ltd. 210 p.
- HOWARD A. BRIDGMAN. 1994. Global Air Pollution: Problems for the 1990s. Editora John Wiley & Sons ltd. 261 páginas.
- IPH/UFRGS. 1988. Chuvas Ácidas na Região Metropolitana de Porto Alegre. PETROBRÁS S.A, Relatório Confidencial.
- IRWIN , J. S. 1980. Estimating Plume Dispersion – A Recommended Generalized Scheme. 4th Symposium on Turbulence and Diffusion, Reno, Nevada.
- LIVI F. 1995. Impacto do Uso do Óleo Diesel Metropolitano na Qualidade do Ar em Porto Alegre. ECOPOA, Boletim de Resumos. Pp 72-73.

- MACINTYRE, A. 1990. Ventilação Industrial e Controle da Poluição. LTC Editora S.A., Rio de Janeiro, RJ, 403 p.
- Mc CORMICK, J. 1997. Acid Earth, the Politics of Acid Pollution. Earthscan, Publications ltd, London. 190 p.
- MILANO, L.; DE LUCA, S. J., ROSAURO, N. M., CASTRO, C. 1989. Análise da Qualidade da Água da Chuva na Região Metropolitana de Porto Alegre e Fatores Meteorológicos Associados. RBE, Vol 7, pp 39-58.
- ORSINI, C., ANDRADE M de F. 1997. Panorama da Poluição do Ar no Brasil. Panorama da Degradação do Ar, da Água Doce e da Terra no Brasil, CNPq, pp 7-57.
- PASQUILL, F. 1971. Atmospheric Dispersion of Pollution. J. Royal Meteorology Societate N° 97, pp 369-395
- RAVICHANDRAN, C, PADMANABHAMURTY B. 1994. Acid Precipitation in Delhi, India. Atmospheric Environment, Vol 28 N° 14, pp 2291-2297
- STERN, A. C. 1976. Air Pollution. Third edition. Vol I Air pollutants their transformation and transport. Academic Press, New York,. 715 p.
- SWEDISH SECRETARIAT ON ACID RAIN. 1998. Acid News. Newsletter from the Sewdish NGO Secretariat on Acid Rain, N° 3, Outubro 1998. 19 p.
- SWEDISH ENVIRONMENTAL PROTECTIION AGENCY (SEPA). 1993. Acidification and Air Pollution. Swedish Environmental Protection Agency Publisher. 93 p.
- SWEDISH ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (SEPA).1990. Air Pollution '90 - Action Programme for Air Pollution and Acidification. Swedish Environmental Protection Agency Publisher, 67 p.
- TSURUMI, M.; TAKAHASHI, A.; ICHIKUNI, M. 1990. Origin of Soluble Chemical Species in Bulk Precipitation Collected in Tokyo, Japan: Statistical Evaluation of Source Materials. Atmospheric Environmental Vol 24A, N° 6, pp 1493-1500.

- TURNER, D. B. 1970. Workbook of Atmospheric Dispersion Stimates. EPA, Research Triangle Park, North Carolina. U.S. EPA Ref AP-26 (NTIS PB 191-482).
- U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. 1995a. SREEEN3 Model User's Guide. EPA-454/B-95-004. U.S. Environmental Protection Agency, Emissions, Monitoring and Analysis Division, Research Triangle Parc, NC.
- U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. 1995b. User's Guide for the INDUSTRIAL SOURCE COMPLEX (ISC3) Dispersion Models. Volume I - User Instructions. EPA-454/B-95-003a. U.S. Environmental Protection Agency, Emissions, Monitoring and Analysis Division, Research Triangle Parc, NC.
- U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. 1995c. User's Guide for the INDUSTRIAL SOURCE COMPLEX (ISC3) Dispersion Models, Volume II Description of Model Algorithms. EPA-454/B-95-003b. U.S. Environmental Protection Agency, Emissions, Monitoring and Analysis Division, Research Triangle Parc, NC.
- ZANNETTI, P. 1990. Air Pollution Modeling. Computational Mechanics Publications, Boston, USA; 444 p.

Anexo A-1
Fotografias dos Amostradores Instalados para Coleta
da Agua da Chuva



Ponto Nº 1 – IPH/UFRGS, Junto à ERQA, Bairro Agronomia



Ponto N° 2 – Aterro Sanitário da Extrema, Bairro Lamí



Ponto N° 3 – Arroio Capibara, Bairro Cavalhada



Ponto N° 4 – Junto ao DMLU, Bairro Azenha



Ponto N° 5 – Escola Superior de Educação Física/UFRGS, Bairro Jardim Botânico



**Ponto N° 6 – Faculdade de Odontología/UFRGS, Bairro Rio Branco
Ao Fundo, Incinerador Hospital de Clínicas**



**Ponto N° 7 – Escola de Engenharia/UFRGS
Ao Fundo, Avenida Osvaldo Aranha**



Ponto N° 8 – Estação Rodoviária de Porto Alegre,
Bairro Centro



Ponto N° 9 – Batalhão de Polícia Ambiental, Ao Fundo Travesia Getúlio Vargas



Ponto Nº 10 – SOGIPA, Bairro São João



Ponto N° 11 – Grêmio Náutico União, Bairro Petrópolis

Anexo A-2a
Dados de Entrada e Saída do Modelo ISCST3
Para a Determinação de SO₂ na Área Urbana de Porto Alegre

*** THE PERIOD (4368 HRS) AVERAGE CONCENTRATION VALUES FOR SOURCE GROUP: ALL ***
 INCLUDING SOURCE(S): F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7, F8, F9

