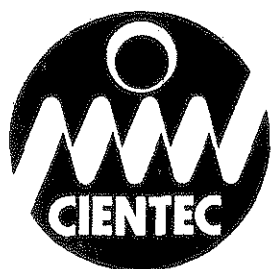
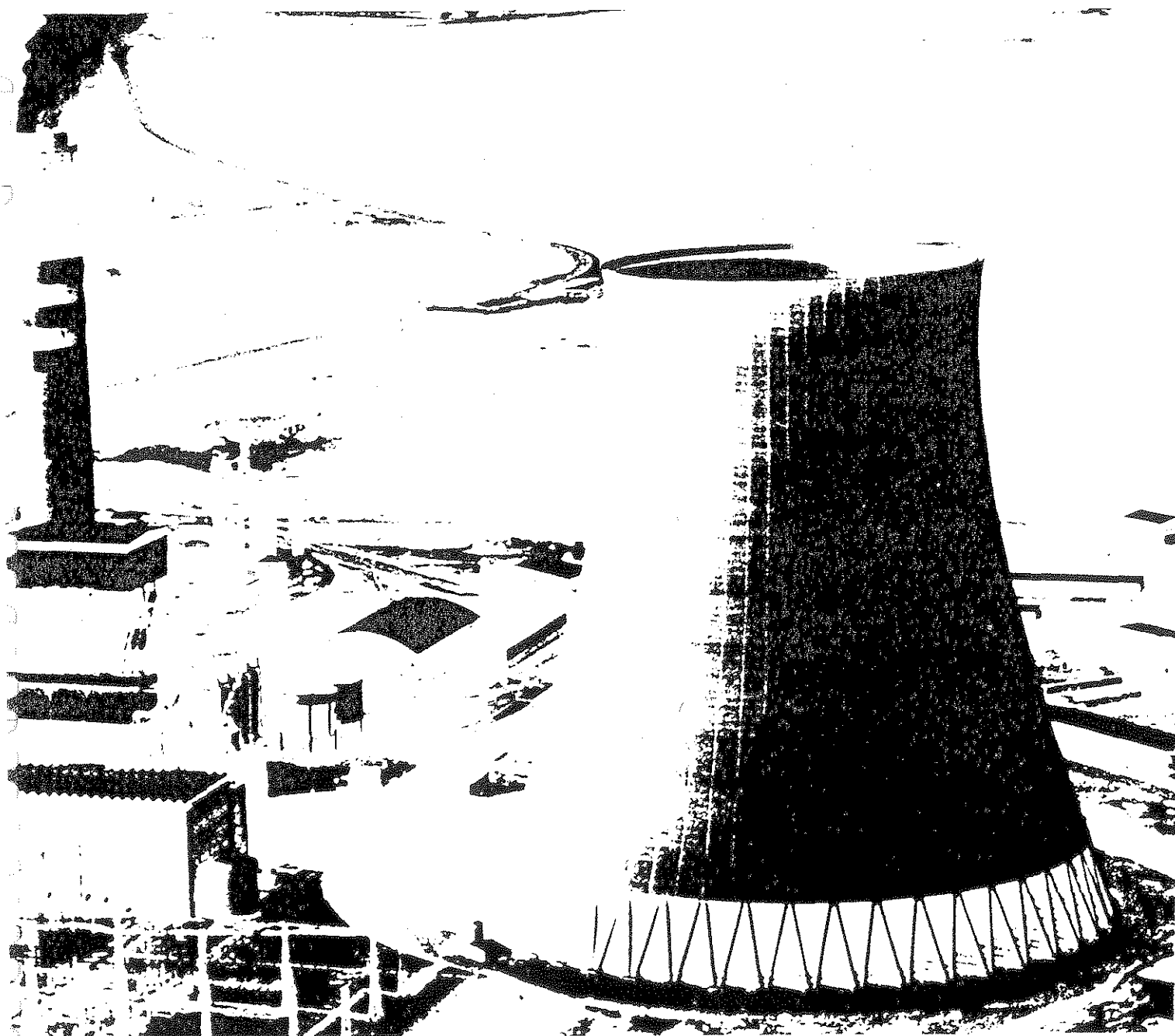


# ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL - EIA



USINA TERMELÉTRICA CANDIOTA III  
1ª MÁQUINA  
COMPANHIA ESTADUAL DE ENERGIA ELÉTRICA  
CEEE - SETEMBRO/1996

Realização



TOMO II  
DIAGNÓSTICO AMBIENTAL  
VOLUME 1 - AR



FUNDAÇÃO  
DE CIÊNCIA  
E TECNOLOGIA

**ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL - EIA**

**USINA TERMELÉTRICA CANDIOTA III**

**1ª MÁQUINA**

**COMPANHIA ESTADUAL DE ENERGIA ELÉTRICA - CEEE**

**TOMO II**

**DIAGNÓSTICO AMBIENTAL**

**VOLUME 1 - AR**

**SETEMBRO 1996**





FUNDAÇÃO  
DE CIÊNCIA  
E TECNOLOGIA

**ENTIDADES COLABORADORAS:**

**CÂMARAS MUNICIPAIS DE HERVAL E PINHEIRO MACHADO;  
EMATER - ESCRITÓRIOS MUNICIPAIS DE BAGÉ, CANDIOTA HERVAL,  
HULHA NEGRA E PINHEIRO MACHADO;  
INCRA;  
PREFEITURA MUNICIPAL DE BAGÉ;  
PREFEITURA MUNICIPAL DE CANDIOTA;  
PREFEITURA MUNICIPAL DE HULHA NEGRA;  
PROCERGS;  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA.**





FUNDAÇÃO  
DE CIÊNCIA  
E TECNOLOGIA

## SUMÁRIO GERAL

**TOMO I - DESCRIÇÃO GERAL E TÉCNICA DO EMPREENDIMENTO**

**TOMO II - DIAGNÓSTICO AMBIENTAL**

**TOMO III - AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS**

**TOMO IV - PROGRAMA DE GERENCIAMENTO AMBIENTAL**

**TOMO V - RIMA**



## SUMÁRIO

|                                                                                   | página   |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------|
| <b>1-DIAGNÓSTICO AMBIENTAL - AR</b>                                               | <b>7</b> |
| 1.1 - Resumo                                                                      | 7        |
| 1.1.1 - Objetivo                                                                  | 7        |
| 1.1.2 - Metodologia                                                               | 7        |
| 1.1.3 - Conclusões                                                                | 8        |
| 1.2 - Introdução                                                                  | 8        |
| 1.2.1 - A Atmosfera                                                               | 8        |
| 1.2.2 - O Diagnóstico Atmosférico                                                 | 15       |
| 1.2.3 - Áreas de Influência                                                       | 16       |
| Área de Influência Direta                                                         | 16       |
| Área de Influência Indireta                                                       | 16       |
| 1.2.4 - Elementos do Diagnóstico Atmosférico                                      | 16       |
| Clima da Região de Candiota                                                       | 16       |
| Variáveis Meteorológicas                                                          | 17       |
| 1.3 - Avaliação dos Parâmetros Meteorológicos                                     | 18       |
| 1.3.1 - Meteorologia e Contaminações Atmosféricas                                 | 18       |
| 1.3.2 - Comportamento Climático                                                   | 19       |
| 1.3.3 - Caracterização do Macroclima                                              | 27       |
| Movimentação (Macro) das Massas de Ar                                             | 27       |
| Variedade Climática                                                               | 31       |
| Pluviometria                                                                      | 31       |
| Temperatura                                                                       | 31       |
| Ventos                                                                            | 31       |
| Insolação                                                                         | 31       |
| Umidade Relativa e Evaporação                                                     | 32       |
| 1.3.4 - Caracterização do Mesoclima da Região                                     | 36       |
| Dados Meteorológicos de Bagé e de Candiota                                        | 37       |
| Ventos de Superfície na Estação Usina Candiota                                    | 45       |
| Dados Meteorológicos das Estações do Seival, Hotel, Candiota III e Usina Candiota | 50       |
| Ventos de Altitude e Considerações sobre Estabilidade Atmosférica                 | 53       |
| 1.4 - Atividades na Região                                                        | 57       |
| 1.4.1 - Definição das Atividades                                                  | 57       |
| 1.4.2 - Empreendimentos Industriais                                               | 58       |
| Usina Termelétrica Presidente Médice - Fase A                                     | 58       |
| Usina Termelétrica Presidente Médice - Fase B                                     | 61       |
| Mineração da Companhia Riograndense de Mineração (CRM)                            | 64       |
| Mineração da COPELMI - Mina do Seival                                             | 64       |
| Cimento e Mineração Bagé S.A. - CIMBAGE                                           | 65       |



|                                                                         |     |
|-------------------------------------------------------------------------|-----|
| Companhia de Cimento Portland Gaúcho - Grupo Votorantim                 | 66  |
| 1.4.3 - Núcleos Populacionais Locais                                    | 66  |
| 1.5 - Levantamento de Dados Sobre a Poluição Atmosférica na Região      | 68  |
| 1.5.1 - Emissões Dispersas e Fugitivas                                  | 68  |
| 1.5.2 - Emissões Localizadas                                            | 69  |
| Monitoramento de Dióxido de Enxofre                                     | 70  |
| Bioindicadores                                                          | 70  |
| Placas Alcalinas                                                        | 76  |
| Discussão dos Resultados                                                | 77  |
| Monitoramento de Material Particulado                                   | 96  |
| Emissão de Elementos Menores                                            | 97  |
| Monitoramento de Óxidos de Nitrogênio                                   | 107 |
| 1.5.3 - Modelagem Matemática das Dispersões Relevantes                  | 114 |
| Comentários Sobre o Método                                              | 114 |
| Teoria do Transporte por Gradiente                                      | 115 |
| O Modelo de Pluma Gaussiano                                             | 117 |
| Estimativa dos Coeficientes de Difusão                                  | 117 |
| Descrição Pormenorizada do Modelo Utilizado                             | 119 |
| Valores de Entrada para o Modelo                                        | 122 |
| Os Dados Meteorológicos Utilizados                                      | 123 |
| Resultados das Simulações                                               | 134 |
| Resultados Comparativos Entre os Dados Levantados e a Simulação         | 141 |
| Material Particulado                                                    | 141 |
| Dióxido de enxofre                                                      | 142 |
| Óxidos de Nitrogênio                                                    | 144 |
| Comentários Gerais                                                      | 145 |
| 1.6 - O Resultado do Diagnóstico Atmosférico                            | 147 |
| 1.7 - Conclusões                                                        | 149 |
| 1.8 - Anexos                                                            | 150 |
| 1.8.1 - Listagem de Processamento por Computador - Material Particulado | 151 |
| 1.8.2 - Listagem de Processamento por Computador - Dióxido de Enxofre   | 164 |
| 1.8.3 - Listagem de Processamento por Computador - Óxidos de Nitrogênio | 177 |
| 1.8.4 - Gráficos e Tabelas Resultados das Simulações                    | 190 |



## 1 - DIAGNÓSTICO AMBIENTAL - AR

### 1.1 - Resumo

#### 1.1.1 - Objetivo

Tratar o meio ambiente como impessoal, ilimitado e indefinido, tem sido uma tendência quase que natural do ser humano, mas desde a década de 60, quando as sociedades modernas começaram a propiciar movimentos voltados para a preservação do meio ambiente, as camadas mais conscientes das populações urbanas passaram a se preocupar com a relação intrínseca entre qualidade de vida e manutenção dos recursos naturais da terra.

A industrialização, o desenvolvimento tecnológico e a instrumentalização da ciência como ferramenta para modificação do meio ambiente, propiciaram o surgimento de uma geração que passou a negar os avanços do "desenvolvimento a qualquer preço", tão propagado durante a primeira metade do século.

Mas o conhecimento técnico-científico, até no caso brasileiro, tem sido pouco aproveitado pelos próprios movimentos ecológicos que, por vezes, se esquecem que é preciso conhecer o meio e, por outro lado, têm difícil acesso aos recursos científicos e tecnológicos.

Mas o meio ambiente não é impessoal e pode ser delimitado de maneira própria, em função da abrangência ou objetivo e este trabalho trata do estudo de parte deste meio ambiente, mais propriamente o meio ar, com o objetivo definido, em um volume de abrangência, de avaliar a qualidade atmosférica em uma região.

O centro das atenções para estudo está situado no município de Candiota, local onde já estão implantadas atividades industriais, comerciais, domésticas, de transporte, agrícolas, pastoris e outras, que comporão o diagnóstico ambiental da região.

A região de estudo tem dois limites definidos: área de influência direta e área de influência indireta.

Tem-se por objetivo final compor o relatório de impacto ao meio ambiente da instalação da Usina Termelétrica Candiota III, 1ª máquina, em que o diagnóstico comporá o "pano de fundo" onde estará localizada a nova unidade termelétrica.

#### 1.1.2 - Metodologia

Compor este quadro-diagnóstico com todas as matizes e nuances pertinentes à atmosfera é tarefa gigantesca, pois este meio é ainda pouco conhecido em suas variáveis e inter-relações com os outros meios. O fato de os dados serem praticamente inexistentes ou impraticáveis de obter a curto prazo, ou mesmo de estimar, induz à suposição de que, para muitos parâmetros, os valores são similares aos relativos a outros locais. Talvez o aspecto mais relevante seja a falta de maiores informações sobre o conhecimento da climatologia do local.

O certo é que deve ser imperioso para um trabalho desta envergadura que os elementos e variáveis que comporão o elenco de instrumentos do diagnóstico, se não perfeitamente conhecidos, sejam utilizados com todo o rigor e bom-senso que se exige para o caso.

Para avaliar a qualidade ambiental e dar-lhe um diagnóstico, torna-se necessário conhecer os limites condicionantes, tanto quantitativos quanto qualitativos, e dar pesos às



diversas medidas, de maneira a realçar corretamente todas as contribuições relevantes na obtenção, o mais claro possível, do diagnóstico.

Entre o grande número destas variáveis, serão destacadas e consideradas aquelas que, sob o ponto de vista da área de influência, exerçam ou possam exercer efeitos de magnitude mensurável, e que sejam conhecidas.

Serão caracterizadas de maneira qualitativa as atividades industriais, comerciais e domésticas existentes na região abrangida pelo estudo, e suas possíveis emissões quantificadas para que, com o auxílio de uma simulação matemática de modelo estatístico, se possa traçar o perfil dominante da atmosfera na região.

Também, concomitantemente, será comparado o resultado obtido por simulação com os resultados obtidos da análise de bioindicadores e métodos químicos quantificáveis para certos poluentes, confronto este interessante para não só afiançar o resultado, mas até medir o desvio entre os resultados da simulação e os dados conseguidos.

### 1.1.3 - Conclusões

As curvas de isoconcentração na região circunscrita geograficamente nos Mapas 1.4, 1.5 e 1.6 bem como Mapas das simulações das médias diárias, anexos no item 1.8, demonstram boa qualidade atmosférica, inclusive nas regiões habitadas, apesar de terem sido somente qualificadas e não quantificadas as emissões fugitivas.

Apesar destas conclusões, faz-se mister estabelecer um programa de monitoramento ambiental, principalmente de material particulado,  $SO_2$ , chuva ácida e  $NO_x$  antes e depois da efetiva entrada em operação da 1ª máquina da Usina Termelétrica Candiota III, com o intuito de estabelecer-se os reais valores da qualidade ambiental, pós-Candiota III - 1ª Máquina.

Evidentemente, este plano de monitoramento requer o conhecimento das variáveis climatológicas e, para tanto, sugere-se, desde já, a instalação de uma estação meteorológica completa, preferencialmente automática que, com o auxílio da informática, permitirá continuamente monitorar variáveis tais como: direção e velocidade de ventos, variação da temperatura, umidade relativa, evaporação, regime de chuvas, pressão atmosférica, etc... durante um período julgado estatisticamente confiável.

## 1.2 - Introdução

### 1.2.1 - A Atmosfera

A atmosfera original da Terra era basicamente um envoltório de gases e partículas provenientes do esfriamento da camada externa e de atividade vulcânica, e a composição desta atmosfera primitiva era completamente diferente da atual, não havendo oxigênio livre, mas sim óxidos, vapor d'água, amônia e alguns outros gases.

Com o esfriamento, houve condições para o aparecimento das primeiras unidades de matéria organizada, auto-reprodutíveis e anaeróbias, instaladas no meio hídrico, pois, no solo, as condições eram adversas e impossibilitavam a sobrevivência.

Não tardou até que a atividade fotossintética e a atividade de organismos dependentes de compostos monooxigenados resultassem na liberação e acumulação de oxigênio na atmosfera, que foi, ao pé da letra, uma catastrófica forma de poluição atmosférica, pois mudava radicalmente a composição da atmosfera, acelerando, também, o desenvolvimento de



outros organismos e formas aquáticas, até que esta vida atingiu as partes ribeirinhas e margens dos lagos e rios. Aí então, a atividade fotossintética cresceu verticalmente, permitindo o aparecimento de espécies exuberantes e múltiplas.

Adicionalmente à revolução do oxigênio, deve-se considerar também o crescente número de compostos resultantes da atividade metabólica que povoaram os meios e estas mudanças graduais é que fizeram com que ocorressem, ao longo do tempo, as mudanças dos seres vivos, com algumas espécies em extinção dando lugar a novas e mais adaptadas formas de vida.

Neste ponto, o da mudança na atmosfera provocada pela atividade antrópica, reside o conflito entre o homem, o meio ambiente e suas alterações.

Esta atividade tem grande significado e correlação com os recursos atmosféricos, que, em poucos anos, conseguiu transformar o que talvez se leve gerações para ser recomposto.

Para se ter uma idéia do significado da atmosfera em termos de composição e disposição, passamos a ilustrar com a Figura 1.1. Nela, podemos verificar que na 1ª camada, que possui cerca de 5,6 km de espessura a partir do nível do mar, está concentrada metade da massa de ar, enquanto se detecta hidrogênio até 15.000 km de altura.

Conforme a mesma figura, fora de proporção, temos que 99% da massa de ar está entre a superfície e uma altura de 29 km, sendo principalmente nesta camada concentrada da atmosfera, que ocorrem as mudanças maiores, decorrentes da atividade humana.