DIRECTION (DEGREES)	** CONC OF SO2 IN MICROGRAMS/M**3 **						
	2000.00	4000.00	5000.00	DISTANCE (METERS)		9000.00	10000.00
				7000.00	8000.00		
10.00	15.32411	7.58127	7.52312	8.15959	8.06119	8.61319	9.20733
20.00	15.68435	8.36056	8.97652	4.91860	3.34519	2.42464	2.02075
30.00	15.93835	7.54683	5.92061	1.32219	0.94187	0.85660	0.95276
40.00	16.08712	5.42061	3.70835	0.74615	0.45553	0.34927	0.36723
50.00	16.08710	4.08672	3.07089	0.54975	0.28725	0.18415	0.17356
60.00	15.99749	3.59613	2.93394	0.54235	0.25901	0.13560	0.09128
70.00	15.87227	3.67000	2.89988	0.74139	0.33724	0.17258	0.09074
80.00	15.62473	4.50306	2.88259	1.32551	0.58951	0.30543	0.17011
90.00	15.03047	6.50661	3.48822	2.18221	1.35617	0.70195	0.39052
100.00	13.87879	9.39067	5.94079	2.62835	2.27541	1.80968	1.21478
110.00	12.17135	11.10980	9.57036	5.1572	3.61633	2.76519	2.36054
120.00	10.17637	9.56935	9.85982	9.38632	8.54928	7.50316	6.41319
130.00	8.25635	6.32371	5.98208	6.33610	6.61121	6.91622	7.24871
140.00	6.61159	4.54255	3.26005	2.43213	2.40483	2.58761	3.73755
150.00	5.24199	4.46020	3.30706	1.94405	1.99844	3.55629	7.08610
160.00	4.10195	4.21374	3.98274	3.22448	3.65135	7.55392	7.13892
170.00	3.19838	3.05344	3.15035	3.81789	5.98847	11.15478	6.45821
180.00	2.53463	1.90810	1.80886	2.36163	5.19109	10.71405	4.33868
190.00	2.06191	1.20235	1.01335	1.40808	3.53863	10.95744	4.35554
200.00	1.71505	0.75418	0.54773	0.82877	1.75106	8.66619	9.00587
210.00	1.45867	0.49458	0.31000	0.41182	0.86134	2.38672	12.27155
220.00	1.28276	0.36900	0.20212	0.14507	0.29562	0.71587	1.73764
230.00	1.18267	0.32648	0.17429	0.08138	0.09449	0.15793	0.34513
240.00	1.15134	0.34912	0.22166	0.20277	0.25965	0.37528	0.68128
250.00	1.18170	0.43176	0.35129	0.96790	2.13343	3.16035	2.43533
260.00	1.26975	0.61760	0.93065	2.18351	0.97076	0.72273	0.75168
270.00	1.41895	1.14766	2.06105	0.51893	0.31613	0.63031	0.64705
280.00	1.64585	1.96701	1.98483	0.31225	0.22605	0.54711	0.80698
290.00	1.99697	2.55043	1.55550	0.40923	0.27751	0.36790	1.03661
300.00	2.58169	2.96070	1.66662	0.80877	0.63234	0.53705	0.73018
310.00	3.60364	3.94574	2.64194	1.86220	1.68696	1.57901	1.53893
320.00	5.31122	7.28265	7.01141	8.47087	9.62128	11.02076	12.70551
330.00	7.76391	13.40638	15.05686	17.12309	16.13073	13.70629	10.54852
340.00	10.57230	16.48029	14.59548	6.34024	3.91969	3.31967	4.53293
350.00	13.01209	13.43268	8.60703	4.01183	4.99672	4.26481	2.35167
360.00	14.57412	9.15062	6.24080	5.94704	3.96878	3.14285	3.26302

*** THE 1ST HIGHEST 24-HR AVERAGE CONCENTRATION VALUES FOR SOURCE GROUP: ALL ***
 INCLUDING SOURCE(S): F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7, F8, F9

** CONC OF SO2 IN MICROGRAMS/M**3 **

DIRECTION (DEGREES)	DISTANCE (METERS)				
	2000.00	4000.00	5000.00	7000.00	8000.00
10.0	37.40027c (96102724)	25.86596 (96103124)	31.19096 (96103124)	47.26570 (96103124)	56.39462 (96101424)
20.0	37.63346 (96103124)	43.22600 (96103124)	48.90103 (96103124)	27.25913 (96101424)	15.68475 (97022824)
30.0	44.49501 (96103124)	38.45895 (96103124)	23.19454 (96103124)	6.67711 (97022824)	4.47802 (97022824)
40.0	49.55420 (96103124)	19.89308 (97022724)	9.74906 (97022724)	3.09996c (96121424)	2.10898 (96120924)
50.0	51.26092 (96103124)	11.91430 (97022724)	7.51172 (97013124)	1.96250 (96120924)	1.19279 (96120924)
60.0	50.24406 (96103124)	8.60038 (97022724)	6.40547c (96121424)	1.71800 (96120924)	0.90963 (96120924)
70.0	48.10302 (96103124)	8.07361 (96122724)	6.14528 (96121824)	2.25601 (97031924)	1.22883 (96122124)
80.0	45.96149 (96103124)	9.36613 (96122724)	6.57110 (96121824)	3.36293 (97031924)	1.95676 (97031924)
90.0	44.09356 (96103124)	13.90984c (96102724)	7.90908 (96121824)	4.96220 (96121824)	3.44403 (97031924)
100.0	42.28836 (96103124)	22.82670c (96102724)	12.75526c (96102724)	6.33893 (96121824)	5.34720 (96121824)
110.0	40.31543 (96103124)	28.11969c (96102724)	23.90523c (96102724)	10.89785 (96102124)	8.09036 (96121824)
120.0	38.02357 (96103124)	23.00677c (96102724)	24.75088c (96102724)	23.67913c (96102724)	21.08399c (96102724)
130.0	35.10407 (96103124)	13.91700 (97022724)	12.62406c (96102724)	14.16857c (96102724)	14.93516 (96102124)
140.0	31.24062 (96101424)	16.68935 (97022724)	9.70197 (97022724)	5.66848 (97031924)	5.80757 (96122124)
150.0	26.65660 (96101424)	26.78940 (96101424)	17.16866 (96101424)	6.38719 (97022824)	5.58401 (96121524)
160.0	20.66680 (96101424)	28.80036 (96101424)	27.88564 (96101424)	17.77972 (96101424)	12.07462 (97022824)
170.0	14.97766 (96101424)	19.65254 (96101424)	21.68260 (96101424)	23.99499 (96101424)	24.04648 (96101424)
180.0	11.58474 (97022724)	10.86759 (97022824)	10.67662 (97022824)	10.77908 (97022824)	15.41835c (96101324)
190.0	9.25751 (97022824)	7.14337 (97022824)	6.33452 (97022824)	5.51348 (97022824)	9.10624 (96100324)
200.0	7.54506 (97022824)	4.62333 (97022824)	3.67024 (97022824)	3.67149c (96110824)	6.89099c (96110824)
210.0	6.15398 (97022824)	3.01848 (97022824)	2.19276 (97022824)	1.94400c (96110824)	4.32022c (96110824)
220.0	5.06056 (97022824)	2.06778 (97022824)	1.36814 (97022824)	0.69398 (97022824)	1.54442c (96110824)
230.0	4.29477 (97030124)	1.47858 (97022824)	0.88131 (97022824)	0.53867 (96120924)	0.49672 (96120924)
240.0	3.97230 (97030124)	1.95936 (96120924)	1.76394 (96120924)	2.27534 (96120924)	2.84378 (96120924)
250.0	4.23529 (96120924)	2.94850 (96120924)	3.19183 (96120924)	8.56021 (97022324)	21.32082 (97022324)
260.0	4.79855 (96120924)	4.09070 (96120924)	7.24008 (97022324)	22.17551 (97022324)	7.98138 (97022324)
270.0	5.48104 (96120924)	6.84263 (97022324)	19.15923 (97022324)	3.92161 (96120924)	2.53014 (96120924)
280.0	6.26286 (96120924)	14.09727 (97022324)	16.79704 (97022324)	2.65997 (96120924)	1.32094 (96120924)
290.0	7.14884 (96120924)	17.56366 (97022324)	9.17862 (97022324)	2.43679 (96120924)	1.24556 (96120924)
300.0	8.19926 (96120924)	17.03016 (97022324)	6.91019 (96120924)	3.55562 (96120924)	2.50317 (96122124)
310.0	9.54625 (96120924)	16.14971 (97022324)	8.91763 (96120924)	6.29825 (96120924)	5.95912 (96122124)
320.0	11.34965 (96120924)	21.33227 (96100424)	14.80412 (97020124)	19.63301c (96102724)	23.12006c (96102724)
330.0	16.37344c (96102724)	35.28362 (96100424)	39.10486c (96102724)	47.08212c (96102724)	43.65694c (96102724)
340.0	24.65072c (96102724)	41.38854 (96100424)	36.25270c (96102724)	13.50796 (96121824)	10.27716 (97031924)
350.0	31.79231c (96102724)	31.29757c (96101524)	19.97318 (96100424)	9.87314 (96120924)	10.34269c (96102724)
360.0	36.04130c (96102724)	19.32026c (96101524)	15.88426 (97022724)	15.87519 (97022724)	15.18742 (97022824)

*** THE 1ST HIGHEST 24-HR AVERAGE CONCENTRATION VALUES FOR SOURCE GROUP: ALL ***
 INCLUDING SOURCE(S): F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7, F8, F9

DIRECTION (DEGREES)	** CONC OF SO2		IN MICROGRAMS/M**3 DISTANCE (METERS)	**
	9000.00	10000.00		
10.0	65.03327 (96103124)	70.02898 (96103124)		
20.0	10.23106 (97022324)	8.65649 (97022324)		
30.0	3.61884c(96111424)	4.52529 (97022324)		
40.0	1.81356 (96120924)	1.87293 (97021324)		
50.0	0.85361 (96120924)	0.95439 (97021324)		
60.0	0.50371 (96122124)	0.41607 (97021324)		
70.0	0.66786 (96122124)	0.36404 (96122124)		
80.0	1.15661 (96122124)	0.67056 (96122124)		
90.0	2.20870 (97031924)	1.43312 (96122124)		
100.0	4.29442 (97031924)	3.19217 (97031924)		
110.0	6.55095 (97031924)	5.70034 (97031924)		
120.0	17.94901 (96102124)	14.65741 (96102124)		
130.0	15.64622 (96102124)	16.25493 (96102124)		
140.0	6.17671 (96122124)	7.55655 (96121524)		
150.0	8.91866 (96100324)	29.42268 (96100324)		
160.0	28.15950 (96100324)	28.14244 (96100324)		
170.0	41.04192c(96101324)	22.05869 (96101424)		
180.0	45.09667 (96100324)	12.09028c(96101324)		
190.0	50.80582 (96100324)	13.93497 (96100324)		
200.0	38.24175 (96100324)	39.97208 (96100324)		
210.0	8.57436 (97010724)	57.14072 (96100324)		
220.0	3.73541c(96110824)	7.91312c(96110824)		
230.0	0.71177c(96110824)	1.58592c(96110824)		
240.0	3.61870 (96120924)	4.65944 (96120924)		
250.0	31.21971 (97022324)	19.50883 (97022324)		
260.0	3.70046 (96120924)	5.11444 (96101424)		
270.0	4.42546 (96101424)	5.11997 (96101424)		
280.0	3.89241 (96101424)	6.63083 (96103124)		
290.0	2.11264 (97022824)	8.37586 (96103124)		
300.0	2.11266 (96122124)	3.00146 (97022824)		
310.0	5.84113 (96122124)	5.81311 (96122124)		
320.0	27.24758c(96102724)	32.11652c(96102724)		
330.0	35.30958c(96102724)	24.38266c(96102724)		
340.0	9.59995 (96122124)	10.53269 (96122124)		
350.0	8.62892c(96102724)	7.20178 (97021324)		
360.0	15.72399 (97022824)	16.31441 (97022824)		

*** THE 1ST HIGHEST MONTH AVERAGE CONCENTRATION VALUES FOR SOURCE GROUP: ALL ***
 INCLUDING SOURCE(S): F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7, F8, F9

** CONC OF SO2 IN MICROGRAMS/M**3 **

DIRECTION (DEGREES)	DISTANCE (METERS)				
	2000.00	4000.00	5000.00	7000.00	8000.00
10.0	19.55968c (96103124)	8.42382c (96103124)	9.21951c (96103124)	11.70167c (96103124)	11.94323c (96103124)
20.0	20.34747c (96103124)	10.58992c (96103124)	12.32487c (96103124)	6.43337c (96103124)	4.13124c (97022824)
30.0	21.06376c (96103124)	9.52010c (96103124)	7.14002c (96103124)	1.73402c (96123124)	1.22409c (96123124)
40.0	21.57310c (96103124)	5.86674c (96103124)	4.23050c (96123124)	1.01248c (96123124)	0.61041c (96123124)
50.0	21.71947c (96103124)	4.65837c (96123124)	3.57810c (96123124)	0.72561c (96123124)	0.37577c (96123124)
60.0	21.60503c (96103124)	4.23303c (96123124)	3.39185c (96123124)	0.69234c (96123124)	0.33240c (96123124)
70.0	21.38207c (96103124)	4.30937c (96123124)	3.34676c (96123124)	0.90533c (96123124)	0.42648c (96123124)
80.0	20.98456c (96103124)	5.13770c (96123124)	3.35231c (96123124)	1.53052c (96123124)	0.72039c (96123124)
90.0	20.11364c (96103124)	7.13086c (96123124)	3.99298c (96123124)	2.45226c (96123124)	1.55189c (96123124)
100.0	18.46891c (96103124)	11.08568c (96103124)	6.46176c (96123124)	2.98526c (96123124)	2.56087c (96123124)
110.0	16.05589c (96103124)	13.62666c (96103124)	11.57680c (96103124)	5.56088c (96123124)	3.98698c (96123124)
120.0	13.26193c (96103124)	11.41347c (96103124)	11.98296c (96103124)	11.54900c (96103124)	10.36237c (96103124)
130.0	10.59042c (96103124)	6.89624c (96103124)	6.54270c (96123124)	7.05060c (96103124)	7.42555c (96103124)
140.0	8.28594c (96103124)	4.91563c (96103124)	3.72985c (96123124)	2.92628c (96123124)	2.87178c (96123124)
150.0	6.31513c (96103124)	5.61019c (96103124)	3.74705c (97022824)	2.37063c (96123124)	2.44002c (96123124)
160.0	4.63258c (96103124)	5.66652c (96103124)	5.42168c (96103124)	3.72323c (97022824)	4.12203c (97022824)
170.0	3.66311c (97022824)	3.84807c (96103124)	4.16599c (96103124)	4.72863c (96103124)	8.17392c (96103124)
180.0	2.94012c (97022824)	2.27899c (97022824)	2.18955c (97022824)	2.86806c (97022824)	6.63110c (96103124)
190.0	2.40859c (96123124)	1.47347c (97022824)	1.27647c (97022824)	1.76662c (97022824)	3.85277c (97022824)
200.0	2.07297c (96123124)	0.97552c (96123124)	0.73278c (96123124)	1.03962c (97022824)	2.12382c (96113024)
210.0	1.81965c (96123124)	0.68616c (96123124)	0.44664c (96123124)	0.52456c (96123124)	1.15033c (96113024)
220.0	1.64413c (96123124)	0.52545c (96123124)	0.29694c (96123124)	0.19553c (96123124)	0.38958c (96113024)
230.0	1.54509c (96123124)	0.45995c (96123124)	0.24890c (96123124)	0.11665c (96123124)	0.13371c (96123124)
240.0	1.51911c (96123124)	0.47745c (96123124)	0.29857c (96123124)	0.27388c (96113024)	0.34929c (96113024)
250.0	1.56238c (96123124)	0.56996c (96123124)	0.43681c (96123124)	1.17348c (97033124)	3.13681c (96103124)
260.0	1.67292c (96123124)	0.75011c (96123124)	1.13950c (97033124)	3.35813c (96103124)	1.15662c (97022824)
270.0	1.85480c (96123124)	1.40850c (97033124)	3.03318c (96103124)	0.61096c (97022824)	0.41054c (96123124)
280.0	2.12337c (96123124)	2.46586c (97033124)	2.71548c (96103124)	0.40885c (96123124)	0.31492c (96123124)
290.0	2.52216c (96123124)	3.20082c (97033124)	1.93633c (97033124)	0.53689c (96123124)	0.38677c (96123124)
300.0	3.15631c (96123124)	3.65729c (97033124)	2.03042c (97033124)	1.04432c (96123124)	0.83172c (96123124)
310.0	4.22352c (96123124)	4.63405c (97033124)	3.05791c (96123124)	2.30875c (96123124)	2.11632c (96123124)
320.0	5.96387c (96123124)	8.25108c (96103124)	7.54525c (96123124)	9.47932c (96103124)	11.07749c (96103124)
330.0	8.42872c (96123124)	16.97235c (96103124)	19.05446c (96103124)	22.02511c (96103124)	20.46161c (96103124)
340.0	12.43845c (96103124)	21.36989c (96103124)	18.30584c (96103124)	7.08598c (96123124)	4.62514c (96123124)
350.0	16.00438c (96103124)	16.69329c (96103124)	9.63572c (96103124)	4.68861c (96123124)	5.59308c (96123124)
360.0	18.33426c (96103124)	10.28699c (96103124)	6.90877c (97033124)	6.78537c (96103124)	4.45583c (97022824)