Além disto, mais amiúde, a atmosfera possui uma peculiar estrutura térmica, em função principalmente da composição, teor de vapor d'água, balanço de energia recebida do sol e refletida do solo, e pressão, termodinamicamente equilibrada.

A Figura 1.2 mostra uma síntese da estrutura térmica, relacionada com a altura da atmosfera.

Pode-se observar que os gradientes térmicos da atmosfera, variam largamente entre  $-90^{\circ}\text{C}$  e  $+70^{\circ}\text{C}$ .

É interessante observar que, na camada inferior (troposfera), onde ocorrem as maiores modificações devido à atividade humana, o gradiente é negativo, ou seja, a temperatura diminui com a altitude. Este gradiente é aproximadamente constante e, para uma atmosfera normal, vale  $-6,4^{\circ}\text{C}/\text{km}$ , podendo variar em função da localização geográfica, condições do tempo e, principalmente, do movimento vertical da atmosfera.

Em se falando de atmosfera, deve-se comentar sobre a atmosfera poluída, condição geralmente associada com atividades domésticas, comerciais e industriais do homem.

Entretanto, muito dos maiores poluentes são emitidos pela própria natureza.

Numa visão global, a massa total de gases emitidos pela natureza excede em muitas vezes a emitida pelo homem. Nem por isso a atividade humana deixa de provocar efeitos adversos sobre a qualidade da atmosfera, particularmente em áreas urbanas densamente ocupadas e próximas a empreendimentos de grande porte.

Os efeitos podem ser imediatos e óbvios (queda da visibilidade, irritação dos olhos e odores) ou perceptíveis após longos períodos, como é o caso do aceleramento da corrosão. Contudo, efeitos mais sutis, sinérgicos ou amplos, requerem, em primeiro lugar, amplos estudos

e tratamento estatístico apropriado para a determinação de efeitos sobre a saúde populacional e mudanças no balanço energético mundial.

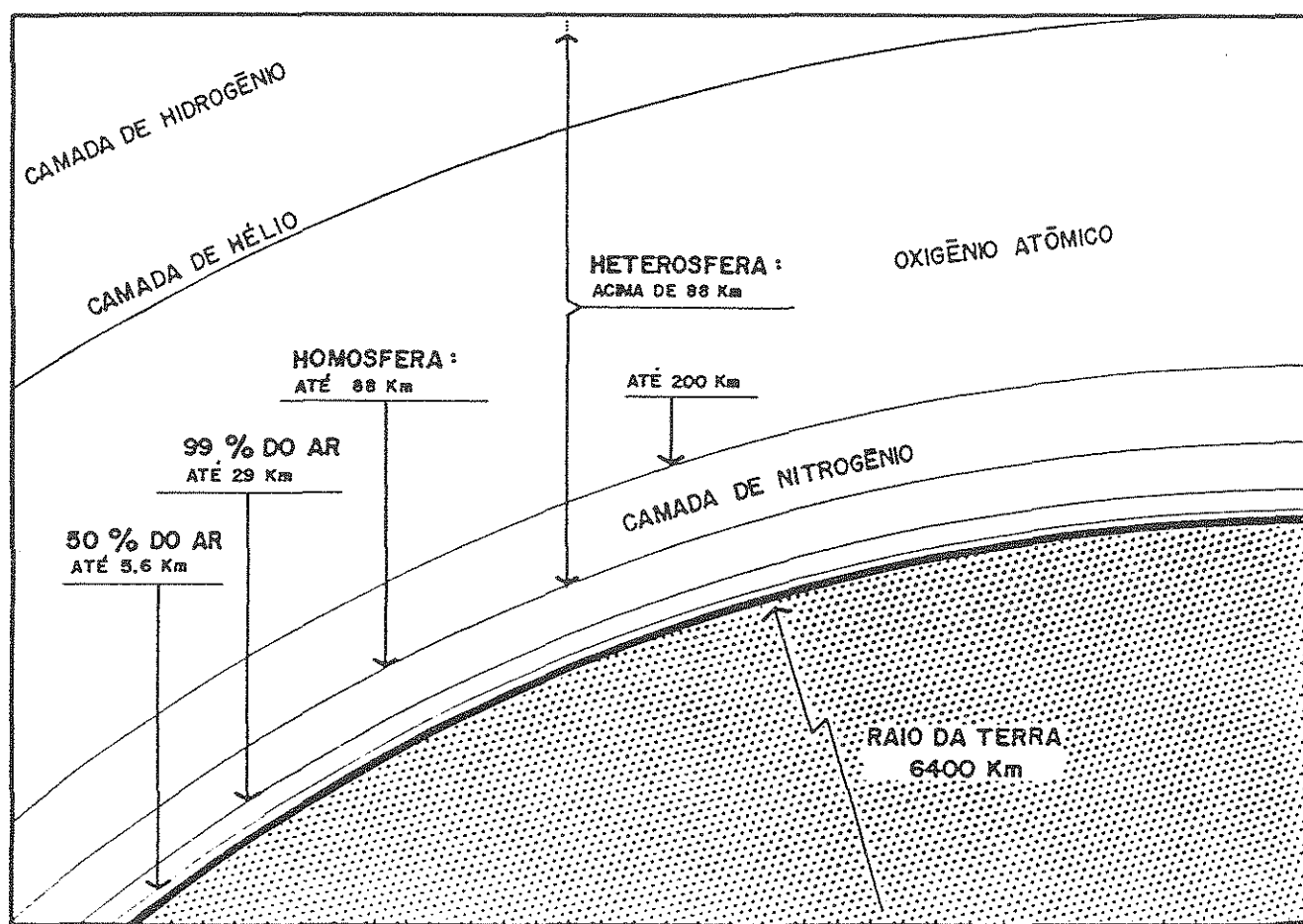
No Quadro 1.1 (Robinson & Robbins - Air Pollution Control-Strauss), estão sumarizados globalmente as fontes, concentrações, tempos de residência e reações de remoção para oito gases poluentes. Note-se que, exceto para o dióxido de enxofre, a emissão natural é maior que a produzida pela atividade humana. Segundo Robinson & Robbins - Air Pollution Control - Strauss - Part II, foi estimado que só 35% do total do enxofre emitido à atmosfera é de fonte industrial.

Na Figura 1.3 temos, baseada nos dados históricos existentes, a evolução da emissão de  $\text{SO}_2$  à atmosfera no período 1860 a 1960.

Nota-se que, após o início da revolução industrial, a emissão aumentou, devido ao uso mais intenso do carvão, principalmente na Europa.

Vemos também que foi após a 2ª Guerra Mundial, que as taxas cresceram rapidamente, também pelo uso mais intenso de derivados de petróleo na indústria e setor automotivo, principalmente no hemisfério norte.

FIGURA 1.1 - AS CAMADAS DA ATMOSFERA

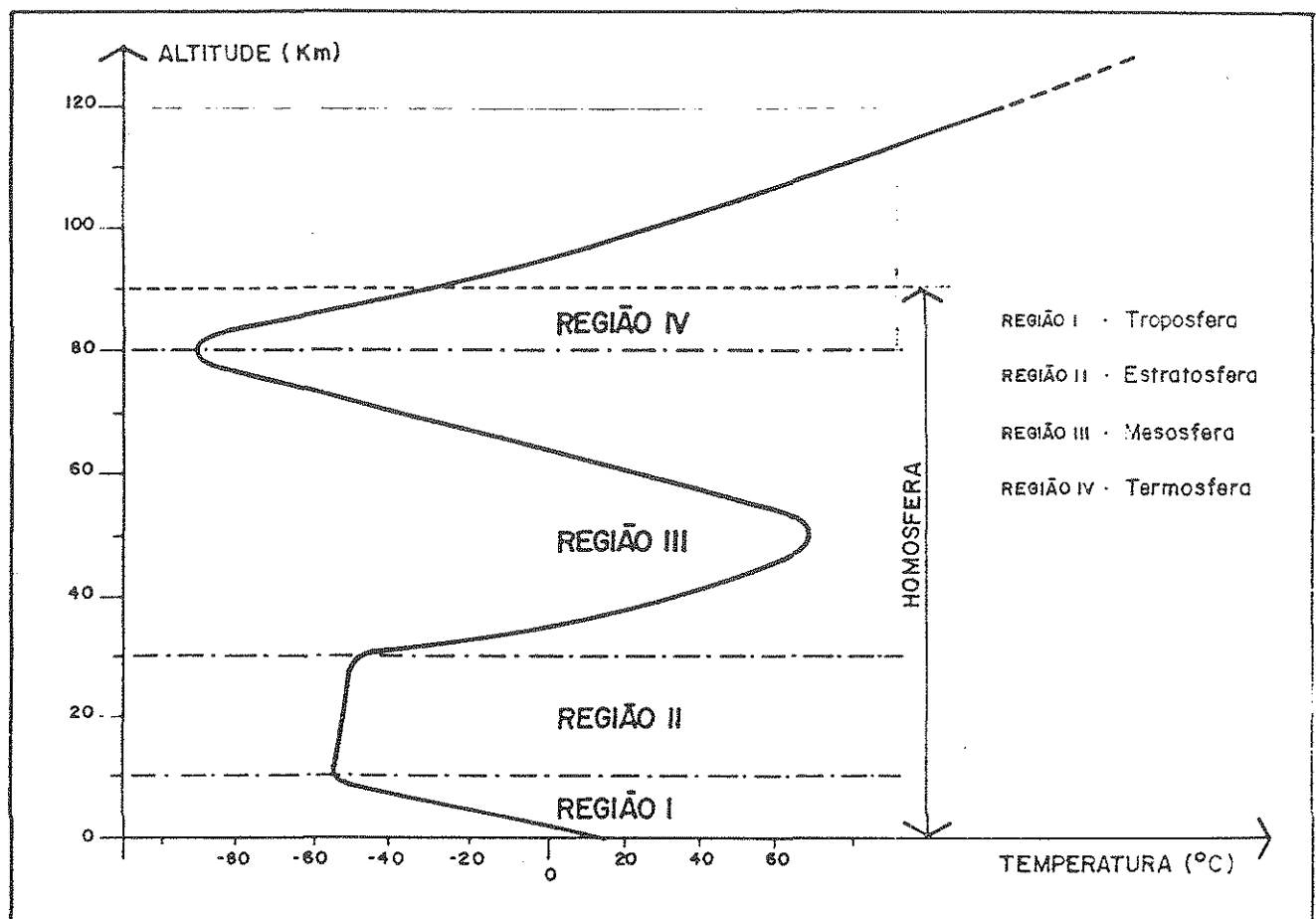


Fonte: STERN, C.A. AIR POLLUTION - Vol. I

S/ESC



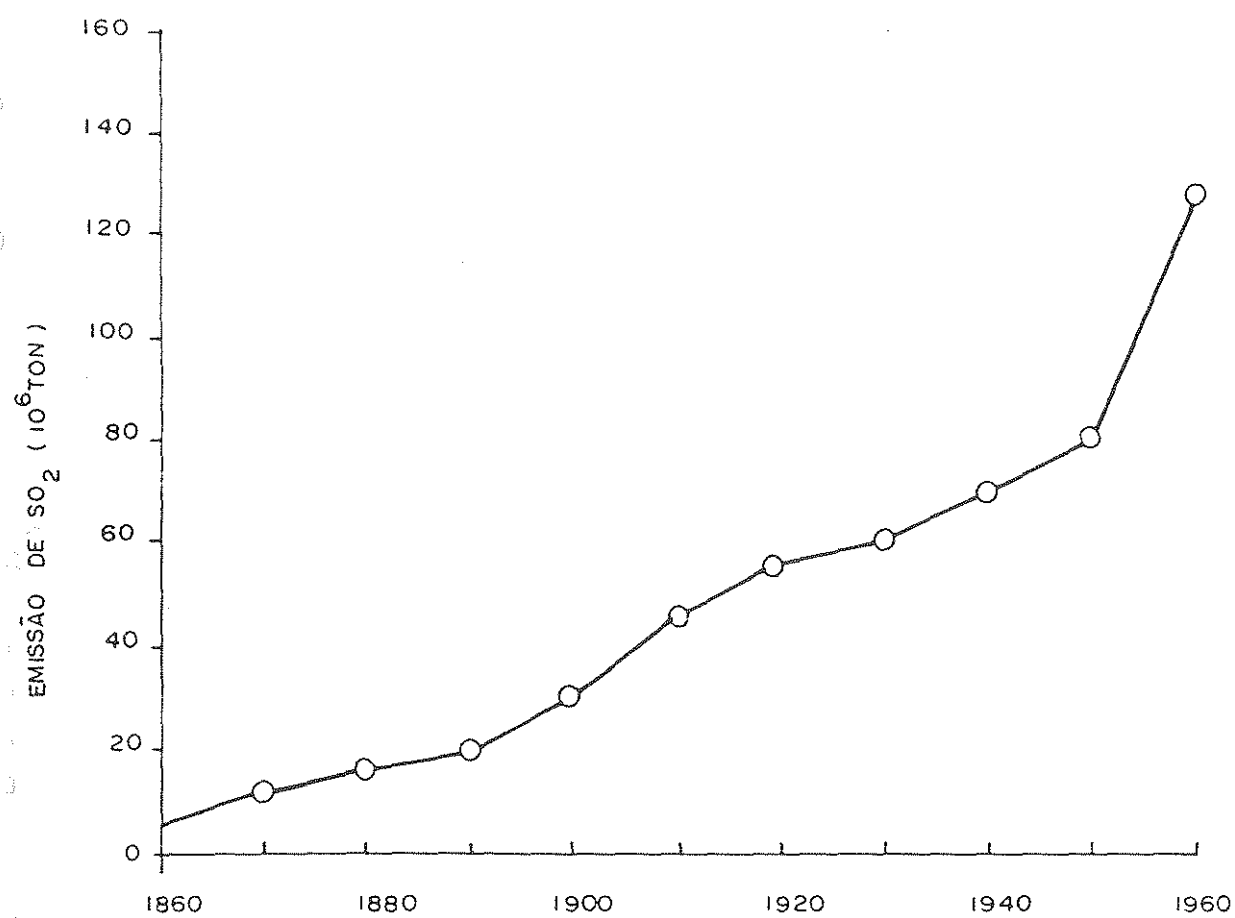
FIGURA 1.2 - VARIAÇÃO DA TEMPERATURA DO AR COM A ALTITUDE



Fonte : STRAHLER, A.N. - THE EARTH SCIENCES

FIGURA 1.3

- ESTIMATIVA HISTÓRICA DE EMISSÕES MUNDIAIS DE  $\text{SO}_2$



FONTE - STRAUSS, W - AIR POLLUTION CONTROL - PART II



QUADRO 1.1 - Síntese de fontes, concentrações, tempos de residência e reações de gases-traços à atmosfera

| CONTAMINANTE     | MAIORES FONTES DE POLUIÇÃO                   | FONTES NATURAIS                                                | EMISSIONES ANUAIS ESTIMADAS (1972) (t)                                      |                        | CONCENTRAÇÃO ATMOSFÉRICA NORMAL | TEMPO DE RESIDÊNCIA NA ATMOSFERA | REAÇÕES                                                                                    |
|------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|------------------------|---------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
|                  |                                              |                                                                | NATURAL                                                                     | ARTIFICIAL             |                                 |                                  |                                                                                            |
| SO <sub>2</sub>  | Combustão de óleo e carvão                   | Vulcanismo                                                     | Sem estimativa                                                              | 146 x 10 <sup>6</sup>  | 0,2 ppb                         | 4 dias                           | Oxidação a sulfato por ozônio ou, após absorção, por aerossóis de sólidos e líquidos       |
| H <sub>2</sub> S | Processos químicos                           | Vulcões; atividade biológica em banhados                       | 100 x 10 <sup>6</sup>                                                       | 3 x 10 <sup>6</sup>    | 0,2 ppb                         | 2 dias                           | Oxidação a SO <sub>2</sub>                                                                 |
| CO               | Combustões automotivas e outras              | Queimadas em campos e florestas; oceanos; reações com terpenos | 33 x 10 <sup>6</sup>                                                        | 304 x 10 <sup>6</sup>  | 0,1 ppm                         | 3 anos                           | Provável ação de microorganismos do solo                                                   |
| NO               | Combustão onde ocorrem temperaturas elevadas | Ação bacteriológica no solo                                    | 430 x 10 <sup>6</sup>                                                       | 53 x 10 <sup>6</sup>   | 0,2-2 ppb                       | 5 dias                           | Oxidação a nitrato após absorção por aerossóis de líquidos e sólidos; reações fotoquímicas |
| NO <sub>2</sub>  |                                              |                                                                | 658 x 10 <sup>6</sup>                                                       |                        | 0,5-5 ppb                       |                                  |                                                                                            |
| NH <sub>3</sub>  | Tratamento de efluentes                      | Degradação biológica                                           | 1160 x 10 <sup>6</sup>                                                      | 4 x 10 <sup>6</sup>    | 6-20 ppb                        | 7 dias                           | Reação com gases ácidos e oxidação a nitrato                                               |
| N <sub>2</sub> O | Nenhuma                                      | Atividade biológica no solo                                    | 590 x 10 <sup>6</sup>                                                       | -                      | 0,25 ppm                        | 4 anos                           | Fotodissociação na estratosfera e ação biológica no solo                                   |
| Hidrocarbonetos  | Combustão e processos químicos               | Processos biológicos                                           | CH <sub>4</sub> : 1600 x 10 <sup>6</sup><br>Terpenos: 200 x 10 <sup>6</sup> | 88 x 10 <sup>6</sup>   | CH <sub>4</sub> : 1,5 ppm       | 4 anos(CH <sub>4</sub> )         | Reações fotoquímicas com NO, NO <sub>2</sub> e O <sub>3</sub>                              |
| CO <sub>2</sub>  | Combustão                                    | Degradação biológica, desprendimento dos oceanos               | 100 x 10 <sup>10</sup>                                                      | 1,4 x 10 <sup>10</sup> | 320 ppm                         | 2-4 anos                         | Absorção biológica; fotossíntese; absorção nos oceanos                                     |

Fonte: Strauss, W. - Air Pollution Control - Part II



Nos Estados Unidos da América do Norte também houve um crescimento da emissão de  $\text{SO}_2$ , principalmente após a 2ª Guerra, crescimento este que chegou ao ápice em 1973 quando, só em território norte-americano, foram lançadas à atmosfera cerca de 29 milhões de toneladas de  $\text{SO}_2$ , correspondendo aproximadamente à emissão mundial do início do século.