*** THE 1ST HIGHEST MONTH AVERAGE CONCENTRATION VALUES FOR SOURCE GROUP: ALL ***
 INCLUDING SOURCE(S): F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7, F8, F9

** CONC OF SO2 IN MICROGRAMS/M**3 **

DIRECTION |
 (DEGREES) | 9000.00 10000.00 DISTANCE (METERS)

10.0	12.92583c(96103124)	13.66640c(96103124)
20.0	3.09839c(97022824)	2.56736c(97022824)
30.0	1.05086c(97022824)	1.13406c(97022824)
40.0	0.44852c(96113024)	0.51189c(96113024)
50.0	0.23408c(96123124)	0.23860c(96113024)
60.0	0.17172c(96123124)	0.11451c(96113024)
70.0	0.21825c(96123124)	0.11421c(96123124)
80.0	0.38401c(96123124)	0.21476c(96123124)
90.0	0.84181c(96123124)	0.48605c(96123124)
100.0	2.03724c(96123124)	1.39633c(96123124)
110.0	3.10132c(96123124)	2.66108c(96123124)
120.0	8.83083c(96103124)	7.21102c(96103124)
130.0	7.76242c(96103124)	8.08718c(96103124)
140.0	3.02229c(96123124)	4.00477c(97013124)
150.0	3.74517c(96123124)	10.51567c(96103124)
160.0	11.15437c(96103124)	10.57210c(96103124)
170.0	17.89583c(96103124)	9.20849c(96103124)
180.0	16.96057c(96103124)	5.19855c(96103124)
190.0	17.44360c(96103124)	5.22493c(96103124)
200.0	13.04975c(96103124)	13.60882c(96103124)
210.0	2.74534c(96113024)	19.23315c(96103124)
220.0	0.96766c(96113024)	2.26657c(96113024)
230.0	0.21516c(96123124)	0.43692c(96113024)
240.0	0.48706c(96113024)	0.81255c(96113024)
250.0	4.90574c(96103124)	3.47985c(96103124)
260.0	0.84731c(97022824)	0.97343c(96103124)
270.0	0.84425c(96103124)	0.97295c(96103124)
280.0	0.74879c(96103124)	1.26914c(96103124)
290.0	0.44267c(96123124)	1.61024c(96103124)
300.0	0.72597c(96123124)	0.84777c(96123124)
310.0	2.00559c(96123124)	1.97874c(96123124)
320.0	12.96859c(96103124)	15.20069c(96103124)
330.0	16.68346c(96103124)	11.76384c(96103124)
340.0	3.96703c(96123124)	5.11081c(96123124)
350.0	4.79141c(96123124)	2.83140c(96123124)
360.0	3.79216c(97022824)	3.96616c(97022824)

*** THE SUMMARY OF MAXIMUM PERIOD (4368 HRS) RESULTS ***

** CONC OF SO2 IN MICROGRAMS/M**3 **

GROUP ID	AVERAGE CONC	RECEPTOR (XR, YR, ZELEV, ZFLAG)	OF TYPE	NETWORK GRID-ID
ALL	1ST HIGHEST VALUE IS 17.12309 AT (479488.00, 6678995.00, 0.00, 0.00)	GP	RECEP1	
	2ND HIGHEST VALUE IS 16.48029 AT (481619.91, 6676692.00, 0.00, 0.00)	GP	RECEP1	
	3RD HIGHEST VALUE IS 16.13073 AT (478988.00, 6679861.00, 0.00, 0.00)	GP	RECEP1	
	4TH HIGHEST VALUE IS 16.08712 AT (484273.56, 6674465.00, 0.00, 0.00)	GP	RECEP1	
	5TH HIGHEST VALUE IS 16.08710 AT (484520.09, 6674218.50, 0.00, 0.00)	GP	RECEP1	
	6TH HIGHEST VALUE IS 15.99749 AT (484720.06, 6673933.00, 0.00, 0.00)	GP	RECEP1	
	7TH HIGHEST VALUE IS 15.93835 AT (483988.00, 6674665.00, 0.00, 0.00)	GP	RECEP1	
	8TH HIGHEST VALUE IS 15.87227 AT (484867.38, 6673617.00, 0.00, 0.00)	GP	RECEP1	
	9TH HIGHEST VALUE IS 15.68435 AT (483672.03, 6674812.50, 0.00, 0.00)	GP	RECEP1	
	10TH HIGHEST VALUE IS 15.62473 AT (484957.63, 6673280.50, 0.00, 0.00)	GP	RECEP1	

*** THE SUMMARY OF HIGHEST 24-HR RESULTS ***

** CONC OF SO2 IN MICROGRAMS/M**3 **

GROUP ID	AVERAGE CONC	DATE (YYMMDDHH)	RECEPTOR (XR, YR, ZELEV, ZFLAG)	OF TYPE	NETWORK GRID-ID
ALL	HIGH 1ST HIGH VALUE IS 70.02898	ON 96103124:	AT (484724.47, 6682781.00, 0.00, 0.00)	GP	RECEP1

*** THE SUMMARY OF HIGHEST MONTH RESULTS ***

** CONC OF SO2 IN MICROGRAMS/M**3 **

GROUP ID	AVERAGE CONC	DATE (YYMMDDHH)	RECEPTOR (XR, YR, ZELEV, ZFLAG)	OF TYPE	NETWORK GRID-ID
ALL	HIGH 1ST HIGH VALUE IS 22.02511c	ON 96103124:	AT (479488.00, 6678995.00, 0.00, 0.00)	GP	RECEP1

*** Message Summary : ISCST3 Model Execution ***

----- Summary of Total Messages -----

A Total of	0 Fatal Error Message(s)
A Total of	0 Warning Message(s)
A Total of	76 Informational Message(s)
A Total of	76 Calm Hours Identified

***** FATAL ERROR MESSAGES *****
*** NONE ***

***** WARNING MESSAGES *****
*** NONE ***

*** ISCST3 Finishes Successfully ***

Anexo A-2b
Dados de Entrada e Saída do Modelo ISCST3
Para a Determinação de Nox na Área Urbana de Porto Alegre

*** THE PERIOD (4368 HRS) AVERAGE CONCENTRATION VALUES FOR SOURCE GROUP: ALL ***
 INCLUDING SOURCE(S): F1 , F2 , F3 , F4 , F5 , F6 , F7 ,

** CONC OF NOX IN MICROGRAMS/M**3 **

DIRECTION (DEGREES)	DISTANCE (METERS)						
	2000.00	4000.00	5000.00	7000.00	8000.00	9000.00	10000.00
10.00	7.54615	5.26495	5.70511	7.89244	8.46412	8.99736	9.50486
20.00	8.42496	6.96897	7.04006	5.03382	3.74939	2.96618	2.58893
30.00	9.29281	6.12370	3.75087	1.14497	0.98787	1.06122	1.29551
40.00	9.90120	3.65640	1.54420	0.55190	0.42248	0.40600	0.48194
50.00	10.11243	2.15801	0.95555	0.31452	0.20608	0.18536	0.22342
60.00	10.02351	1.65022	0.78853	0.22203	0.12083	0.08666	0.09164
70.00	9.81401	1.65226	0.77376	0.21947	0.11325	0.06311	0.04481
80.00	9.57426	2.06207	0.91634	0.28301	0.16226	0.09237	0.05321
90.00	9.27354	2.98374	1.40327	0.42061	0.27285	0.17955	0.11692
100.00	8.83396	4.29569	2.62554	0.79019	0.50196	0.35915	0.27107
110.00	8.22912	5.15006	4.31077	2.22722	1.45955	0.97840	0.71509
120.00	7.50726	4.68854	4.54749	4.27725	3.93031	3.50777	3.07491
130.00	6.72086	3.71263	3.02088	3.04724	3.22675	3.47728	3.80210
140.00	5.84744	3.76982	2.29235	1.51129	1.57380	1.87179	3.35921
150.00	4.84202	4.72522	3.42082	1.79223	1.86291	3.72293	8.01018
160.00	3.76042	4.81215	4.75465	3.89444	4.26967	8.65669	8.19073
170.00	2.76799	3.35776	3.73475	4.82202	7.29282	13.08345	7.96190
180.00	2.00438	1.81049	1.84184	2.56056	5.58297	11.50439	4.76759
190.00	1.48960	0.99083	0.90075	1.38769	3.56221	11.17553	4.40613
200.00	1.16168	0.61071	0.50452	0.83905	1.72120	8.52280	8.78761
210.00	0.95355	0.41139	0.29820	0.41460	0.82171	2.22497	11.52053
220.00	0.82298	0.30267	0.18831	0.14259	0.27042	0.63424	1.52046
230.00	0.74767	0.25572	0.15129	0.06858	0.06770	0.10644	0.23595
240.00	0.71556	0.26377	0.18598	0.16828	0.19795	0.25105	0.34345
250.00	0.71952	0.32199	0.29973	0.93021	2.04340	2.82788	1.75647
260.00	0.75526	0.47680	0.90605	2.21611	0.85317	0.26796	0.13349
270.00	0.82209	1.00285	2.14108	0.45388	0.17487	0.07616	0.02645
280.00	0.92557	1.83557	1.98386	0.20787	0.09089	0.03119	0.01625
290.00	1.08380	2.33060	1.30679	0.20854	0.10100	0.04870	0.03610
300.00	1.33858	2.47220	1.07747	0.34413	0.23627	0.17377	0.14661
310.00	1.76755	2.77424	1.35429	0.72404	0.62606	0.57787	0.57189
320.00	2.46914	4.04229	3.01711	3.13396	3.48227	3.94419	4.52925
330.00	3.47705	6.45657	6.20896	6.35240	5.88976	4.98704	3.91857
340.00	4.66344	7.68987	6.37333	2.48610	1.53105	1.18780	1.20669
350.00	5.78829	6.45115	4.55652	1.41014	1.16046	1.12810	1.30385
360.00	6.71832	4.87764	4.08602	2.55270	2.21055	2.25024	2.56929

*** THE 1ST HIGHEST 1-HR AVERAGE CONCENTRATION VALUES FOR SOURCE GROUP: ALL ***
 INCLUDING SOURCE(S): F1 , F2 , F3 , F4 , F5 , F6 , F7 ,

** CONC OF NOX IN MICROGRAMS/M**3 **

DIRECTION (DEGREES)	DISTANCE (METERS)				
	2000.00	4000.00	5000.00	7000.00	8000.00
10.0	91.73499 (97021904)	122.36285 (97021822)	159.95671 (97021822)	254.79195 (97021822)	304.19949 (97021822)
20.0	119.17598 (97021822)	245.09729 (97021822)	267.81573 (97021822)	143.71758 (97021822)	113.51628 (97020423)
30.0	174.17351 (97021822)	218.96738 (97021822)	117.13569 (97021822)	33.07369 (97012818)	24.10268 (97032907)
40.0	214.51433 (97021822)	102.81195 (97021822)	37.15196 (97012818)	17.59728 (97032907)	11.35142 (97032909)
50.0	229.63612 (97021822)	38.57518 (97012818)	28.06661 (97032907)	8.90294 (97032907)	4.49711 (97032909)
60.0	224.35245 (97021822)	33.13067 (97012818)	21.39190 (97032907)	4.89381 (97032907)	1.67302 (97032907)
70.0	210.56818 (97021822)	29.15209 (97012818)	17.27426 (97032907)	4.05275 (97032809)	2.20757 (97032809)
80.0	198.11546 (97021822)	26.84953 (97032907)	15.24905 (97032907)	5.94912 (97032809)	3.75429 (97032809)
90.0	191.96550 (97021822)	36.53493 (97021904)	14.89558 (97032907)	8.73408 (97032809)	6.37031 (97032809)
100.0	193.13486 (97021822)	63.34648 (97021904)	34.58457 (97021904)	12.16521 (97010617)	10.08883 (97032808)
110.0	199.68793 (97021822)	79.27654 (97021904)	68.84925 (97021904)	30.63095 (97021904)	16.14962 (97021904)
120.0	206.73833 (97021822)	63.92408 (97021904)	71.68819 (97021904)	71.90422 (97021904)	65.15028 (97021904)
130.0	206.67621 (97021822)	42.25336 (97021822)	34.74218 (97021904)	42.09547 (97021904)	45.37137 (97021904)
140.0	191.62030 (97021822)	99.81564 (97021822)	34.02642 (97012818)	21.36121 (97032907)	17.32332 (96112712)
150.0	158.83345 (97021822)	170.75462 (97021822)	107.71775 (97021822)	30.75101 (97012818)	26.87501 (96112712)
160.0	114.83109 (97021822)	182.89624 (97021822)	181.23764 (97021822)	116.37149 (97021822)	77.34785 (97021822)
170.0	72.14027 (97021822)	113.15721 (97021822)	131.89224 (97021822)	156.96031 (97021822)	161.27979 (97021822)
180.0	40.33979 (97021822)	42.05711 (97021822)	42.79691 (97021822)	44.05453 (97021822)	56.80091 (97020422)
190.0	32.40331 (97012818)	28.48440 (97012818)	26.69373 (97012818)	25.25354 (96112712)	43.73729 (96112712)
200.0	28.78824 (97012818)	21.68720 (97032907)	18.60991 (97032907)	18.55523 (96112712)	37.73652 (96112712)
210.0	25.29706 (97032907)	15.67008 (97032907)	11.94862 (97032907)	9.38719 (96112712)	23.57796 (96112712)
220.0	22.14131 (97032907)	10.96441 (97032907)	7.27005 (97032907)	3.73276 (97030607)	7.65619 (96112712)
230.0	19.46140 (97032907)	7.64726 (97030607)	5.20444 (97030607)	3.33568 (97032909)	2.87633 (97032909)
240.0	17.33026 (97032907)	9.45575 (97032909)	11.38908 (97032909)	16.79232 (97032909)	20.60458 (97032909)
250.0	15.77004 (97032907)	17.10254 (97032909)	22.74859 (97032909)	62.92256 (97020423)	176.90399 (97020423)
260.0	14.77594 (97032907)	25.16032 (97011816)	57.52143 (97020423)	198.95676 (97020423)	55.42888 (97020423)
270.0	14.77894 (97032909)	55.73880 (97020423)	186.04973 (97020423)	29.65558 (97011816)	18.44720 (97032909)
280.0	17.26883 (97032909)	136.95804 (97020423)	164.61153 (97020423)	18.15597 (97032909)	8.18409 (97032909)
290.0	19.21405 (97032909)	178.87129 (97020423)	82.99814 (97020423)	11.46479 (97032909)	4.17835 (97032909)
300.0	20.50608 (97011816)	174.99825 (97020423)	41.63104 (97020423)	8.41505 (97032909)	5.15377 (97032809)
310.0	21.11831 (97011816)	161.70520 (97020423)	28.85503 (97020423)	13.11904 (97032809)	12.53659 (97032809)
320.0	21.31003 (97032907)	157.12383 (97020423)	32.88033 (97021904)	44.30611 (97021904)	51.38642 (97021904)
330.0	38.99852 (97021904)	159.61130 (97020423)	94.44506 (97021904)	109.75290 (97021904)	99.46422 (97021904)
340.0	60.23014 (97021904)	154.18883 (97020423)	87.39408 (97021904)	26.16309 (97021904)	16.33554 (97010617)
350.0	78.53217 (97021904)	121.34129 (97020423)	133.91527 (97020423)	19.36775 (97032907)	16.07522 (97032907)
360.0	89.15872 (97021904)	64.71343 (97020423)	138.98012 (97020423)	40.40295 (97020423)	40.34800 (97012818)