É interessante observar que, nos Estados Unidos da América do Norte, só o total de  $\text{SO}_2$  lançado na atmosfera em 1973 é 4,1 vezes maior que o consumo brasileiro de carvão energético no ano de 1986.

É evidente que, a partir de 1973, nos Estados Unidos da América do Norte, mediante gestão da EPA (Environmental Protection Agency), a taxa anual de emissão de  $\text{SO}_2$  à atmosfera caiu do ápice de 29 milhões de toneladas anuais em 1973 para 20,8 milhões de toneladas anuais em 1983, representando uma queda de 26%.

Apesar de tal quantidade de  $\text{SO}_2$  emitido, o governo norte-americano, mediante supervisão em mais de 3000 localidades, verificou que, em seu território, os padrões de qualidade do ar são bons e em limites seguros para a saúde (The Downward Trend in Sulfur Dioxide Emission from Coal-Fired Plants (1980-1990) - Pittsburg Coal Conference - 1986).

Para se ter uma idéia da comparação de consumo de carvão para diferentes ramos industriais, podemos citar que, só para a área de metalurgia, em 1989 no Brasil, foram consumidas aproximadamente 10.230.000 toneladas, contra 5.265.000 nas outras atividades, incluindo a geração de termoeletricidade. Isto significa que, só na área metalúrgica, o consumo de carvão é 94% superior aos outros consumos deste energético.

Numa suposição de que nos Estados Unidos da América do Norte não houvesse plantas consumidoras de carvão com sistema de dessulfuração de gases, e que o carvão normal norte-americano possuísse um teor médio de enxofre de 2% e teor de cinzas de apenas 20%, o consumo de carvão seria cerca de 35 vezes superior ao consumo absoluto brasileiro de 1989.

Este simples exercício, frente à extensão territorial dos dois países, mostra a grande discrepância existente, em termos de consumo de carvão e emissão de  $\text{SO}_2$  pois, pelo mesmo raciocínio anterior, o Brasil estaria emitindo 35 vezes menos  $\text{SO}_2$  à atmosfera do que os Estados Unidos da América do Norte, onde a legislação pertinente a emissões é similar à brasileira.

### 1.2.2 - O Diagnóstico Atmosférico

Diagnosticar o meio atmosférico significa, em linhas gerais, dar-lhe contorno definido e, dentro deste contorno, medir, examinar, comparar, avaliar e, finalmente, traduzir em vocábulos simples e claros como se encontra o "paciente" em seu estado geral de saúde ambiental, enfocando alguma deficiência, ponto de resguardo e também cuidados, se for o caso, a serem tomados.

Assim como em um procedimento médico, havendo ou não indícios de enfermidades, o diagnóstico do estado de saúde é feito mediante uma série de exames e "check-ups", principalmente dos sistemas mais delicados e representativos.



### 1.2.3 - Áreas de Influência

Ao direcionar o diagnóstico, é necessário estabelecer-se critérios para definição dos limites do contorno do estudo, que será focado sob dois prismas: área de influência direta e área de influência indireta, vinculados, de certa maneira, com os padrões primários e secundários da qualidade do ar, da RESOLUÇÃO CONAMA Nº 003.

#### - Área de Influência Direta

Definiremos como área de influência direta aquela em que podem ser observados efeitos sobre a saúde pública; via de regra, isto ocorre pela ação direta dos agentes encontrados no meio em estudo, os quais podem ser diretamente relacionados com um dado empreendimento. Em um segundo plano, atemporal, vincula-se ao aspecto de distâncias alcançadas por estes agentes objetos do estudo e que, pela ação direta ou indireta, levam a valores de concentração máximos, associados a possíveis efeitos agudos de maior ou menor intensidade, permitindo inclusive relacionar efeitos e causas. Para este trabalho, admitimos que a área de influência direta seja um quadrado de 20 km de lado, centrado na UTPM (equivaleria a um raio de 10 km centrado no local onde estão instaladas as usinas de Candiota.)

É plausível supor que as ações e seus efeitos mais significativos sejam observáveis ao nível do solo.

#### - Área de Influência Indireta

Por área de influência indireta, entendemos aquela externa à área de influência direta, mas circunscrevendo-a, onde ainda podem ser verificados efeitos sobre a saúde pública, mas agora com enfoque mais significativo na proteção do bem-estar público. Além disto, nesta área, as distâncias não são preponderantes, mas sim o aspecto temporal, podendo ser pinçados no tempo os efeitos crônicos e possíveis sinergismos positivos ou negativos. Neste estudo, a área de influência indireta é toda a área da malha de estudo, ou seja, um quadrado de 60 X 60 km de lado, centrado na UTPM.

Também neste âmbito indireto, não é fácil vincular diretamente agentes no meio a uma fonte emissora específica.

### 1.2.4 - Elementos do Diagnóstico Atmosférico

Sob o enfoque atmosférico, deve-se considerar fundamentalmente a constituição da atmosfera, dos elementos representativos presentes, seus desvios da normalidade, seus comportamentos dinâmico e termodinâmico.

Assim, inicialmente será feita uma caracterização climatológica da região segundo normas vigentes, e com os dados disponíveis e confiáveis.

#### - Clima da Região de Candiota

Os dados registrados em Bagé e Candiota indicam variações bastante grandes de temperatura entre o inverno e o verão. No inverno, as mínimas chegam próximas a  $-4^{\circ}\text{C}$  e, no verão, podem atingir máximas de  $40^{\circ}\text{C}$ . A média anual de temperatura, mesmo com tão pronunciada diferença entre verão e inverno, situa-se em  $17,2^{\circ}\text{C}$ .



De acordo com a classificação Köppen, o clima da região de Candiota pode ser considerado do tipo Cfa - chuvoso com inverno frio e verão quente, precipitações pluviométricas durante o ano inteiro, mais pronunciadas entre julho e outubro.

As umidades relativas médias são de 73% e 83% no verão e inverno respectivamente, com insolação média aproximada de 2440 horas por ano. A média anual de precipitações pluviométricas fica em torno de 1400 mm.

Os ventos predominantes são os que sopram do leste, nordeste e sudeste que, somados, representam 60% da frequência anual. Os ventos que sopram do noroeste apresentam a menor frequência anual, com 4% do total.

É no outono e verão que se observa a maior incidência de calmarias, com aproximadamente 5% das observações, enquanto que na primavera e inverno elas praticamente não ocorrem.

A velocidade média dos ventos das três direções predominantes (leste, nordeste e sudoeste) é de aproximadamente 4 m/s ao longo do ano, sendo a velocidade média anual (todas as direções) de 3,8 m/s.

Além disto, é nesta região que se verificam as mais altas velocidades máximas de vento do Brasil. Segundo norma brasileira da ABNT, a velocidade máxima do vento, para período de referência de 50 anos, é de 158 km/h.

#### - Variáveis Meteorológicas

A seguir são arroladas as variáveis meteorológicas que, com tratamento estatístico nas suas inter-relações, através de seus valores médios, frequências, variações e distribuição geográfica, compõem a climatologia.

Como variáveis significativas da meteorologia física e obtidas com dados históricos, temos:

- ventos;
- temperaturas;
- chuvas;
- evaporação;
- insolação e
- umidade relativa.

Deve-se também efetuar uma comparação mesoclimática entre a cidade de Bagé e a região de Candiota para a avaliação de eventuais mudanças ou desvios.

É lamentável, entretanto, que algumas informações ainda sejam pouco conhecidas. Uma destas informações é relativa à inversão térmica, quando ocorre, com que frequência, duração, em que altura e, em segundo lugar, qual o tipo de perfil de temperatura que se estabelece.

A UFSM, nas suas campanhas realizadas em Candiota, obteve algumas informações sobre a Camada Limite Planetária, mas, mesmo estas, são sobre poucas observações.

Igual tratamento poder-se-ia dar à variação da pressão atmosférica, associada à ocorrência de outros fenômenos e variáveis meteorológicas.

### 1.3 - Avaliação dos Parâmetros Meteorológicos

De maneira simples, abstraindo-se os quimismos no ar, considera-se que a atmosfera é o meio de transporte para ligar os poluentes aos receptores.

Assim sendo, só isto já justifica o conhecimento da atmosfera mediante a avaliação de seus parâmetros pois, para uma fonte contaminadora de intensidade conhecida, os movimentos atmosféricos determinam a frequência, duração e concentração dos poluentes a que estarão expostos os possíveis receptores.

Por outro lado, a meteorologia apenas pode contribuir para a eliminação ou redução da poluição do ar, já que não influi na intensidade da fonte emissora e, até o presente, os processos atmosféricos que determinam a dispersão de emissões na atmosfera escapam da interferência humana.

Portanto, as contaminações só podem ser minimizadas pelos seguintes métodos:

- a) impedindo a produção dos contaminantes;
- b) instalando equipamentos adequados para capturar os contaminantes em sua origem e
- c) facilitando sua dispersão na atmosfera.

Já que se admite que, para minimizar ou eliminar a poluição da atmosfera, o essencial é regular a emissão dos agentes contaminantes, o problema prático que se coloca fica reduzido a saber o custo de uma redução dos agentes contaminantes em um grau que possa ser considerado satisfatório e economicamente sustentável.

Dada uma fonte de intensidade conhecida, este grau de redução depende diretamente das condições atmosféricas locais e suas variações no tempo e no espaço.

Os parâmetros fundamentais que regem o transporte e dispersão dos poluentes na atmosfera podem ser qualitativa e semiquantitativamente avaliados, e estas informações permitem que se faça comparações entre condições climatológicas de diversas localidades e se determine o processo de difusão atmosférica.

#### 1.3.1 - Meteorologia e Contaminações Atmosféricas

A meteorologia pode ser utilizada de diferentes maneiras para prever as dispersões das contaminações de poluentes da atmosfera, desde a previsão estatística baseada em variações climatológicas até a previsão mediante técnicas analíticas das concentrações de curta duração devido a fonte única, passando pela comparação de duas ou mais zonas para determinação das concentrações prováveis de contaminantes.

Existe também a possibilidade de prever condições meteorológicas favoráveis ou desfavoráveis e de grande duração para extensas regiões.

Todavia, para evitar as contaminações atmosféricas intensas, é evidente que não basta prever o aparecimento de condições desfavoráveis; também torna-se necessário tomar medidas de caráter prático.

Aproxima-se o tempo em que será possível prever com razoável precisão as concentrações em uma determinada área industrial, na qual se identificam os contaminantes que poderão ser mais perigosos em determinadas concentrações e reduzir seletivamente sua emissão,



evitando assim a formação de concentrações perigosas em zonas predeterminadas, como é o caso das urbanas.

Assim, a meteorologia, apesar de ser uma ferramenta útil, não basta para reduzir em geral os riscos de contaminação; ela deve sim ser parte integrante de qualquer programa para resolver problemas de contaminações atmosféricas, seja em uma fábrica, zona industrial ou até de um país.

### 1.3.2 - Comportamento Climático

Tem-se agora por objetivo caracterizar e analisar as diferenças do comportamento climático da capa-limite atmosférica no município de Bagé, com atenção especial à área do Complexo Termelétrico de Candiota.

Busca-se determinar as relações existentes entre as variações deste comportamento nos diversos pontos de observação (estações meteorológicas), considerando-se as alterações sofridas pelo sítio geográfico em função do processo de urbanização na sede do município de Bagé e as transformações sofridas na paisagem rural com a implantação do Complexo Termelétrico Candiota.

Foi dada especial atenção à caracterização do mesoclima (estudo climatológico em escala local), traçando assim um perfil climático do período para o qual havia registros disponíveis tanto em Bagé como Candiota, observando-se períodos recentes e estatisticamente consistentes.

A análise macroclimática foi feita com base nas informações médias normais da cidade de Bagé, calculadas para o período de 1912-1942 pelo INEMET (Instituto Nacional de Meteorologia). Através de um estudo teórico, a circulação atmosférica regional foi caracterizada e relacionada com as características físicas da superfície.

O estudo mesoclimático foi dividido nas seguintes etapas:

- a - Coleta, tabulação e análise dos dados das Estações Bagé-INEMET e Usina Candiota-CEEE. Em função da consistência dos dados, o período escolhido foi de 10 anos (1973 a 1984). A posição geográfica destas estações é:  
Bagé-INEMET: 31°20' S; 54°06' W Gr; 216 m;  
Usina Candiota-CEEE: 31°28' S; 53°40' W Gr; 250 m.

Elaboraram-se gráficos e diagramas dos elementos observados, com ênfase especial para direção e velocidade do vento.

O estudo das características dessas estações foi baseado na análise comparativa dos dados observados, com a finalidade de identificar e analisar as possíveis variações do comportamento climático da atmosfera local, visando a detectar possíveis relações entre essas variações e as alterações sofridas pelo sítio geográfico em função dos processos de urbanização (Bagé) e da Usina Termelétrica Presidente Médici.

- b - Com a finalidade de um maior detalhamento a nível mesoclimático, a UFRGS instalou e monitorou três estações meteorológicas, situadas em locais previamente definidos que, juntamente com a Estação Usina Candiota, formam a rede de observações:

Antigo Sítio do Hotel Candiota: 31°34' S; 53°41' W Gr; 240 m





Seival: 31°28' S; 53°44' W Gr; 230 m (próximo à Vila Seival),

Candiota III: 31°20' S, 53°44' W Gr; 260 m (junto ao terreno do futuro complexo Candião (2ª, 3ª Máquinas) (Mapa 1.1).

As estações foram aparelhadas com termo-higrógrafo, pluviógrafo, evaporímetro de Piche e anemômetro totalizador, a 2 m de altura. A estação Candiota III possuiu, adicionalmente, um anemógrafo instalado a 7 m de altura.

Para cada estação meteorológica instalada, foi elaborado um diagrama solar de grande utilidade de caracterização do sítio, pois identifica os sistemas (vegetação e construção) na área circundante que agem como obstáculos aos elementos meteorológicos observados. (Figuras 1.4, 1.5, 1.6 e 1.7).

Os gráficos coletados pelos instrumentos registradores foram organizados em tabelas e analisados comparativamente às normais da Estação Usina Candiota.

Também foram obtidos cenários representativos da climatologia local, mediante campanhas de medidas realizadas na região e que constituíam parte de um projeto, fruto de um convênio entre a Universidade Federal de Santa Maria e a CEEE, que constituíram-se os elementos básicos usadas nas simulações das dispersões atmosféricas, adiante descritas e detalhadas.

c - Com relação à análise dos ventos em altitude, o estudo teórico foi calcado em técnicas e artigos já publicados.

Os dados referentes a direção e velocidade do vento em diferentes níveis, relativos a 18 anos de observações (1961 a 1979) no aeroporto de Bagé, foram cedidos pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - São José dos Campos - SP).

Considerando-se a natureza do problema, procurou-se delimitar a escala temporal de forma que, embora reduzida, fosse possível a análise de situações médias diferenciadas. Para evitar situações de circulação atmosférica totalmente atípicas, optou-se pelo "critério pluviométrico" para caracterizar cada ano. Assim, foram escolhidos os anos de 1972 (ano chuvoso), 1976 (ano pluviometricamente normal) e 1978 (ano seco), segundo critérios definidos por Machado (1950) (Figura 1.8).

Os anos escolhidos foram os mais recentes em que ocorreram tais situações. Vale citar que a precipitação normal para a Estação Bagé - INEMET é 1390 mm.

Para o estudo das condições de estabilidade atmosférica de cada um destes anos, foi escolhida uma metodologia de comparação da direção do vento. Os níveis altimétricos escolhidos foram de 600 m (influência do atrito com a superfície diminuído) e 2500 m (capa limite planetária da atmosfera). Comparando-se o ângulo formado pelos azimutes das duas direções nesses níveis, determinou-se casos de advecção quente (atmosfera estável) ou advecção fria (atmosfera instável). Os resultados são apresentados em porcentagem devido à grande quantidade de falhas nas observações.

A importância desta análise para a região se justifica, pois a atmosfera estável não apresenta movimentos ascencionais de ar e, portanto, é favorável a uma maior concentração de poluentes, situação inversa à provocada por uma atmosfera instável.



FUNDAÇÃO  
DE CIÊNCIA  
E TECNOLOGIA

No Mapa 1.1, elaborado pelo Grupo Clima do Centro de Ecologia da UFRGS, estão localizadas as estações meteorológicas da área em estudo.