*** THE 1ST HIGHEST 1-HR AVERAGE CONCENTRATION VALUES FOR SOURCE GROUP: ALL ***
 INCLUDING SOURCE(S): F1 , F2 , F3 , F4 , F5 , F6 , F7

DIRECTION (DEGREES)	** CONC OF NOX		IN MICROGRAMS/M**3	
	9000.00	10000.00	DISTANCE (METERS)	
10.0	343.56390 (97021822)	360.02722 (97021822)		
20.0	122.62299 (97020423)	101.92229 (97020423)		
30.0	27.50200 (97020423)	45.14507 (97020423)		
40.0	12.02937 (97032909)	12.66062 (97032909)		
50.0	4.43749 (97032909)	4.55006 (97010805)		
60.0	1.18361 (97010805)	1.82304 (97010805)		
70.0	1.10244 (97032809)	0.55127 (97010805)		
80.0	2.21545 (97032809)	1.23762 (97032809)		
90.0	4.43332 (97032809)	2.95471 (97032809)		
100.0	8.12273 (97032809)	6.36108 (97032809)		
110.0	12.69360 (97010617)	11.28171 (97010617)		
120.0	55.63241 (97021904)	44.98610 (97021904)		
130.0	48.32129 (97021904)	50.87073 (97021904)		
140.0	26.38380 (96112712)	34.45838 (96112712)		
150.0	41.56268 (97020422)	138.99574 (97020422)		
160.0	126.35656 (97020422)	127.44750 (97020422)		
170.0	172.62415 (97020422)	153.49022 (97021822)		
180.0	186.13396 (97020422)	45.44464 (97021822)		
190.0	200.88792 (97020422)	54.83814 (97020422)		
200.0	144.99945 (97020422)	150.12524 (97020422)		
210.0	45.45212 (96112712)	205.33047 (97020422)		
220.0	19.82924 (96112712)	42.26422 (96112712)		
230.0	2.32897 (97032909)	6.18651 (96112712)		
240.0	25.51752 (97032909)	31.97358 (97032909)		
250.0	256.13403 (97020423)	139.36731 (97020423)		
260.0	26.64849 (97032909)	14.47362 (97032909)		
270.0	8.27816 (97032909)	2.44969 (97032909)		
280.0	2.51471 (97032909)	0.84278 (96112507)		
290.0	1.03647 (97032909)	1.87910 (96112507)		
300.0	3.89839 (97032809)	2.95834 (96112507)		
310.0	11.87566 (97032809)	11.13765 (97032809)		
320.0	59.56340 (97021904)	68.97724 (97021904)		
330.0	78.25923 (97021904)	52.11537 (97021904)		
340.0	13.77223 (97032808)	17.57398 (97010805)		
350.0	14.36260 (97011216)	21.75523 (97010805)		
360.0	40.63675 (97012818)	40.81728 (97012818)		

*** THE 1ST HIGHEST 24-HR AVERAGE CONCENTRATION VALUES FOR SOURCE GROUP: ALL ***
 INCLUDING SOURCE(S): F1 , F2 , F3 , F4 , F5 , F6 , F7 ,

** CONC OF NOX IN MICROGRAMS/M**3 **

DIRECTION (DEGREES)	DISTANCE (METERS)				
	2000.00	4000.00	5000.00	7000.00	8000.00
10.0	22.50063 (96103124)	27.18590 (96103124)	33.62734 (96103124)	52.41533 (96103124)	62.24289 (96103124)
20.0	32.31804 (96103124)	50.73386 (96103124)	54.62040 (96103124)	29.55516 (96103124)	16.73278 (97022324)
30.0	42.89946 (96103124)	44.93402 (96103124)	24.16136 (96103124)	7.54396 (97022824)	5.16352 (97022824)
40.0	50.58525 (96103124)	21.45719 (96103124)	9.86942 (97022824)	3.67124 (97022824)	2.21458 (96120924)
50.0	53.40290 (96103124)	11.53487 (97022824)	6.13140 (97022824)	1.84224 (97022824)	1.00532 (96120924)
60.0	52.32952 (96103124)	8.10810 (97022824)	4.46946 (97022824)	1.00850 (97022824)	0.49493 (96120924)
70.0	49.65573 (96103124)	6.58057 (97022824)	3.56446 (97022824)	0.80530 (96120924)	0.42587 (96120924)
80.0	47.17117 (96103124)	6.23097 (97013124)	3.13372 (97022824)	1.02489 (96120924)	0.62322 (96122124)
90.0	45.64915 (96103124)	7.97264c(96122324)	3.61827c(96121424)	1.45856 (96120924)	1.03938 (96122124)
100.0	45.12852 (96103124)	11.53741c(96102724)	6.39689c(96102724)	2.21045 (96121824)	1.67819 (96122124)
110.0	45.25095 (96103124)	14.34350c(96102724)	12.25769c(96102724)	5.52609c(96102724)	3.47469 (97020124)
120.0	45.29871 (96103124)	12.71787c(96122324)	12.82426c(96102724)	12.58035c(96102724)	11.36322c(96102724)
130.0	44.10322 (96103124)	12.17624 (97022724)	8.27893c(96122324)	7.61543c(96102724)	8.07959c(96102724)
140.0	40.30769 (96103124)	21.25141 (96103124)	10.41669 (97022824)	4.84189c(96121424)	4.53918c(96121424)
150.0	33.35571 (96103124)	34.99932 (96103124)	22.20676 (96103124)	8.83169 (97022824)	6.85435 (97022824)
160.0	24.39189 (96103124)	37.56604 (96103124)	37.06813 (96103124)	23.89190 (96103124)	16.72025 (96103124)
170.0	15.74937 (96103124)	23.82409 (96103124)	27.50488 (96103124)	32.40123 (96103124)	34.94904 (96103124)
180.0	11.99894 (97022824)	11.97756 (97022824)	12.03723 (97022824)	12.63880 (97022824)	18.85959c(96101324)
190.0	9.35656 (97022824)	7.52065 (97022824)	6.87018 (97022824)	6.34953 (97022824)	9.91441 (96100324)
200.0	7.49573 (97022824)	5.04579 (97022824)	4.24296 (97022824)	3.66218c(96110824)	6.74720c(96110824)
210.0	6.15274 (97022824)	3.46671 (97022824)	2.62969 (97022824)	1.90197c(96110824)	4.09603c(96110824)
220.0	5.15691 (97022824)	2.39552 (97022824)	1.59704 (97022824)	0.72136 (97022824)	1.37037c(96110824)
230.0	4.41497 (97022824)	1.67007 (97022824)	0.96529 (97022824)	0.48930 (96120924)	0.42394 (96120924)
240.0	3.87303 (97022824)	1.67693 (96120924)	1.64009 (96120924)	2.13276 (96120924)	2.59376 (96120924)
250.0	3.49698 (97022824)	2.62107 (96120924)	3.04647 (96120924)	8.69693 (97022324)	21.41091 (97022324)
260.0	3.37547 (96120924)	3.68473 (96120924)	7.90147 (97022324)	23.46879 (97022324)	7.87713 (97022324)
270.0	3.86149 (96120924)	7.67833 (97022324)	21.91002 (96100424)	3.76674 (96120924)	2.32625 (96120924)
280.0	4.38016 (96120924)	16.45186 (97022324)	19.42945 (96100424)	2.42026 (96120924)	1.09046 (96120924)
290.0	4.91244 (96120924)	21.18860 (96100424)	10.58870 (97022324)	1.83794 (96120924)	0.76690 (96120924)
300.0	5.46798 (96120924)	20.84000 (96100424)	6.09937 (97022324)	2.05494 (96120924)	1.14413 (96120924)
310.0	6.08777 (96120924)	20.08335 (96100424)	5.73278 (96120924)	3.04982 (96120924)	2.32688 (96120924)
320.0	6.82729 (96120924)	23.58851 (96100424)	9.34041 (96100424)	7.86649c(96102724)	9.07612c(96102724)
330.0	8.56144c(96122324)	32.12191 (96100424)	21.90172 (96100424)	19.02627c(96102724)	17.27149c(96102724)
340.0	11.88284c(96122324)	35.60297 (96100424)	25.13293 (96100424)	6.03952 (96120924)	4.42751 (96120924)
350.0	15.05086c(96122324)	27.07293 (96100424)	21.72251 (96100424)	5.45639 (96120924)	4.26231 (96120924)
360.0	17.53043c(96122324)	13.95284 (96100424)	18.56317 (97022324)	12.07913 (97022824)	12.14199 (97022824)

*** THE 1ST HIGHEST 24-HR AVERAGE CONCENTRATION VALUES FOR SOURCE GROUP: ALL ***
 INCLUDING SOURCE(S): F1 , F2 , F3 , F4 , F5 , F6 , F7

** CONC OF NOX IN MICROGRAMS/M**3 **

DIRECTION (DEGREES)	DISTANCE (METERS)	
	9000.00	10000.00
10.0	70.07198 (96103124)	73.39847 (96103124)
20.0	16.11405 (97022324)	13.76041 (97022324)
30.0	4.87010c(96111424)	7.09685 (97022324)
40.0	2.17073 (96120924)	2.35231 (96120924)
50.0	0.88952 (96120924)	1.06857 (97021324)
60.0	0.33583 (96120924)	0.43653 (97021324)
70.0	0.23820 (96122124)	0.17080 (96122124)
80.0	0.37453 (96122124)	0.22006 (96122124)
90.0	0.72272 (96122124)	0.48341 (96122124)
100.0	1.33632 (96122124)	1.05330 (96122124)
110.0	2.53547 (96121824)	2.09581 (97031924)
120.0	9.70730c(96102724)	7.87874c(96102724)
130.0	8.51754c(96102724)	8.99573 (96100424)
140.0	5.65885 (96121524)	9.29205 (96100324)
150.0	11.40340 (96100324)	38.12906 (96100324)
160.0	35.13509c(96101324)	34.95227 (96100324)
170.0	55.66124c(96101324)	34.02777 (96103124)
180.0	51.01510 (96100324)	14.96914c(96101324)
190.0	55.04018 (96100324)	15.02539 (96100324)
200.0	39.71424 (96100324)	41.11462 (96100324)
210.0	7.89068 (97010724)	56.21051 (96100324)
220.0	3.27843c(96110824)	6.89766c(96110824)
230.0	0.46807 (96121524)	1.07267 (96121524)
240.0	3.21389 (96120924)	4.05131 (96120924)
250.0	30.38407 (97022324)	17.80400 (97022324)
260.0	3.33548 (96120924)	1.81604 (96120924)
270.0	1.04085 (96120924)	0.30874 (96120924)
280.0	0.34087 (96120924)	0.10261 (97031324)
290.0	0.26595 (96120924)	0.21740 (97031324)
300.0	0.69032 (96120924)	0.51267 (96122124)
310.0	2.09997 (96122124)	2.08479 (96122124)
320.0	10.47948c(96102724)	12.09815c(96102724)
330.0	13.66749c(96102724)	9.22114c(96102724)
340.0	4.10365 (97021324)	5.22210 (97021324)
350.0	3.76302 (97021324)	5.51986 (97021324)
360.0	12.23071 (97022824)	12.33103 (97022824)