FIGURA 1.4 - DIAGRAMA SOLAR DA ESTAÇÃO USINA CANDIOTA

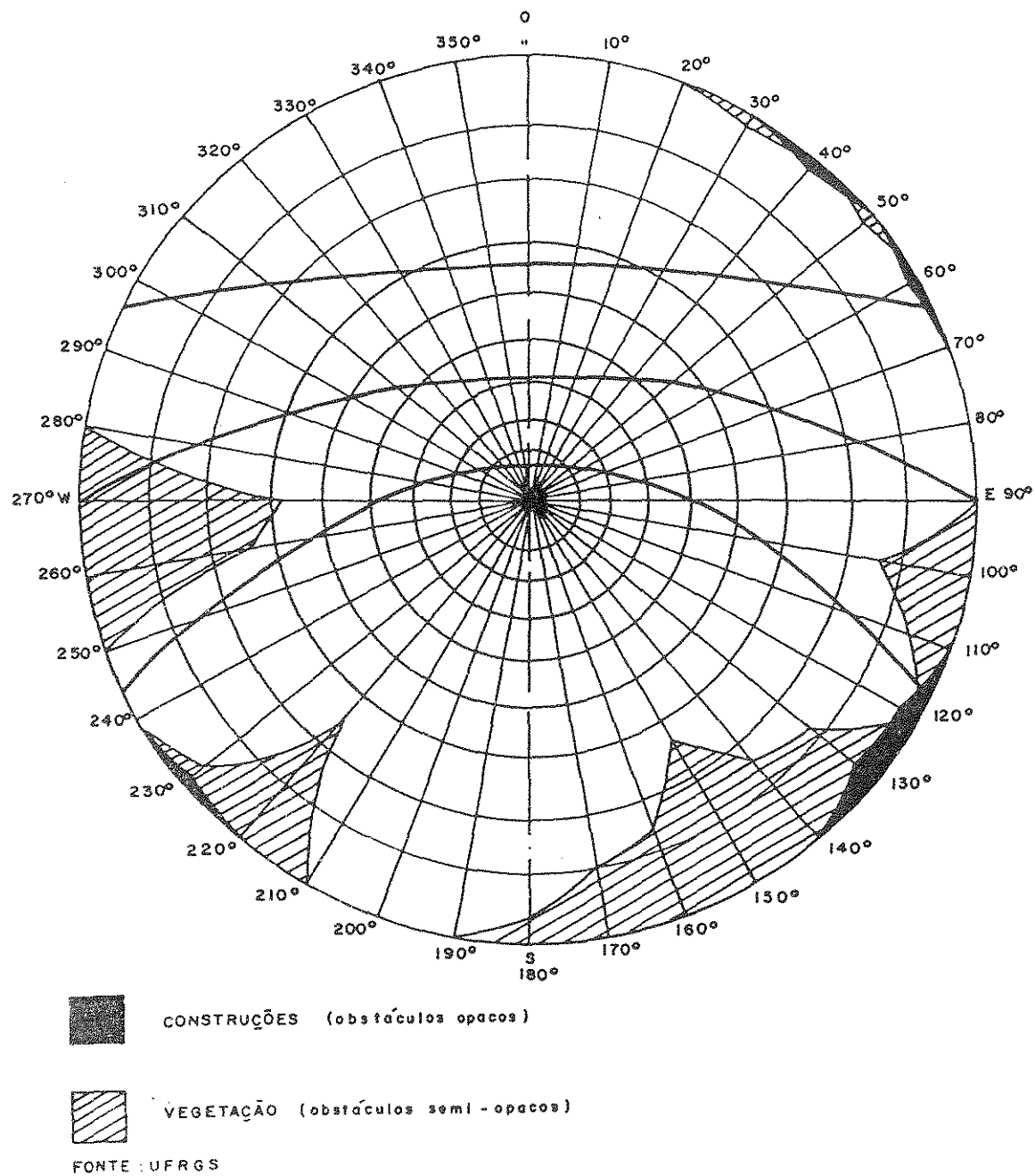
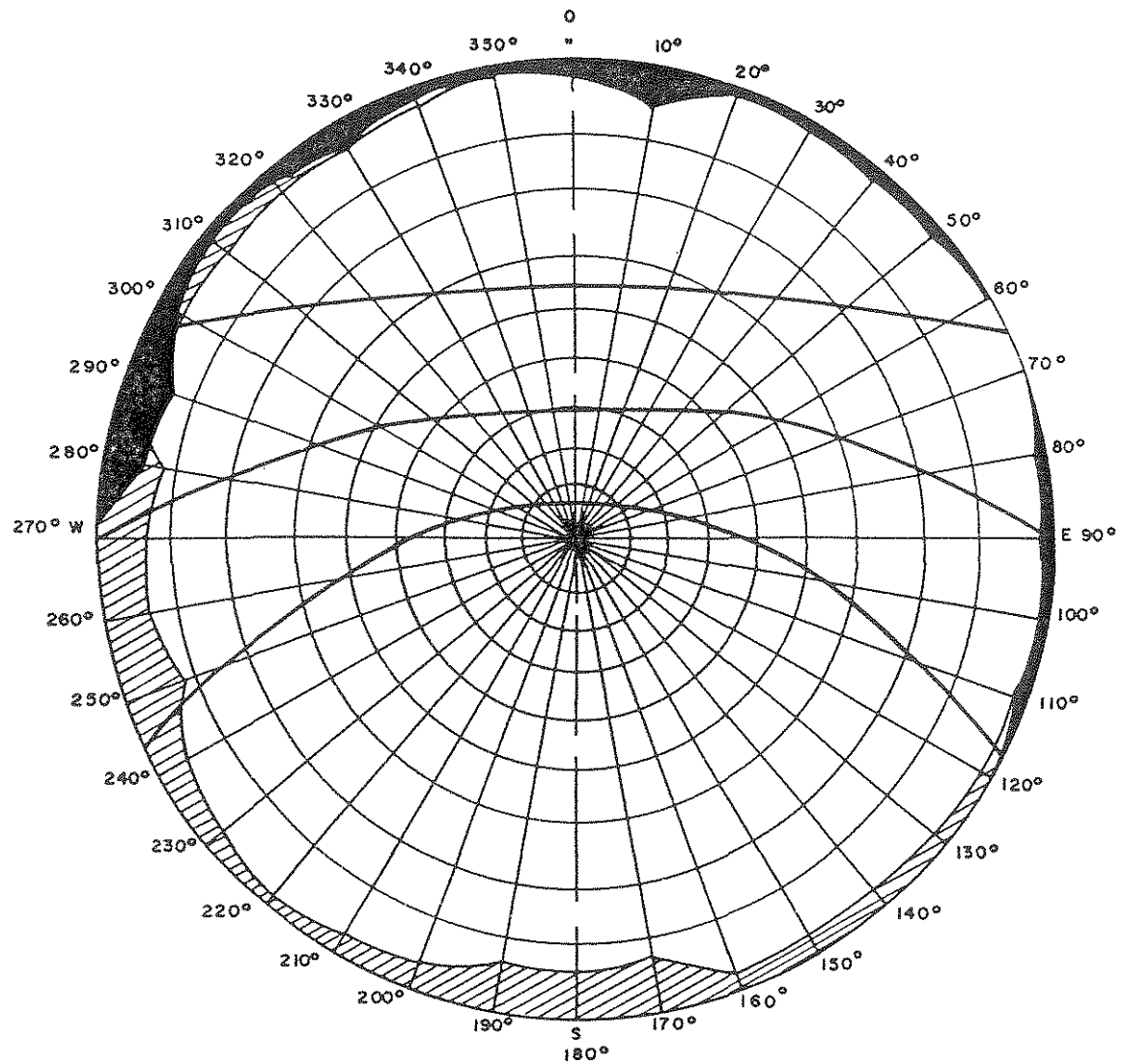


FIGURA 1.5 - DIAGRAMA SOLAR DA ESTAÇÃO HOTEL CANDIOTA



CONSTRUÇÕES (obstáculos opacos)



VEGETAÇÃO (obstáculos semi-opacos)

FONTE: UFRGS

FIGURA 1.6 - DIAGRAMA SOLAR DA ESTAÇÃO SEIVAL

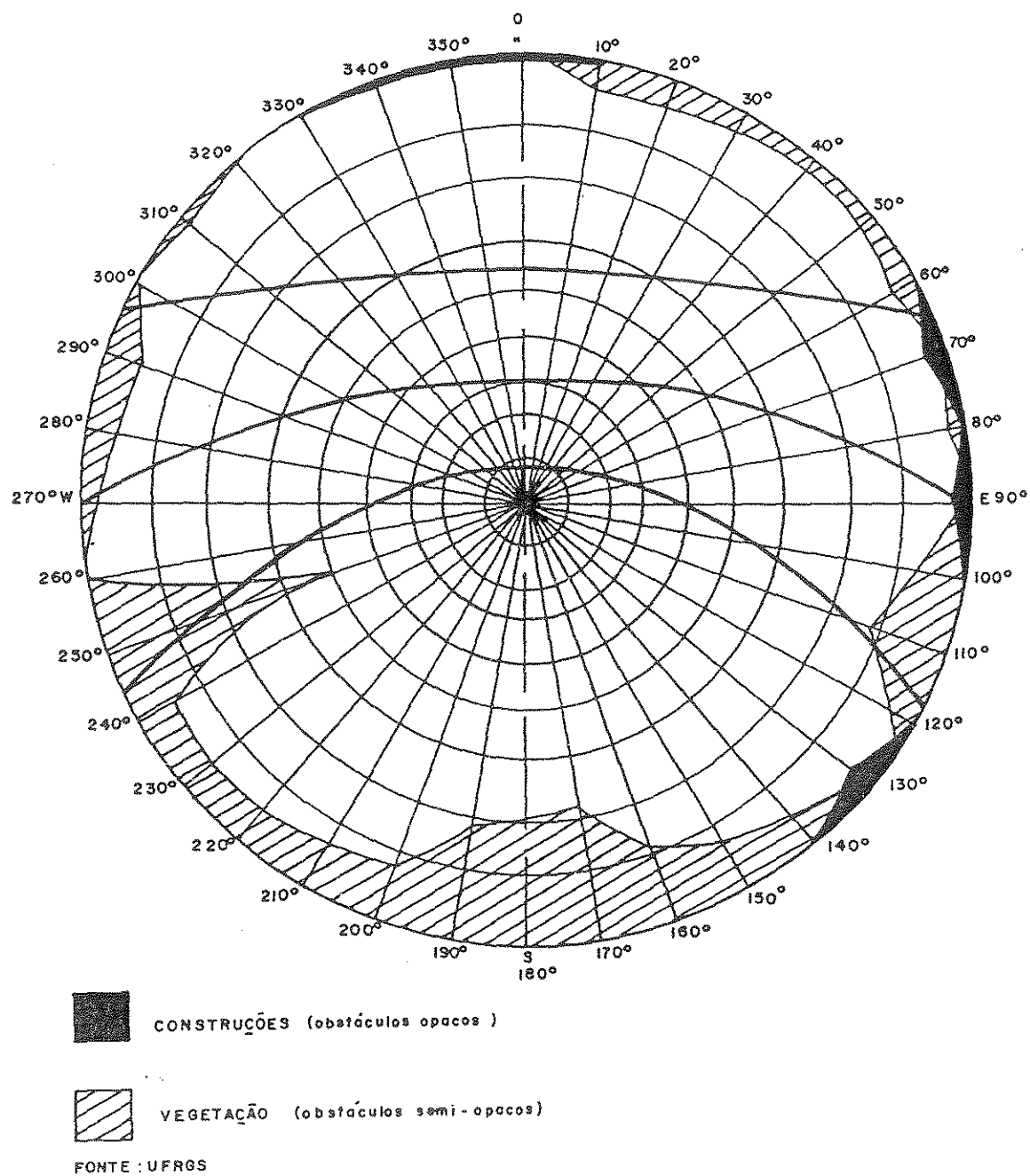
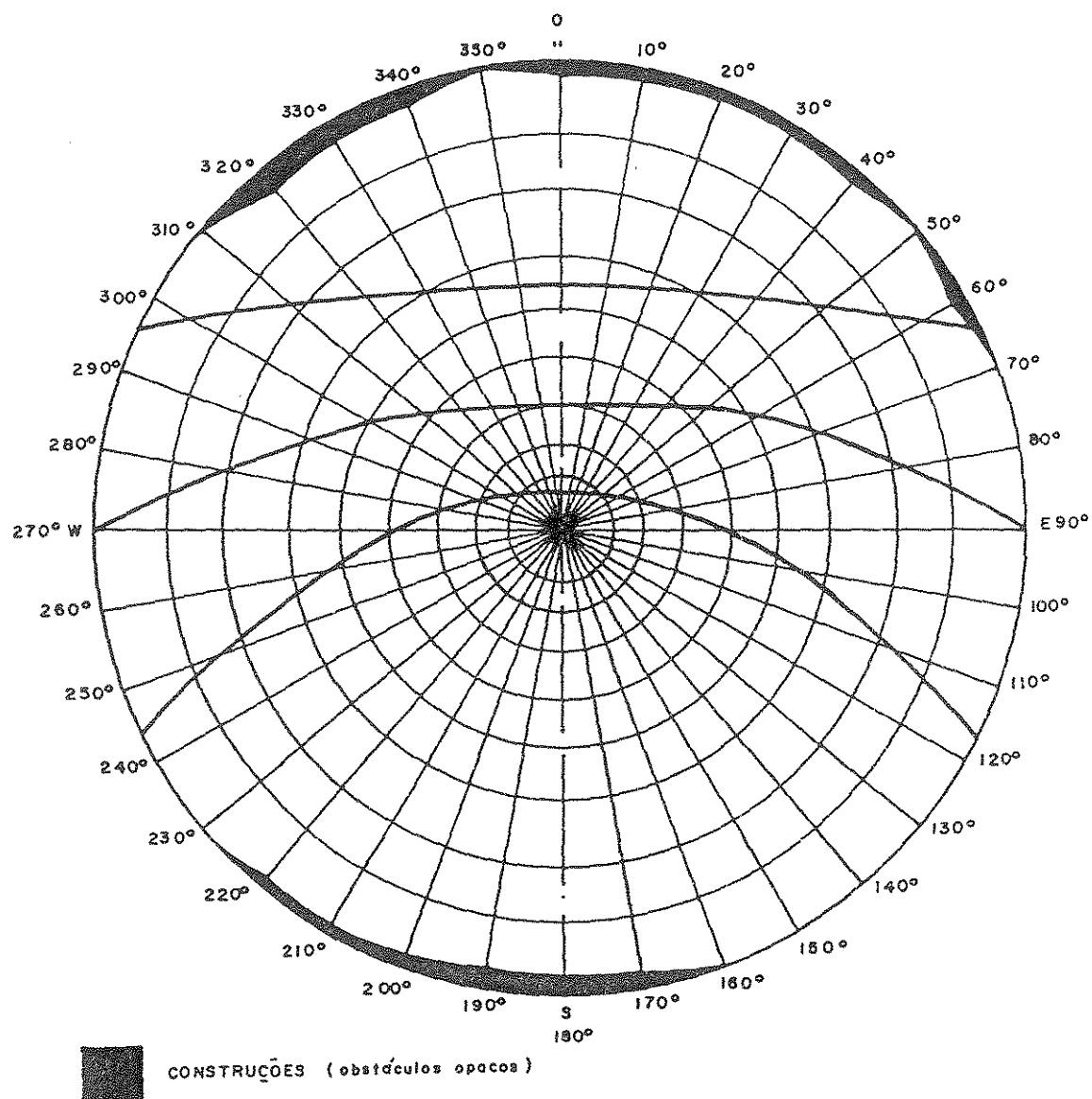
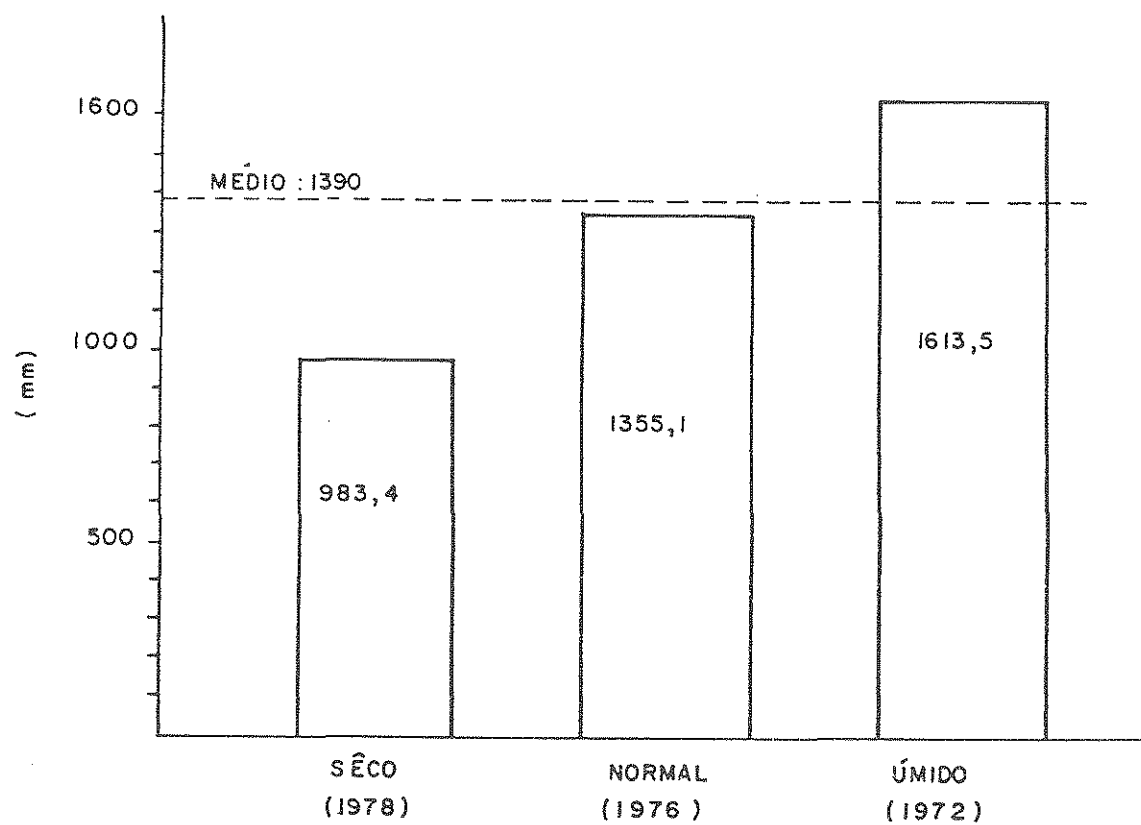


FIGURA 1.7 - DIAGRAMA SOLAR DA ESTAÇÃO CANDIOTA III

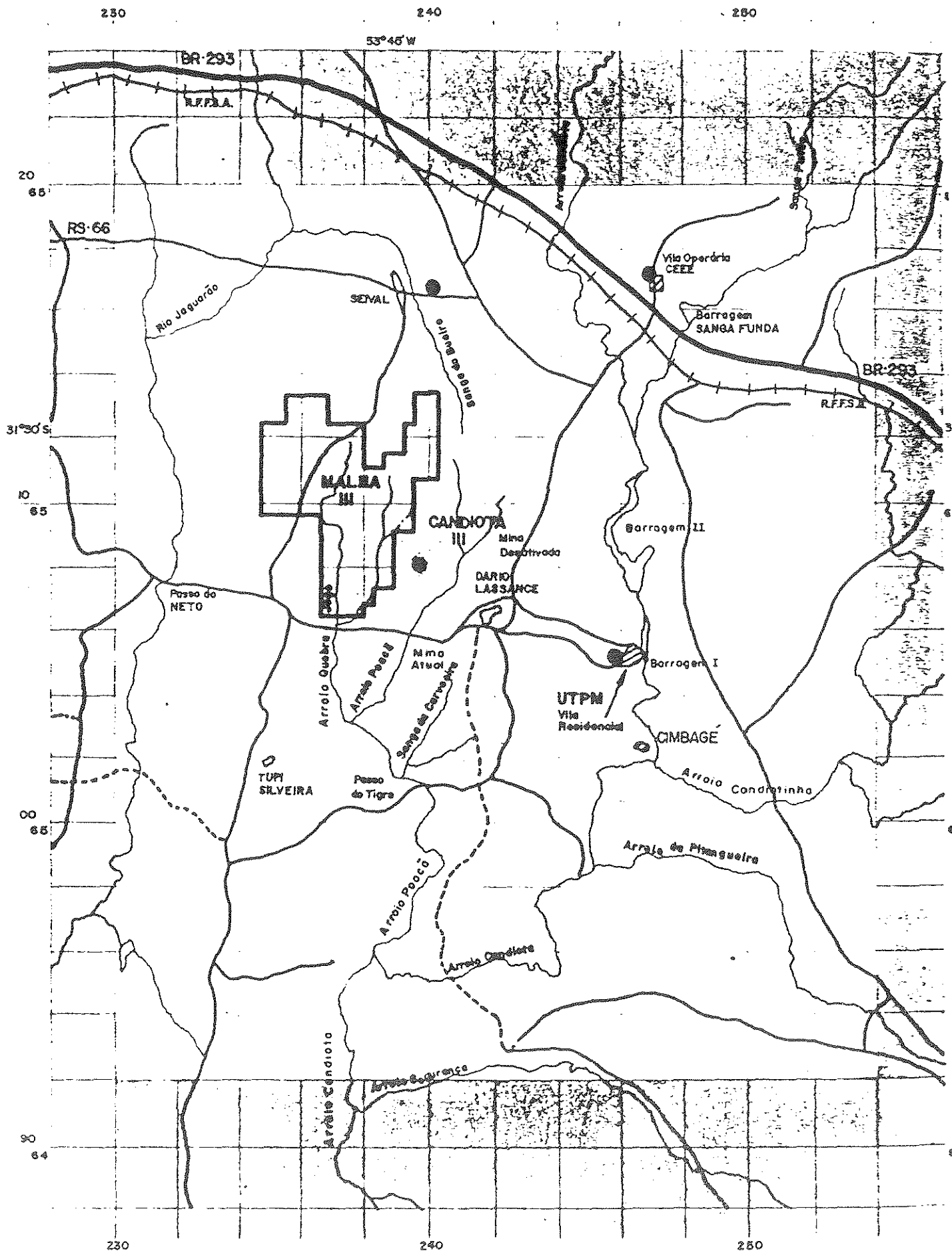


FONTE: UFRGS

FIGURA 1.8 - PRECIPITAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS TÍPICAS



Fonte : INPE / INEMET



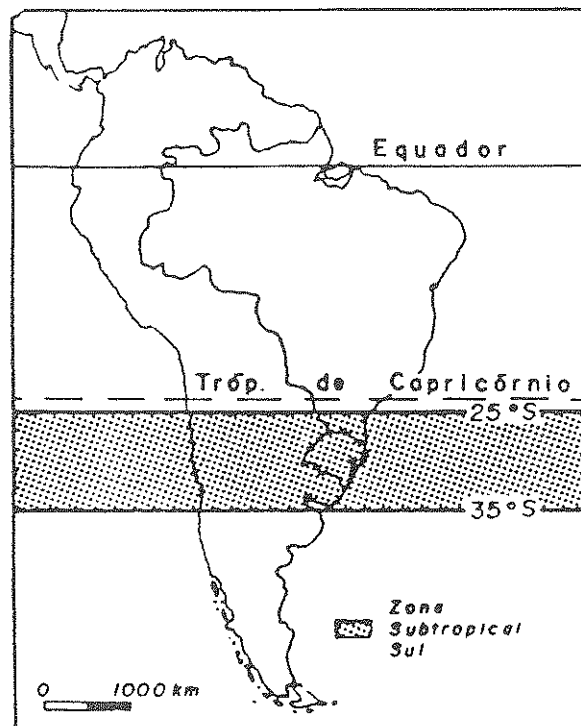
MAPA I.1 - ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS

ESCALA 1:160 000



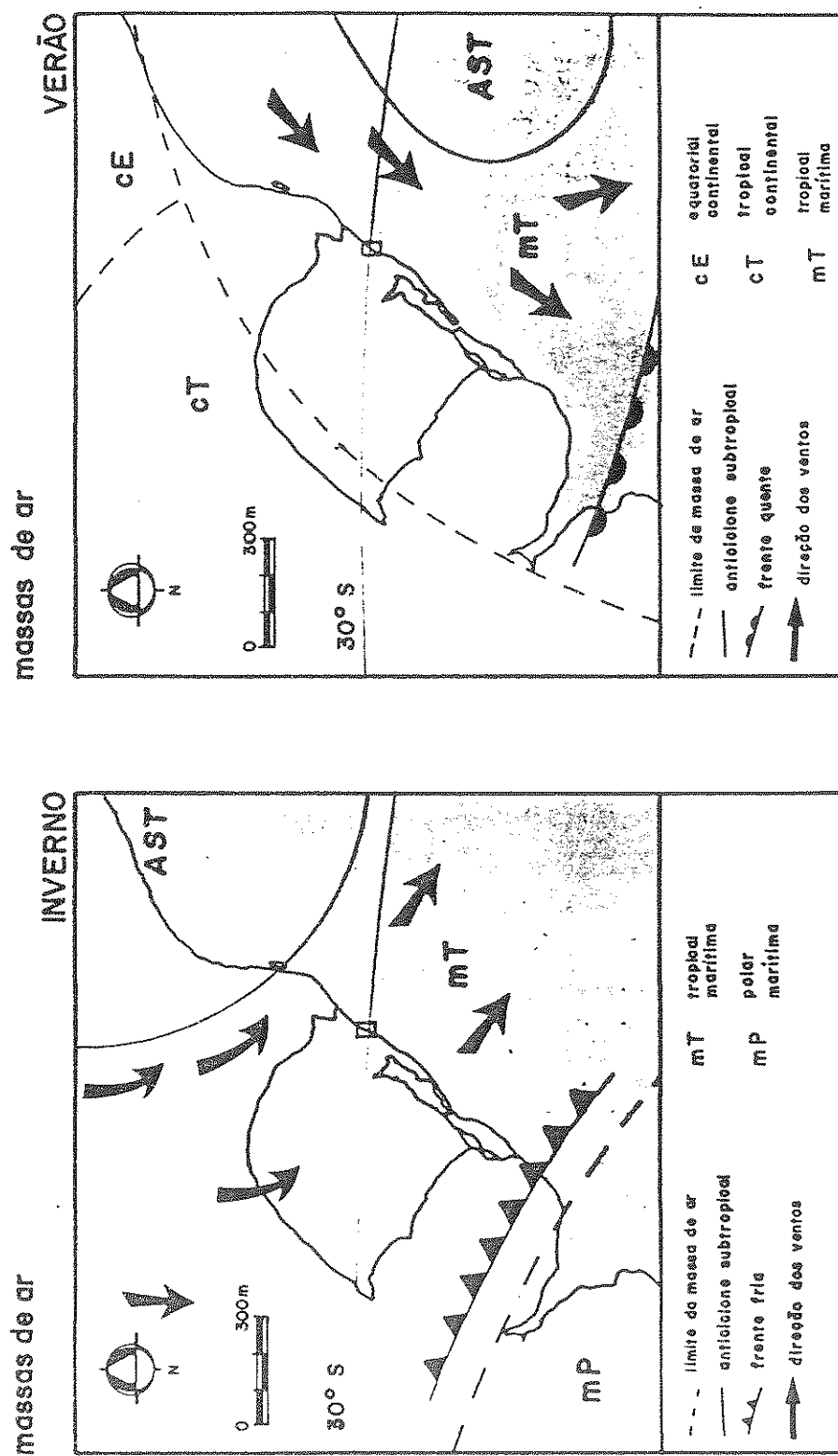
## MAPA 1.2

Mapa de localização da zona sub-tropical sul e do RS na América do Sul



Fonte : UFRGS

MAPA 1.3





### - Variedade Climática

A variedade climática, segundo o sistema taxonômico Köppen-Geiger, é "Cfa". Esta diferencia-se por apresentar temperaturas médias compreendidas entre 3°C e 18°C para o mês mais frio, e superiores a 22°C para o mês mais quente, com a precipitação bem distribuída durante o ano e totais anuais superiores a 1200 mm.

A originalidade deste tipo climático é a disponibilidade atmosférica de água precipitável, resultado da influência oceânica (fachada oriental do continente) e da convergência atmosférica de médias latitudes que intermitentemente afeta a região. Isto caracteriza uma ausência, em termos normais, de época seca.

### - Pluviometria

A média normal pluviométrica de Bagé é 1285,6 mm/ano, indicando como meses pouco chuvosos, novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março sem, contudo, serem considerados secos, já que a chuva térmica não ultrapassa a das precipitações no diagrama climático. Os meses de abril, maio, junho, julho, agosto, setembro e outubro são mais chuvosos, caracterizando períodos úmidos, com precipitação mensal superior a 100 mm (Figura 1.9).

É verdade que periodicamente podem ocorrer estiagens (meses com o predomínio excepcional de massas de ar tropical continental), uma vez que o clima é essencialmente dinâmico, mas este fato é completamente descaracterizado pelas normais e médias.

### - Temperatura

A temperatura média na Estação Meteorológica de Bagé, neste mesmo período, é de 18 °C, sendo janeiro o mês mais quente, com 24,2 °C, e julho, o mais frio, com 12,2 °C. A temperatura máxima absoluta foi de 41 °C em janeiro e a mínima absoluta atingiu -4,3 °C em julho (Figura 1.10).

Conforme a Figura 1.9, verifica-se que o período mais quente compreende o fim da primavera e o verão, e o período mais frio estende-se entre o final do outono e o inverno, quando é comum a ocorrência de geada nos meses de junho, julho, agosto e setembro.

Também neste período é comum o fenômeno meteorológico denominado "ondas de frio", caracterizadas pelo declínio das temperaturas máximas em 10 °C em um período de 24 h e por temperaturas mínimas de zero a 3 °C em 48 h, com duração de 3 a 9 dias (Rocha, 1986). Geralmente, estas ondas de frio são causadas pela penetração da massa polar marítima em trajetória continental, pelo sudoeste do Estado. Quando a invasão da massa se processa com grande rapidez, é acompanhada pela queda brusca da temperatura e por um vento frio e seco do quadrante oeste (vento minuano).

### - Ventos

Os ventos predominantes na região são do nordeste, nos meses de maio e agosto, quando a velocidade média é de 2,5 m/s.

### - Insolação

A altura solar é máxima em dezembro, quando forma um ângulo de 82°06' sobre o plano do horizonte local, ao meio-dia verdadeiro, e a mínima, em julho, formando um ângulo de 35°14' com a superfície ao meio-dia local. Aos maiores ângulos solares correspondem maiores

períodos de insolação e, em tais condições, a insolação, além de ser mais intensa, é mais duradoura, teoricamente, na dependência da nebulosidade.

#### **- Umidade Relativa e Evaporação**

A umidade relativa do ar é um pouco mais elevada no inverno, em consequência das temperaturas inferiores nesta estação, já que tanto a massa mT quanto a mP possuem elevado teor de umidade (Figura 1.9). A massa mT é, entretanto, mais úmida em função de sua temperatura mais elevada.

De forma contrária, a evaporação é maior nos meses de verão, quando a insolação é máxima, e menor nos meses de inverno, mas não chega a caracterizar-se um deficit hídrico porque a precipitação é suficiente o ano todo (Quadro 1.2).

Com relação ao estudo macroclimático, entende-se que a análise atingiu os objetivos propostos. Foi feita a caracterização da área com base nas condições meteorológicas de Bagé, relacionadas com a circulação geral da atmosfera e características físicas da superfície.

QUADRO 1.2 - Elementos do clima da Estação Meteorológica de Bagé - INEMET: 1912-42

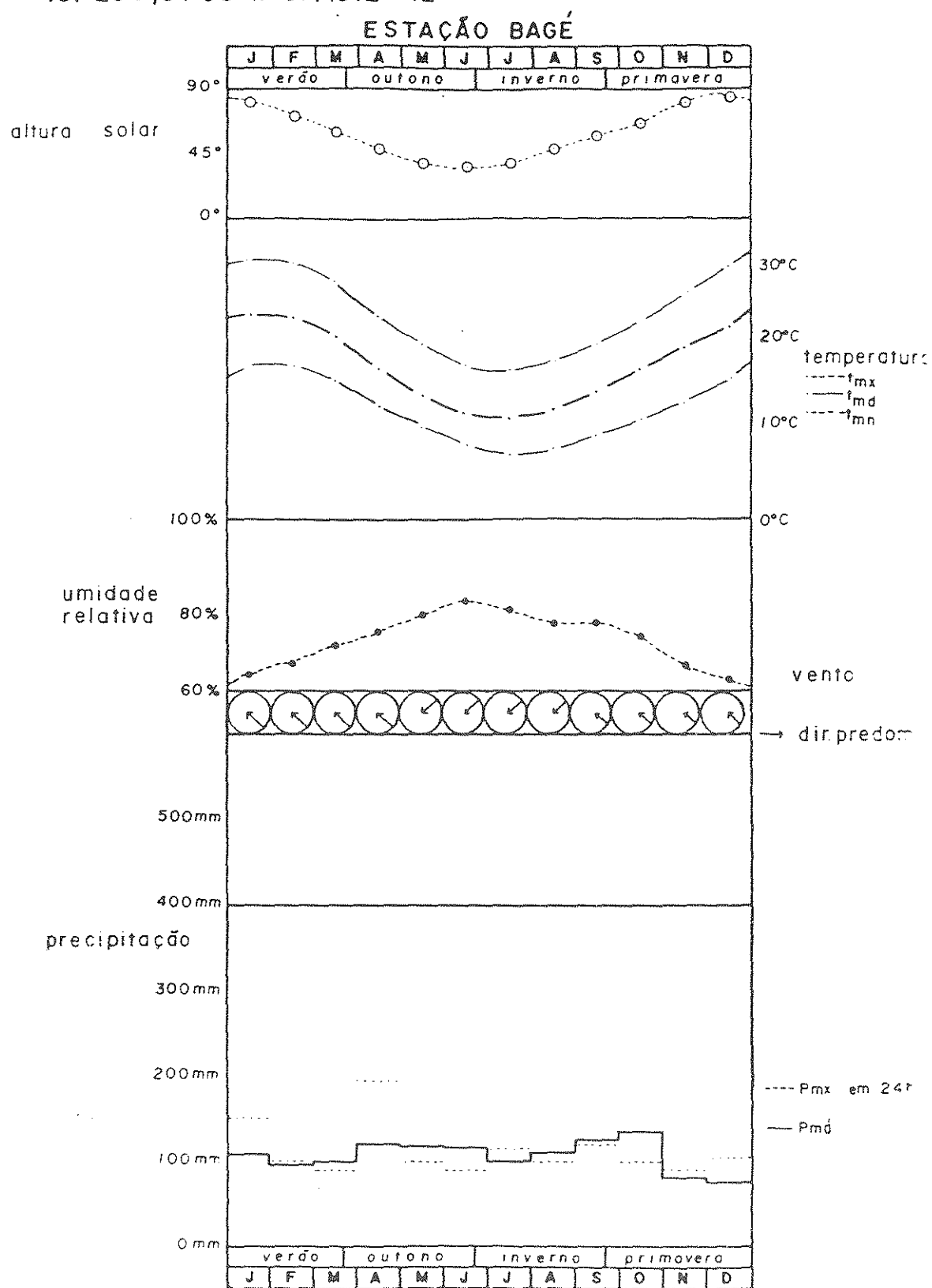
Estação Meteorológica: Bagé      Coordenadas: 31°20'S    54°06'W GR      Alt.: 216 m