*** THE SUMMARY OF MAXIMUM PERIOD (4368 HRS) RESULTS ***

** CONC OF NOX IN MICROGRAMS/M**3 **

GROUP ID		AVERAGE CONC	RECEPTOR (XR, YR, ZELEV, ZFLAG)	OF TYPE	NETWORK GRID-ID
ALL	1ST HIGHEST VALUE IS	13.08345 AT (484550.84,	6664069.50,	0.00,	0.00) GP RECEP1
	2ND HIGHEST VALUE IS	11.52053 AT (477988.00,	6664272.50,	0.00,	0.00) GP RECEP1
	3RD HIGHEST VALUE IS	11.50439 AT (482988.00,	6663933.00,	0.00,	0.00) GP RECEP1
	4TH HIGHEST VALUE IS	11.17553 AT (481425.16,	6664069.50,	0.00,	0.00) GP RECEP1
	5TH HIGHEST VALUE IS	10.11243 AT (484520.09,	6674218.50,	0.00,	0.00) GP RECEP1
	6TH HIGHEST VALUE IS	10.02351 AT (484720.06,	6673933.00,	0.00,	0.00) GP RECEP1
	7TH HIGHEST VALUE IS	9.90120 AT (484273.56,	6674465.00,	0.00,	0.00) GP RECEP1
	8TH HIGHEST VALUE IS	9.81401 AT (484867.38,	6673617.00,	0.00,	0.00) GP RECEP1
	9TH HIGHEST VALUE IS	9.57426 AT (484957.63,	6673280.50,	0.00,	0.00) GP RECEP1
	10TH HIGHEST VALUE IS	9.50486 AT (484724.47,	6682781.00,	0.00,	0.00) GP RECEP1

*** THE SUMMARY OF HIGHEST 1-HR RESULTS ***

** CONC OF NOX IN MICROGRAMS/M**3 **

GROUP ID		AVERAGE CONC	DATE (YYMMDDHH)	RECEPTOR (XR, YR, ZELEV, ZFLAG)	OF TYPE	NETWORK GRID-ID
ALL	HIGH 1ST HIGH VALUE IS	360.02722	ON 97021822: AT (484724.47,	6682781.00,	0.00,	0.00) GP RECEP1

*** THE SUMMARY OF HIGHEST 24-HR RESULTS ***

** CONC OF NOX IN MICROGRAMS/M**3 **

GROUP ID		AVERAGE CONC	DATE (YYMMDDHH)	RECEPTOR (XR, YR, ZELEV, ZFLAG)	OF TYPE	NETWORK GRID-ID
ALL	HIGH 1ST HIGH VALUE IS	73.39847	ON 96103124: AT (484724.47,	6682781.00,	0.00,	0.00) GP RECEP1

*** Message Summary : ISCST3 Model Execution ***

----- Summary of Total Messages -----

A Total of	0 Fatal Error Message(s)
A Total of	0 Warning Message(s)
A Total of	76 Informational Message(s)
A Total of	76 Calm Hours Identified

***** FATAL ERROR MESSAGES *****
*** NONE ***

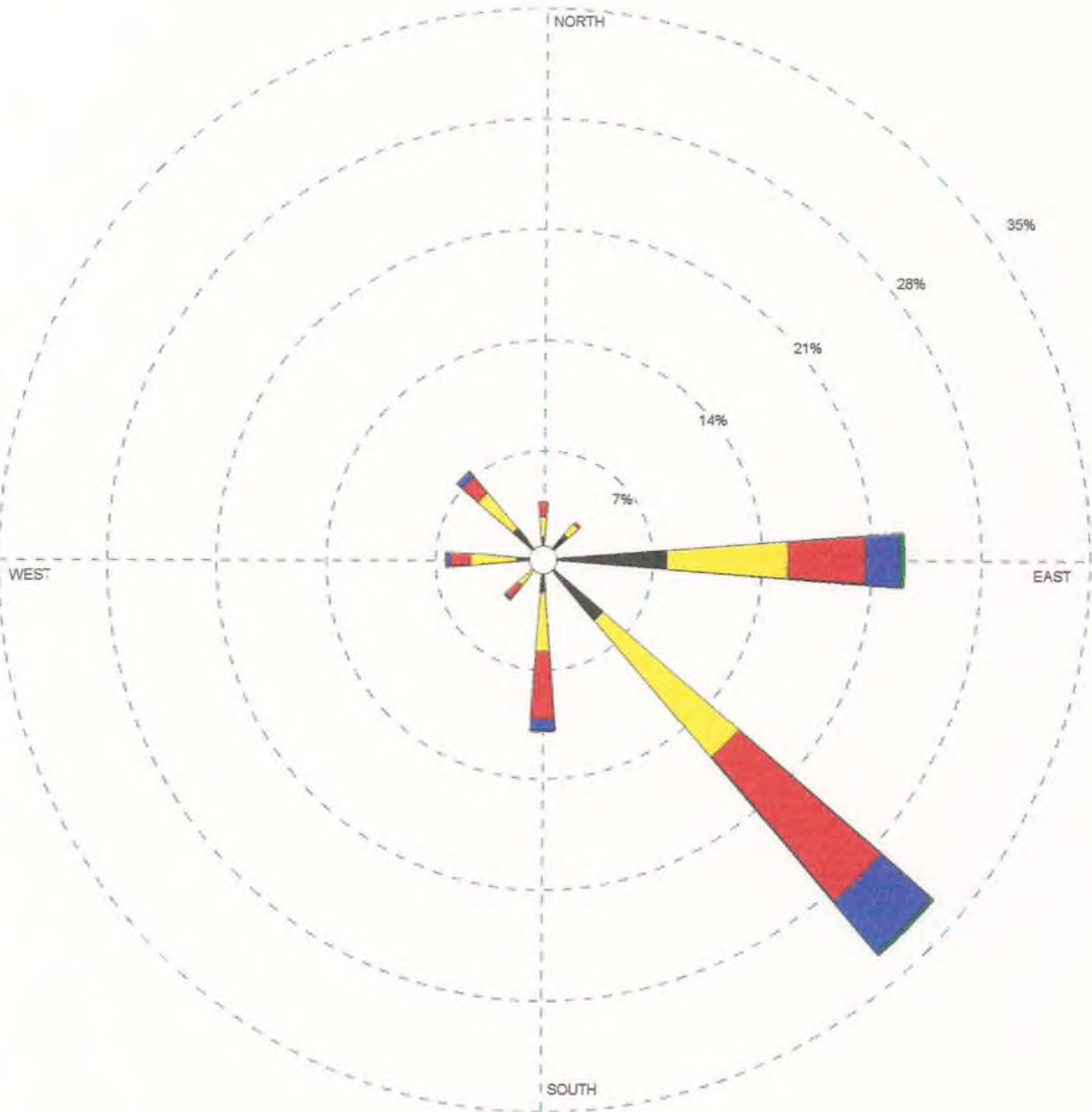
***** WARNING MESSAGES *****
*** NONE ***

*** ISCST3 Finishes Successfully ***

Anexo A-3
Rosa dos Ventos do Período Outubro/96 a Março/97

WIND ROSE PLOT

Rosa dos Ventos, Período Outubro/96 a Março/97



<p>Wind Speed (m/s)</p>	<p>MODELER</p>	<p>DATE</p> <p>06/04/00</p>	<p>COMPANY NAME</p>
	<p>DISPLAY</p> <p>Wind Speed</p>	<p>UNIT</p> <p>m/s</p>	<p>COMMENTS</p> <p>Dados da Estação Meteorológica do Aeroporto Internacional Salgado Filho</p>
	<p>AVG. WIND SPEED</p> <p>3,03 m/s</p>	<p>CALM WINDS</p> <p>7,88%</p>	
	<p>ORIENTATION</p> <p>Flow Vector (blowing to)</p>	<p>PLOT YEAR-DATE-TIME</p> <p>96 January 1 - December 31 Midnight - 11 PM</p>	<p>PROJECT/PLOT NO.</p>