Município: Bagé      Período: 1931 -1960      1912 - 42 (Vento e Geada)

| MESES | PRESSÃO<br>ATMOSFERICA<br>(mb) | TEMPERATURA (°C) |                          |                      |            |            | PRECIPITAÇÃO<br>(mm) |                    | EVAPO-<br>RAÇÃO<br>TOTAL<br>(mm) | UMIDA-<br>DE RELA<br>TIVA<br>(%) | INSOLA-<br>ÇÃO<br>TOTAL<br>(HORAS E<br>DÉCIMOS) | NEBULOSI-<br>DADE<br>(0-10) | VENTO<br>(m/s)     |               | GEADA<br>(Nº DE<br>DIAS) |
|-------|--------------------------------|------------------|--------------------------|----------------------|------------|------------|----------------------|--------------------|----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------|--------------------|---------------|--------------------------|
|       |                                | MÊ<br>DIA        | MÊ<br>DIA<br>DAS<br>MÁX. | MÉDIA<br>DAS<br>MÍN. | MÁX<br>ABS | MÍN<br>ABS | NORMAL               | MÁX.<br>EM<br>24 h |                                  |                                  |                                                 |                             | DIREÇÃO<br>PREDOM. | VEL.<br>MÉDIA |                          |
| JAN   | 987,0                          | 24,2             | 30,7                     | 18,0                 | 41,0       | 7,6        | 07,6                 | 153,5              | 169,2                            | 64,4                             | 252,7                                           | 4,2                         | SE                 |               |                          |
| FEV   | 987,5                          | 23,5             | 29,9                     | 17,8                 | 39,6       | 7,3        | 95,8                 | 104,8              | 132,5                            | 67,4                             | 219,2                                           | 4,2                         | SE                 | 2,3           | 0                        |
| MAR   | 989,2                          | 21,7             | 28,0                     | 16,7                 | 39,2       | 6,5        | 97,2                 | 89,9               | 122,4                            | 71,7                             | 218,5                                           | 4,3                         | SE                 |               |                          |
| ABR   | 991,6                          | 17,8             | 23,8                     | 13,1                 | 35,6       | 1,7        | 20,3                 | 195,2              | 86,3                             | 74,8                             | 187,5                                           | 4,2                         | SE                 |               |                          |
| MAI   | 999,2                          | 14,8             | 20,6                     | 10,9                 | 31,0       | 0,1        | 19,8                 | 100,3              | 69,7                             | 77,9                             | 166,9                                           | 4,7                         | NE                 | 1,9           | 3                        |
| JUN   | 993,5                          | 12,9             | 18,0                     | 9,0                  | 28,6       | -2,1       | 19,1                 | 93,0               | 58,3                             | 81,6                             | 134,3                                           | 5,4                         | NE                 |               |                          |
| JUL   | 994,3                          | 12,2             | 17,7                     | 8,3                  | 30,3       | -4,3       | 03,6                 | 117,4              | 67,4                             | 79,0                             | 159,8                                           | 4,9                         | NE                 |               |                          |
| AGO   | 993,4                          | 13,3             | 19,2                     | 8,8                  | 32,0       | -2,0       | 12,1                 | 105,0              | 87,9                             | 76,0                             | 168,8                                           | 4,7                         | NE                 | 2,2           | 16                       |
| SET   | 992,2                          | 14,9             | 20,7                     | 10,2                 | 39,4       | -0,1       | 24,9                 | 121,2              | 90,9                             | 76,4                             | 169,6                                           | 5,4                         | SE                 |               |                          |
| OUT   | 990,8                          | 17,5             | 23,4                     | 12,4                 | 36,4       | 2,5        | 33,7                 | 102,7              | 108,9                            | 73,2                             | 207,7                                           | 4,8                         | SE                 |               |                          |
| NOV   | 988,4                          | 20,1             | 26,6                     | 14,2                 | 38,9       | 3,3        | 74,8                 | 90,4               | 137,3                            | 66,7                             | 245,5                                           | 4,1                         | SE                 | 2,5           | 3                        |
| DEZ   | 987,3                          | 22,8             | 29,5                     | 16,4                 | 39,7       | 5,9        | 76,7                 | 108,8              | 168,1                            | 63,6                             | 264,3                                           | 3,8                         | SE                 |               |                          |
| ANO   | 990,7                          | 18,0             | 24,0                     | 13,0                 | 41,0       | -4,3       | 1285,6               | 195,2              | 1298,9                           | 72,7                             | 2394,8                                          | 4,6                         | SE                 | 2,2           | 22                       |

Fonte: INEMET

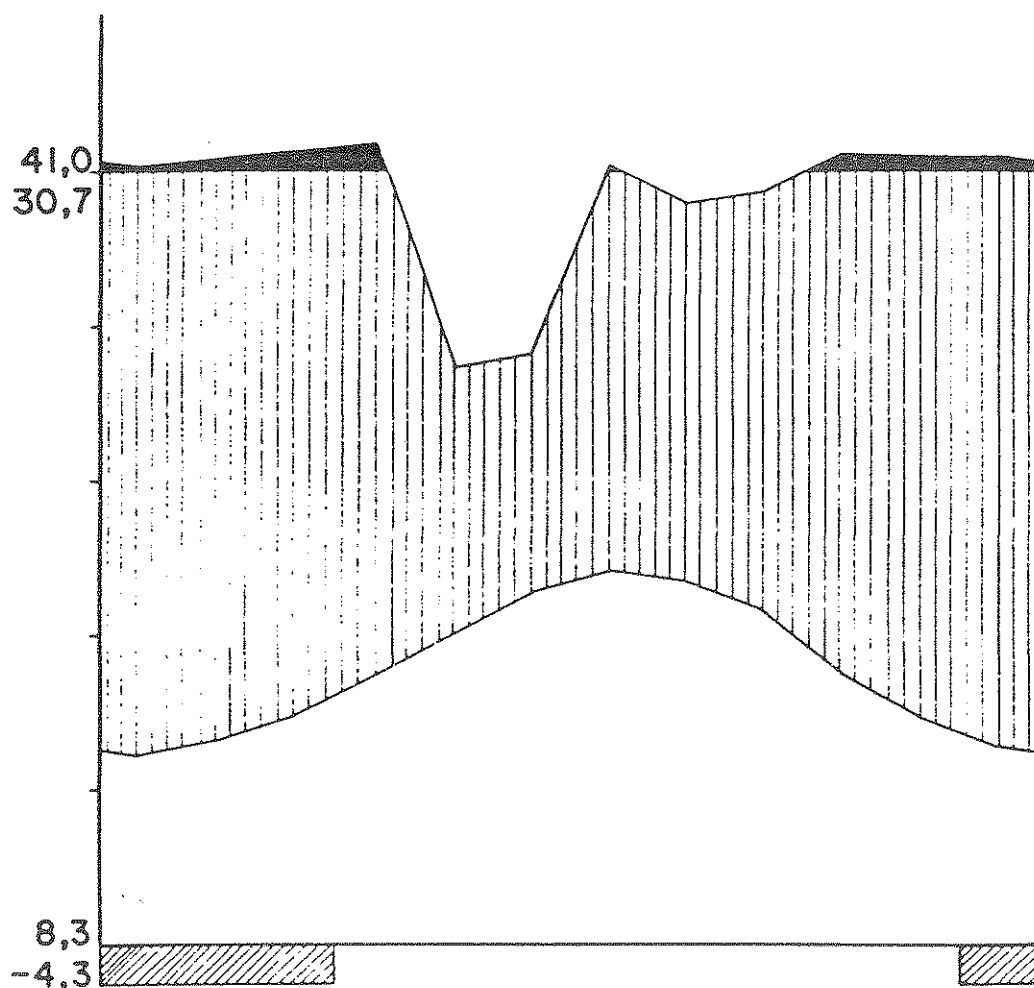
FIG. 1.9 - Gráfico dos elementos do clima da Estação Metereológica de Bagé-INEMET  
(31°20'S;54°06' W Gr) 1912 - 42



Fonte : INEMET

FIG. 1.10 - Diagrama climático (segundo WALTER, 1986) da Estação Meteorológica de Bagé - INEMET (31°20'S; 54°06'W Gr) 1912 - 42

BAGÉ (216m)      18,0°C      1285,6 mm  
(30)



Fonte: INEMET

### 1.3.4 - Caracterização do Mesoclima da Região

O estudo mesoclimático de uma região abrange a comparação dos elementos atmosféricos e do substrato, bem como suas interações em escala local (Rocha, 1986).

Com o prévio conhecimento da dinâmica climática regional (macroclima), o estudo insere-se na análise das características físicas da região que interferem no padrão climático através de particularidades diversas, tais como a presença de uma massa líquida, tipo da cobertura vegetal, presença de obstáculos, etc.

Considerando-se que as características da base da troposfera são consequência da interação entre ela e a superfície terrestre, é possível admitir-se que os processos de urbanização de uma região, modificando as características do seu sítio, influenciam e alteram o comportamento climático da capa-limite local.

As principais alterações provocadas são decorrentes da substituição da superfície natural do solo por revestimentos introduzidos pelo homem, como o asfalto, concreto, granito, etc. Estas modificações do sítio proporcionam uma variação nos balanços térmico e hídrico da área urbana em relação à área rural (Quadro 1.3).

QUADRO 1.3 - Alterações médias nos elementos climáticos decorrentes da urbanização

| ELEMENTO                                | ÁREA URBANA EM COMPARAÇÃO<br>COM ÁREA RURAL |
|-----------------------------------------|---------------------------------------------|
| <b>temperatura do ar:</b> média anual   | 5 a 10°C a mais                             |
| média das mínimas (inverno)             | 10 a 20°C a mais                            |
| <b>velocidade do vento:</b> média anual | 20 a 30% menor.                             |
| rajadas extremas                        | 10 a 20% menor                              |
| calmarias                               | 5 a 20% a mais                              |
| <b>precipitação:</b> total              | 5 a 10% a mais                              |
| dias com menos de 5mm                   | 10% a mais                                  |
| <b>nebulosidade:</b> encoberto          | 5 a 10% a mais                              |
| nevoeiro (inverno)                      | 100% a mais                                 |
| nevoeiro (verão)                        | 30% a mais                                  |
| <b>umidade relativa</b> inverno:        | 2% a menos                                  |
| verão                                   | 8% a menos                                  |

Fonte: Landsberg, 1970



## - Dados Meteorológicos de Bagé e Candiota

Para o estudo mesoclimático da região, foram comparados os dados de duas estações meteorológicas, uma situada no perímetro urbano (Bagé-INEMET) e a outra em área rural (Usina Candiota-CEEE).

Estando as duas relativamente próximas, estão sujeitas à mesma influência sazonal da circulação atmosférica e a idênticos ângulos solares. Tem-se nos dois casos a predominância da massa de ar Tropical Marítimo, no verão, e da massa de ar Polar Marítima, no inverno, sendo o outono e a primavera períodos de transição com a conseqüente entrada na região de massas quentes e úmidas (mT) e massas frias e instáveis (mP) (Quadros 1.4 e 1.5).

Em 10 anos de observações, a temperatura média anual da Estação Candiota foi de 17,2°C, apresentando uma pequena redução em relação à Estação Bagé, que foi de 17,7 °C. Quanto à amplitude térmica, pouca diferença se constata, sendo de 11,1°C para Candiota e de 10,7 °C para Bagé. A média das temperaturas máximas e mínimas em Candiota está em torno de 1°C abaixo das médias da outra estação. A temperatura máxima absoluta e a mínima absoluta na Estação Usina Candiota também apresentam valores mais baixos que os observados na Estação Bagé (Figuras 1.11 e 1.12).

As diferenças de temperatura observadas entre as estações, com valores um pouco elevados na Estação Bagé, localizada junto à área urbana, são conseqüência da natureza do substrato e concentração de prédios com alturas, orientações e formas diversas.

A superfície é aquecida basicamente em função da incidência e absorção solar global. Parte desta radiação será refletida com maior ou menor intensidade, de acordo com a natureza da superfície. A relação existente entre a radiação refletida e a incidente chama-se albedo, a qual dimensiona o poder de reemissão da radiação solar incidente sobre esta mesma superfície.

A seguir, apresentamos o Quadro 1.6 com os valores do albedo para determinadas superfícies em função da radiação solar global

QUADRO 1.6 - Valores do albedo em função da radiação solar global

| TIPO DE SUPERFÍCIE | ALBEDO (%) |
|--------------------|------------|
| prado e campos     | 12 - 30    |
| rochas             | 12 - 15    |
| rochas claras      | 12 - 15    |
| rochas escuras     | 7 - 15     |
| granito            | 12 - 18    |
| áreas urbanas      | 10 - 27    |

Fonte: Strahler, 1977.

FIG. I.11 - DIAGRAMA CLIMÁTICO (SEGUNDO WALTER, 1986) DA ESTAÇÃO  
METEOROLÓGICA DE BAGÉ  
(31° 20'S ; 54° 06' WGr) 1973 - 84

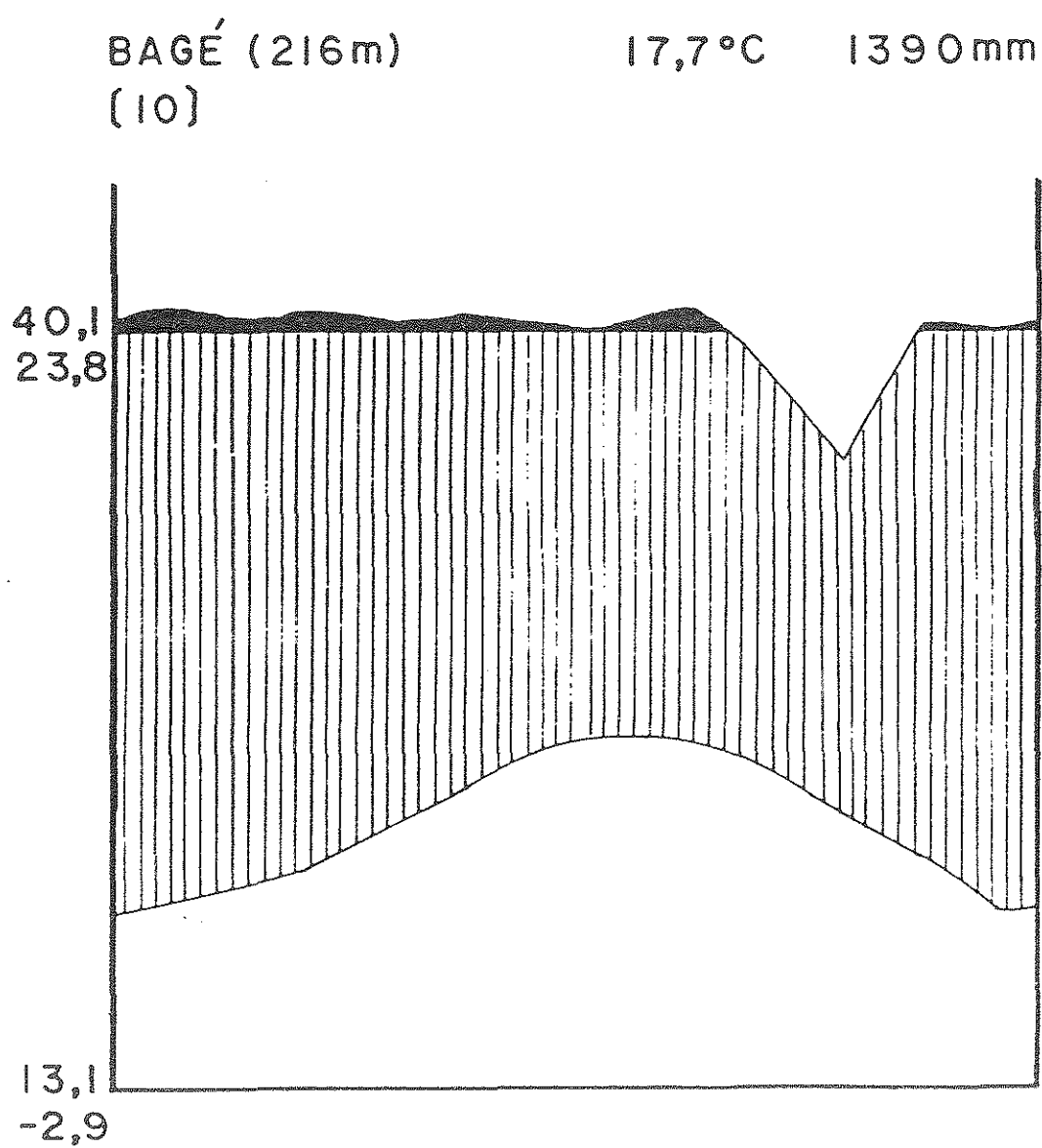
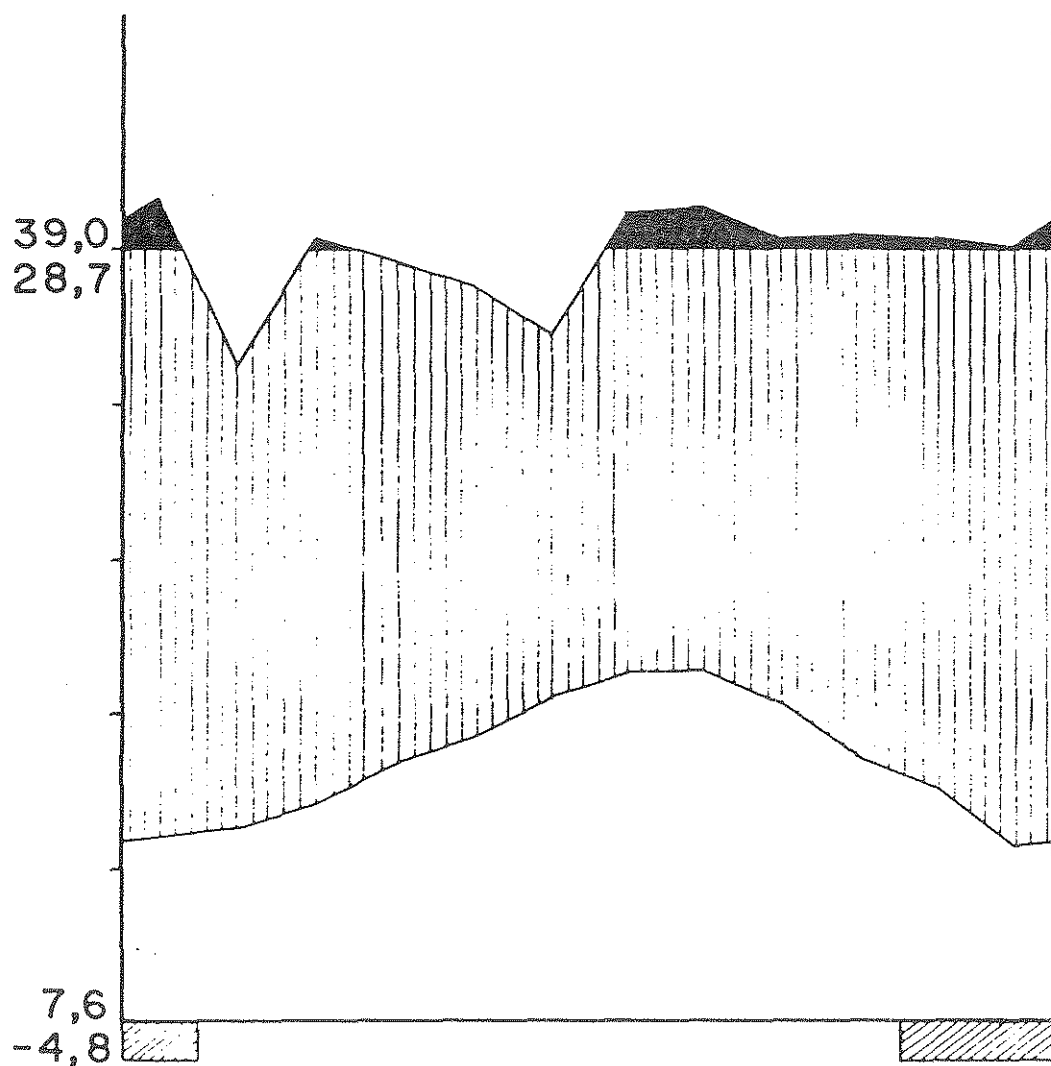


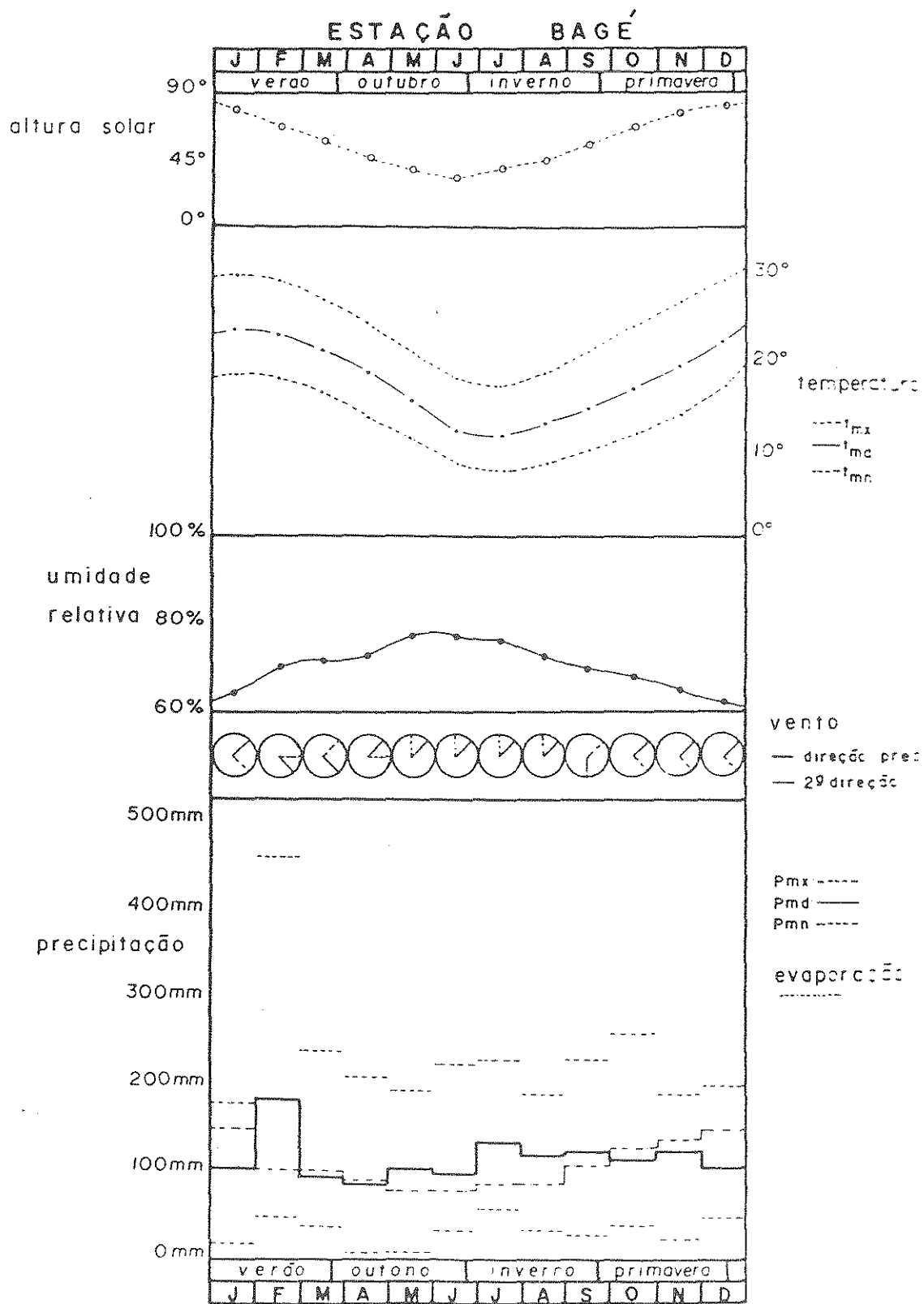
FIG. 1.12 - Diagrama Climático (segundo Walter, 1986) da Estação Usina Candiota  
(31°28'S; 53°40'W Gr) : 1973 - 84

USINA CANDIOTA(150m) 17,2°C 1.404,8mm  
(10)



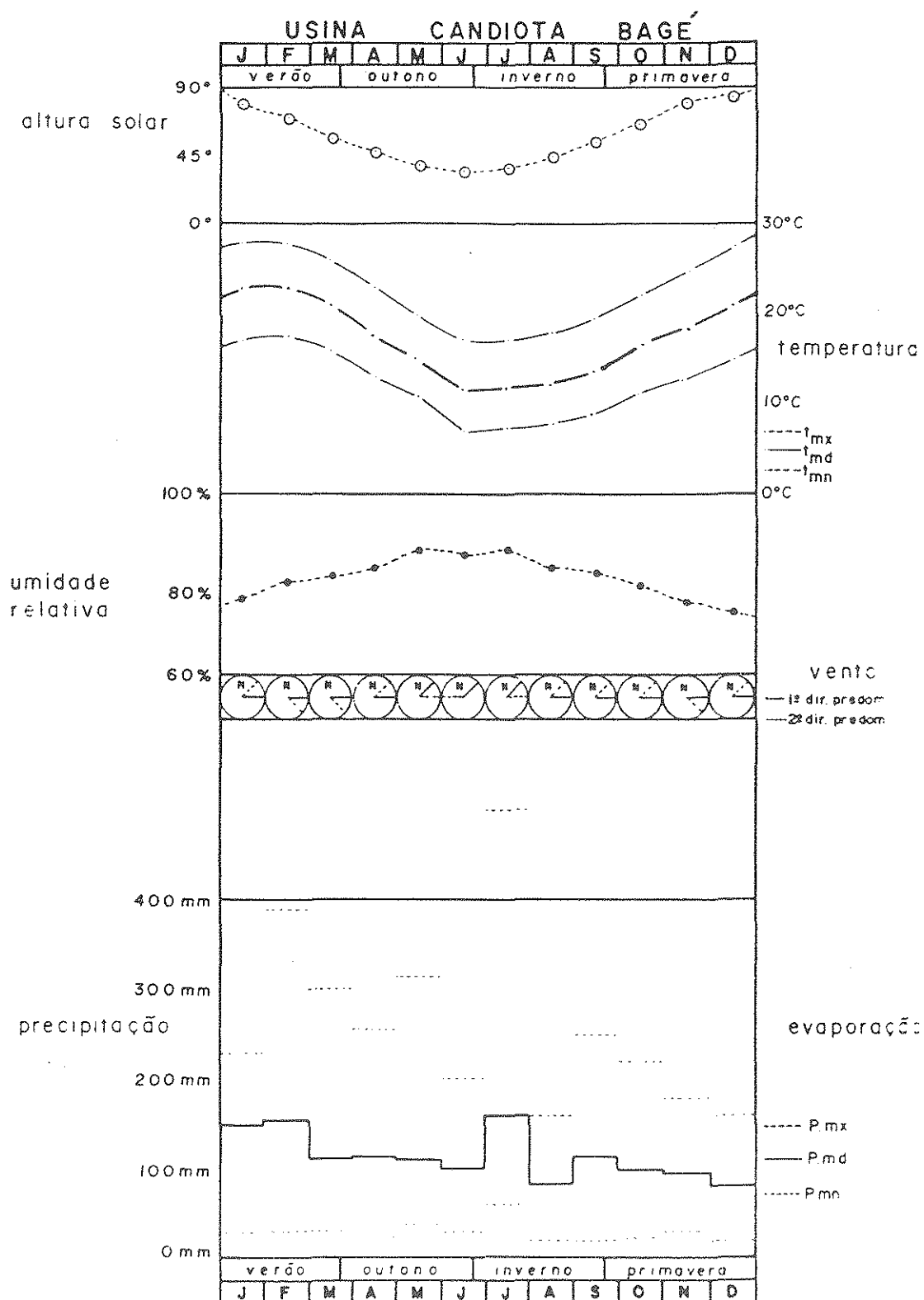
Fonte : UFRGS

FIG. 1.13 - Gráfico dos Elementos do Clima da Estação Meteorológica de Bagé- INEMET : 1973 - 84



Fonte : INEMET

FIG. 1.14 - Gráfico dos Elementos do Clima da Estação Usina Candiota  
(31° 28' S, 53° 40' W Gr): 1973 - 84



Fonte: CEEE



Além de superfícies com albedos diferenciados, atuando nas modificações das características térmicas de cada sítio, tem-se o fato de os materiais das construções absorverem grandes quantidades de calor, que depois é liberado, mantendo o aquecimento do ar local.

As áreas verdes, pela menor capacidade de armazenamento de calor e pela utilização de parte desta energia na evapotranspiração e na síntese orgânica vegetal, fazem com que pouca energia térmica seja liberada, baixando a temperatura nestes locais.

A precipitação, embora um pouco mais elevada em Candiota do que em Bagé, é uniformemente distribuída ao longo do ano, com uma pequena queda na primavera em Candiota, e final da primavera e verão em Bagé, não caracterizando, no entanto, estação seca.

O aumento nos meses de inverno deve-se às incursões freqüentes dos Ciclones Migratórios Polares e das frentes frias a eles associadas.

As chuvas, do tipo frontal, são prolongadas e menos intensas do que no verão, quando predominam as precipitações do tipo convectivo, intensas e de curta duração (Figuras 1.13 e 1.14).

A evaporação anual, em torno dos 1300 mm nos dois locais, é um pouco mais alta na Estação Candiota, uma vez que a substituição do solo natural por superfícies pavimentadas nos núcleos urbanos tende a impermeabilizar a superfície, gerando, em consequência, uma menor evaporação, já que a água da chuva escoar rapidamente pelos sistemas de drenagem urbanos.

QUADRO 1.4 - Elementos do clima da Estação Meteorológica de Bagé - INEMET: 1973-84

Estação Meteorológica: Bagé

Coordenadas: 31°20'S 54°06' W Gr Alt.: 216 m

Município: Bagé

Período de observação: 10 anos entre 1973 e 1984

| ELEMENTO<br>MÊS | ALTURA<br>SOLAR | MASSA<br>DE AR | TEMPERATURAS<br>(°C) |                      |                      |              |              | PRECIPITAÇÕES<br>(mm) |               |               |               | EVAPO-<br>RAÇÃO<br>(mm) | UMIDADE<br>RELA-<br>TIVA<br>(%) | VENTO         |                |            |
|-----------------|-----------------|----------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------|--------------|-----------------------|---------------|---------------|---------------|-------------------------|---------------------------------|---------------|----------------|------------|
|                 |                 |                | MÉDIA                | MÉDIA<br>DAS<br>MÁX. | MÉDIA<br>DAS<br>MÍN. | MÁX.<br>ABS. | MÍN.<br>ABS. | NORMAL                | TOTAL<br>MÁX. | TOTAL<br>MÍN. | VARIAB<br>(%) |                         |                                 | DIR.<br>PRED. | VELOC<br>MÉDIA | 2ª<br>DIR. |
| JAN             | 78°38'          | mT             | 23,5                 | 30,0                 | 18,4                 | 37,1         | 7,6          | 104                   | 182           | 20            | 50            | 150                     | 64,7                            | NE            | 3,6            | SE         |
| FEV             | 69°20'          | mT             | 23,0                 | 29,3                 | 18,4                 | 40,1         | 8,6          | 178                   | 461           | 50            | 71            | 107                     | 70,9                            | SE            | 3,8            | E          |
| MAR             | 58°34'          | mT             | 21,0                 | 27,3                 | 16,5                 | 35,0         | 7,1          | 95                    | 239           | 41            | 68            | 105                     | 71,4                            | SE            | 2,6            | NE         |
| ABR             | 46°55'          | mT/mP          | 18,2                 | 24,4                 | 13,6                 | 33,6         | 4,8          | 83                    | 209           | 9             | 72            | 93                      | 72,6                            | NE            | 2,8            | E          |
| MAI             | 38°33'          | mP             | 15,4                 | 21,2                 | 11,4                 | 32,1         | 0,0          | 105                   | 195           | 11            | 51            | 82                      | 78,3                            | NE            | 3,2            | N          |
| JUN             | 35°14'          | mP             | 11,7                 | 17,7                 | 7,9                  | 27,3         | -2,3         | 101                   | 223           | 35            | 50            | 83                      | 77,1                            | NE            | 3,2            | N          |
| JUL             | 38°08'          | mP             | 12,2                 | 17,4                 | 8,8                  | 30,2         | -2,9         | 133                   | 230           | 61            | 41            | 87                      | 76,8                            | NE            | 3,2            | N          |
| AGO             | 45°58'          | mP             | 13,3                 | 19,0                 | 8,9                  | 30,5         | -1,2         | 119                   | 181           | 36            | 42            | 86                      | 73,1                            | NE            | 3,3            | N          |
| SET             | 57°50'          | mP             | 14,5                 | 20,7                 | 9,9                  | 33,2         | -1,0         | 126                   | 230           | 27            | 48            | 111                     | 69,6                            | S             | 3,9            | NE         |
| OUT             | 69°15'          | mT/mP          | 17,0                 | 23,7                 | 12,2                 | 34,2         | 2,8          | 116                   | 265           | 42            | 54            | 130                     | 67,7                            | NE            | 3,7            | SE         |
| NOV             | 78°30'          | mT/mP          | 19,4                 | 25,8                 | 14,0                 | 34,7         | 5,6          | 123                   | 188           | 24            | 37            | 137                     | 65,1                            | NE            | 3,3            | SE         |
| DEZ             | 82°06'          | mT             | 22,4                 | 28,9                 | 17,1                 | 37,2         | 8,3          | 107                   | 201           | 47            | 35            | 152                     | 62,6                            | NE            | 3,6            | SE         |
| ANO             |                 |                | 17,7                 | 23,8                 | 13,1                 | 40,1         | -2,9         | 1390                  | 461           | 9             | 14            | 1320                    | 76,2                            | NE            | 3,4            | N          |

Fonte: INEMET

QUADRO 1.5 - Elementos do clima da Estação Meteorológica Usina Candiota - CEEE: 1973-84  
 Estação Meteorológica: Usina de Candiota Coordenadas: 31°28'S 53°40' W Gr Alt.: 150 m

Município: Candiota

Período de observação: 10 anos entre 1973 e 1984\* \* Vel. Média dos ventos: 9 anos

| LEME-<br>TO<br><br>ÊS | ALTURA<br><br>SOLAR | MASSA<br><br>DE<br>AR | TEMPERATURAS<br>(°C) |                      |                      |              |              | PRECIPITAÇÕES<br>(mm) |               |               |               | EVA<br>PORA<br>ÇÃO<br><br>(mm) | UMIDA<br>DE<br>RELATI<br>VA<br><br>(%) | VENTO         |                                   |                        |
|-----------------------|---------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------|--------------|-----------------------|---------------|---------------|---------------|--------------------------------|----------------------------------------|---------------|-----------------------------------|------------------------|
|                       |                     |                       | MÉDIA                | MÉDIA<br>DAS<br>MÁX. | MÉDIA<br>DAS<br>MÍN. | MÁX.<br>ABS. | MÍN.<br>ABS. | NOR-<br>MAL           | TOTAL<br>MÁX. | TOTAL<br>MÍN. | VARIAB<br>(%) |                                |                                        | DIR.<br>PRED. | VEL.<br>MÉDIA<br>DA DIR.<br>PRED. | VEL.<br>MÉDIA<br>TOTAL |
| JAN                   | 78°25'              | mT                    | 22,8                 | 28,4                 | 17,0                 | 35,8         | 8,2          | 148,9                 | 230,7         | 29,4          | 52            | 162                            | 77                                     | E             | 4,3                               | 4,4                    |
| FEV                   | 69°07'              | mT                    | 22,9                 | 28,7                 | 17,7                 | 36,5         | 5,0          | 152,0                 | 390,7         | 30,0          | 77            | 132                            | 81                                     | E             | 3,6                               | 3,9                    |
| MAR                   | 58°21'              | mT                    | 20,8                 | 26,8                 | 15,8                 | 39,0         | 5,1          | 112,0                 | 301,8         | 31,4          | 78            | 117                            | 82                                     | E             | 3,5                               | 3,5                    |
| ABR                   | 46°42'              | mT/mP                 | 17,4                 | 23,4                 | 12,9                 | 33,6         | 2,3          | 116,7                 | 256,0         | 25,5          | 68            | 110                            | 84                                     | E             | 3,7                               | 3,4                    |
| MAI                   | 38°20'              | mP                    | 15,2                 | 20,5                 | 11,1                 | 29,8         | -4,8         | 113,2                 | 316,6         | 38,7          | 70            | 99                             | 88                                     | E             | 4,3                               | 4,3                    |
| JUN                   | 35°01'              | mP                    | 11,5                 | 17,5                 | 7,2                  | 29,0         | -4,0         | 100,6                 | 202,2         | 30,6          | 58            | 80                             | 87                                     | NE            | 4,4                               | 4,4                    |
| JUL                   | 37°55'              | mP                    | 12,0                 | 17,4                 | 7,6                  | 30,0         | -4,6         | 166,6                 | 503,5         | 58,2          | 78            | 88                             | 88                                     | NE            | 4,4                               | 4,7                    |
| AGO                   | 45°45'              | mP                    | 12,6                 | 18,4                 | 7,9                  | 31,0         | 0,0          | 85,4                  | 159,1         | 19,1          | 60            | 110                            | 84                                     | NE/E          | 4,6                               | 4,7                    |
| SET                   | 57°37'              | mP                    | 14,2                 | 19,9                 | 8,9                  | 31,2         | 0,0          | 116,2                 | 253,9         | 21,3          | 66            | 119                            | 83                                     | E             | 4,4                               | 4,5                    |
| OUT                   | 69°02'              | mP                    | 16,9                 | 22,9                 | 11,5                 | 32,6         | 1,0          | 98,4                  | 221,8         | 22,5          | 68            | 140                            | 80                                     | E             | 4,5                               | 4,6                    |
| NOV                   | 78°17'              | mT/mP                 | 18,6                 | 24,8                 | 12,9                 | 32,4         | 2,6          | 95,0                  | 183,7         | 30,7          | 44            | 162                            | 76                                     | E             | 3,4                               | 4,3                    |
| DEZ                   | 81°53'              | mT                    | 21,3                 | 27,4                 | 15,3                 | 36,2         | 1,2          | 79,8                  | 156,2         | 18,8          | 56            | 190                            | 74                                     | E             | 3,6                               | 4,5                    |
| ANO                   |                     |                       | 17,2                 | 23,0                 | 12,1                 | 39,0         | -4,6         | 1404,8                | 503,5         | 18,8          | 17            | 1344                           | 82                                     | E             | 4,2                               | 4,3                    |

Fonte: CEEE





Os valores da evaporação mais elevados no verão, para as duas estações, são consequência direta do aumento da insolação, em intensidade e duração, neste período. Quando a curva da evaporação é mais elevada que a da precipitação nos diagramas climáticos, nos meses de outubro, novembro, dezembro e janeiro, a falta de água é compensada pela precipitação dos meses anteriores, não caracterizando necessariamente um deficit hídrico.

A umidade relativa apresenta o padrão característico nas duas estações meteorológicas: valores maiores nos meses de inverno, quando as menores temperaturas favorecem condições sempre vizinhas à saturação e diminuem a capacidade higrométrica do ar. Nos meses de verão, os valores da umidade relativa são menores, considerando-se um comportamento normal a maior capacidade higrométrica do ar aquecido, apresentando um valor médio entre 60 e 70% em Bagé e 70 a 80% em Candiota. Os valores da umidade relativa são maiores na Usina Candiota devido a sua localização rural em relação a Bagé-INEMET, pois, como já referido, a área urbana tende a aumentar o aquecimento do ar e, por consequência, diminui a umidade relativa (Figura 1.13).

Com relação à análise dos ventos, as diferenças entre as duas estações são nítidas. Ambas apresentam nordeste como a direção predominante no inverno. Já para os demais meses, enquanto em Bagé a direção predominante é nordeste, em Candiota é leste. Esta diferença resulta da influência do sítio da estação sobre o elemento, pois os prédios e construções da cidade exercem o efeito de "quebra-vento", desviando a direção do vento em Bagé.

#### **- Ventos de Superfície na Estação Usina Candiota**

Com base em 10 anos de observação do vento nesta estação, é possível fazer algumas inferências a respeito da circulação local.

Na primavera aparece o vento leste como predominante, seguido do sudeste e do nordeste como segunda direção. A velocidade média não varia muito, sendo 3,9 m/s para esta estação do ano (Quadro 1.7).

No verão, a direção predominante continua sendo leste, seguida pela nordeste, com velocidade média de 3,8 m/s para este período (Quadro 1.8).

Os ventos destes meses (primavera-verão), predominantes do quadrante leste, são oriundos do Anticiclone de Santa Helena que, nesta época do ano, está mais deslocado para o sul, em nosso hemisfério.

Por ocasião do outono, o vento leste é o mais freqüente e o nordeste é a segunda direção predominante. A velocidade média é de 3,7 m/s, mantendo-se equivalente às outras estações do ano (Quadro 1.9).

Nos meses de inverno, o vento mais comum é o nordeste, seguido das direções norte e leste. A velocidade média é de 4 m/s, caracterizando-se como o período em que o vento é mais forte nesta região (Quadro 1.10).

Nesta época, os ventos do quadrante sul (SW, S e SE) caracterizam a penetração dos ciclones e anticiclones migratórios polares.

Em qualquer época do ano, na região de Candiota, a direção predominante é do quadrante leste (nordeste no inverno e leste nas demais estações). A velocidade média anual varia pouco entre as diferentes estações. A direção sul apresenta a velocidade mais baixa (3,3 m/s) e as direções norte e nordeste, a mais elevada (4,5 m/s). O que se destaca também é o fato de o outono



e o verão serem as épocas de maior frequência de calmarias (5 e 4% respectivamente), sendo que na primavera e no inverno a frequência é de apenas 0,5% (Quadro 1.11 e Figura 1.15).

QUADRO 1.7 - Direção e velocidade do vento  
PRIMAVERA (setembro, outubro, novembro)

Estação Meteorológica: Candiota Período: 12 anos (1969-83)

Município: Candiota Anos incluídos: 1969, 1973, 1974,

Nº de observações: 2277 1975, 1976, 1977, 1978, 1979, 1980, 1981, 1982 e 1983

| DIREÇÃO DO VENTO | VELOCIDADE MÉDIA (m/s) | NÚMERO DE OBSERVAÇÕES | % EM RELAÇÃO AO TOTAL |
|------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|
| N                | 4,2                    | 237                   | 10,5                  |
| NE               | 4,3                    | 381                   | 16,5                  |
| NW               | 3,8                    | 57                    | 2,5                   |
| S                | 3,6                    | 294                   | 13                    |
| SE               | 3,4                    | 378                   | 16,5                  |
| SW               | 4,1                    | 210                   | 9                     |
| E                | 4,1                    | 559                   | 24,5                  |
| W                | 3,7                    | 156                   | 7                     |
| C                | 0,0                    | 5                     | 0,5                   |

QUADRO 1.8 - Direção e velocidade do vento  
VERÃO (dezembro, janeiro, fevereiro)

Estação Meteorológica: Candiota Período: 10 anos (1969-83)

Município: Candiota Anos incluídos: 1969, 1973, 1974,

Nº de observações: 2375 1975, 1976, 1979, 1980, 1981, 1982 e 1983

| DIREÇÃO DO VENTO | VELOCIDADE MÉDIA (m/s) | NÚMERO DE OBSERVAÇÕES | % EM RELAÇÃO AO TOTAL |
|------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|
| N                | 4,3                    | 219                   | 9,5                   |
| NE               | 4,4                    | 494                   | 21,5                  |
| NW               | 4,2                    | 90                    | 3,5                   |
| S                | 3,1                    | 217                   | 9                     |
| SE               | 3,5                    | 390                   | 16,5                  |
| SW               | 3,7                    | 134                   | 5,5                   |
| E                | 3,9                    | 617                   | 26                    |
| W                | 3,7                    | 112                   | 4,5                   |
| C                | 0,0                    | 104                   | 4                     |



#### - Dados Meteorológicos das Estações do Seival, Hotel, Candiota III e Usina Candiota

Neste item, o clima local de Candiota é estudado com base nas observações meteorológicas feitas nas estações instaladas próximo à área de implantação da Usina Termelétrica Candiota III, ao longo de um período de 6 meses.

Esta análise visa detectar possíveis diferenças entre os elementos meteorológicos em cada sítio entre a primavera e o verão, não servindo para caracterizar o clima da região porque o período é insuficiente pelos critérios convencionais.

Quanto à temperatura média, a Estação Seival é a que apresenta a maior amplitude, e a Estação Hotel, a menor. Nas 4 estações, janeiro é o mês mais quente e setembro, o mais frio.

O comportamento menos regular dentre os elementos observados é o da precipitação. O padrão observado entre as estações é que janeiro é o mais chuvoso e outubro e fevereiro, os menos chuvosos. Os outros meses se mantêm intermediários. Em vista das frequências observadas, é possível admitir-se que as diferenças entre os postos pluviométricos sejam o resultado de falhas nas observações. Sendo a precipitação do mês a soma das diárias e havendo dias sem leitura, diminui-se o total mensal se nos dias não observados ocorreu precipitação.

Sobre a umidade relativa, é importante salientar que, para todas as estações meteorológicas, dezembro foi o mês de menor umidade relativa nas estações do Hotel e em Candiota III (no antigo sítio onde iriam ser instaladas as 2 primeiras máquinas do Complexo Candiota III) e fevereiro foi o mês que apresentou o valor mais alto, sendo que em Seival este valor se concentrou em novembro.

As diferenças, apesar de existirem, são pequenas, de um mês para outro, visto serem observações feitas na primavera-verão, quando a tendência da umidade relativa é manter-se mais baixa que no outono-inverno (Quadros 1.12, 1.13, 1.14 e 1.15).

O vento foi observado nas Estações Candiota III (no antigo sítio onde iriam ser instaladas as 2 primeiras máquinas do Complexo Candiota III) e Usina Candiota (UTPM) e, para as duas, a direção predominante em todo o período foi leste. Em Candiota III, a segunda direção predominante é sudeste e sudoeste e, na Usina Candiota, sul e oeste. Estes resultados vêm confirmar a tendência, já descrita anteriormente, de a direção leste ser predominante em Candiota. A velocidade média foi de 4,7 m/s para os dois meses observados na Estação Candiota III (no antigo sítio onde iriam ser instaladas as 2 primeiras máquinas do Complexo Candiota III).

Os valores alcançados pela evaporação são elevados todos os meses, atingindo o valor máximo em dezembro, coincidindo sempre com o período de maior insolação.



QUADRO 1.12 - Elementos do clima da Estação Seival

Set/87 - Fev/88

Estação Meteorológica:Seival Coordenadas:31°28' 53°44' W Gr Alt: +230 m  
Município:Candiota Órgão Responsável:Centro de Ecologia-UFRGS

| MÊS \ ELEMENTO | TEMPERATURA<br>MÉDIA DO AR<br>(°C) | PRECIPITAÇÃO<br>(mm) | UMIDADE<br>RELATIVA<br>(%) |
|----------------|------------------------------------|----------------------|----------------------------|
| SET/87         | 9,7                                | 128                  | -                          |
| OUT/87         | 14,6                               | 61                   | -                          |
| NOV/87         | 17,9                               | 125                  | 82                         |
| DEZ/87         | 19,1                               | 104                  | 78                         |
| JAN/88         | 23,1                               | 190                  | 80                         |
| FEV/88         | 21,7                               | 51                   | 81                         |

QUADRO 1.13 - Elementos do clima da Estação Hotel

Set/87 - Fev/88

Estação Meteorológica:Hotel Coordenadas:31°34' 53°41' W Gr Alt.:+240 m  
Município:Candiota Órgão Responsável:Centro de Ecologia-UFRGS

| MÊS \ ELEMENTO | TEMPERATURA<br>MÉDIA DO AR(°C) | PRECIPITAÇÃO<br>(mm) | UMIDADE<br>RELATIVA<br>(%) |
|----------------|--------------------------------|----------------------|----------------------------|
| SET/87         | 11,0                           | 156                  | -                          |
| OUT/87         | 12,9                           | 91                   | -                          |
| NOV/87         | 19,9                           | 79                   | 81                         |
| DEZ/87         | 17,9                           | 188                  | 77                         |
| JAN/88         | 19,9                           | 357                  | 79                         |
| FEV/88         | 17,1                           | 73                   | 83                         |



QUADRO 1.14 - Elementos do clima da Estação Candiota III. Set/87 - Fev/88

Estação Meteorológica:Candiota III

Coordenadas:31°32' 53°44' W Gr Alt:+260 m

Município:Candiota

Órgão Responsável: Centro de Ecologia- UFRGS

| ELEMENTO<br>MÊS | TEMPERATURA<br>(°C) | PRECIPITAÇÃO<br>(mm) | UMIDADE<br>RELATIVA<br>(%) | VENTO     |           |                        |
|-----------------|---------------------|----------------------|----------------------------|-----------|-----------|------------------------|
|                 |                     |                      |                            | 1ª<br>DIR | 2ª<br>DIR | VEL.<br>MÉDIA<br>(m/s) |
| SET/87          | 10,8                | 27                   | -                          | -         | -         | -                      |
| OUT/87          | 13,7                | 21                   | -                          | -         | -         | -                      |
| NOV/87          | 18,1                | 35                   | 79                         | E         | SW        | 4,8                    |
| DEZ/87          | 20,3                | 30                   | 75                         | E         | SE        | 4,6                    |
| JAN/88          | 21,7                | 115                  | 79                         | -         | -         | -                      |
| FEV/88          | 20,3                | 30                   | 83                         | -         | -         | -                      |

QUADRO 1.15 - Elementos do clima da Estação Usina Candiota Set/87 - Fev/88

Estação Meteorológica:Usina Candiota

Coordenadas:31°28' 53°40' W Gr Alt:+250 m

Município:Candiota

Órgão Responsável: CEEE

| ELEMENTO<br>MÊS | TEMPERA-<br>TURA<br>MÉDIA<br>DO AR<br>(°C) | PRECI-<br>PITAÇÃO<br>(mm) | UMIDADE<br>RELATIVA<br>(%) | EVAPO-<br>RAÇÃO<br>(mm) | VENTOS |       |
|-----------------|--------------------------------------------|---------------------------|----------------------------|-------------------------|--------|-------|
|                 |                                            |                           |                            |                         | 1ªDIR  | 2ªDIR |
| SET/87          | 12,5                                       | 129                       | 88                         | 103                     | E      | S     |
| OUT/87          | 16,8                                       | 17                        | 86                         | 124                     | E      | S     |
| NOV/87          | 20,0                                       | 96                        | -                          | 121                     | E      | W     |
| DEZ/87          | 21,5                                       | 65                        | -                          | 164                     | E      | S     |
| JAN/88          | 22,9                                       | 192                       | -                          | 132                     | E      | S     |
| FEV/88          | 21,7                                       | 16                        | -                          | 126                     | E      | S     |

## - Ventos de Altitude e Considerações sobre Estabilidade Atmosférica

Além dos deslocamentos horizontais, o ar sofre deslocamentos verticais (correntes), que podem alterar significativamente sua temperatura.

Tem-se como regra geral que a temperatura do ar em repouso diminui com a altitude. Entretanto, o ritmo com que a temperatura diminui não é constante, podendo variar com a hora do dia, estação do ano e local. A média desta diminuição de temperatura com a altitude, chamada de Gradiente Térmico Ambiental (GTA), é aproximadamente  $6,5^{\circ}\text{C}/1000\text{ m}$ .

A rapidez com que varia a temperatura do ar (com umidade relativa menor que 100%) em ascensão ou subsidência, dá-se o nome de Gradiente Térmico Adiabático Seco (GTAS). Este valor é constante e igual a  $10^{\circ}\text{C}/1000\text{ m}$ .

Quando uma parcela de ar úmido se eleva, sofre uma expansão que causa seu resfriamento. Este decréscimo de temperatura no ar úmido leva à saturação e condensação do vapor nele contido, com liberação de calor. Assim, devido à existência de dois processos simultâneos, um de resfriamento (ascensão da massa de ar) e um de aquecimento (mudança de estado físico da água), a massa de ar esfriará à razão do Gradiente Térmico Adiabático Úmido (GTAU). Este gradiente não é constante, variando de acordo com o conteúdo de vapor d'água (umidade absoluta) na parcela de ar.

Assim sendo, quando o Gradiente Térmico Ambiental for menor que o Gradiente Térmico Adiabático Úmido, evidentemente também será menor que o Adiabático Seco. Nessas condições, a troposfera é considerada em estabilidade absoluta, sendo nela impedidos os movimentos verticais.

No caso de o Gradiente Térmico Ambiental (GTA) ser maior que o Gradiente Térmico Adiabático Seco que, por sua vez, será maior que o Gradiente Térmico Adiabático Úmido, a troposfera será considerada em condições de instabilidade absoluta, o que facilita os movimentos verticais das parcelas de ar em seu interior.

Pode ocorrer ainda outro caso, em que o Gradiente Térmico Ambiental é igual ao Gradiente Térmico Adiabático Seco ou Úmido, conforme seja a parcela de ar seco ou saturado. Neste caso, em qualquer deslocamento sofrido, a parcela se encontrará à mesma temperatura do ar a sua volta estando, portanto, em condições de equilíbrio indiferente.

Resumindo os três casos que afetam a estabilidade do ar, tem-se:

$\text{GTAU} > \text{GTA}$  - estabilidade absoluta

$\text{GTAU} < \text{GTA}$  - instabilidade absoluta

$\text{GTAS} = \text{GTA}$  ou  $\text{GTAU} = \text{GTA}$  - equilíbrio indiferente

Se o ar estiver instável, o movimento vertical tem lugar livremente, com parcelas de ar erguendo-se da superfície e sendo substituídas por parcelas rapidamente descendentes, produzindo rajadas, se houver vento. Quando o ar estiver estável, o movimento vertical tende a desaparecer e o vento, se existente, torna-se mais suave. Assim, quando a atmosfera apresenta condições de estabilidade, torna-se difícil qualquer movimento ascendente e descendente do ar. Em uma inversão térmica (quando a temperatura aumenta em função da altitude, ao contrário da situação mais comum, podendo ocorrer em diferentes níveis altimétricos e com duração de tempo



provável), um caso de evidente estabilidade atmosférica, torna-se muito mais difícil ou até impossível o movimento ascensional de uma parcela de ar.

Se, durante a ocorrência de uma inversão térmica, forem lançados à atmosfera gases poluentes, eles não se dispersarão verticalmente, mas apenas no sentido horizontal, atingindo enormes áreas.

Com base nos dados de vento em altitude observados no aeroporto de Bagé, foi possível chegar-se a algumas conclusões referentes a estabilidade atmosférica relativa.

Além dos dados de ventos em altitude, utilizou-se os elementos coletados pela UFSM em seus ensaios com balões e sondas meteorológicas, na região em estudo.

Sendo a inversão térmica um caso de extrema estabilidade, é possível deduzir-se que a probabilidade de ocorrência de inversão será proporcional à frequência de estabilidade.

A análise dos três anos escolhidos mostra o seguinte:

#### **- 1972: ano chuvoso**

Neste ano, a atmosfera foi predominantemente instável em janeiro, fevereiro, março, abril, maio, outubro e novembro, quando os ventos de superfície sopram de sudeste e nordeste. Neste período, tem-se a advecção do ar marítimo, mais fresco do que a superfície continental.

Os meses que caracterizam o predomínio de estabilidade são junho, julho e agosto. O vento de superfície predomina da direção nordeste, resultante da advecção do ar marítimo, mais aquecido que a superfície continental.

Setembro é um mês intermediário, pois são praticamente iguais os registros de condições de estabilidade e instabilidade.

Por se encontrarem no inverno, acredita-se que a predominância dos dias com estabilidade sejam decorrentes do encontro de massas frias de ar mais aquecido (ar frio, sendo mais denso, ao avançar em direção a uma massa de ar mais quente, empurra-a para cima). Através da perda de calor pela superfície durante a noite, baixa a temperatura da base da atmosfera local em maior grau do que a do ar superior. A penetração dos anticiclones migratórios polares neste período contribui para originar condições de estabilidade pois, sendo uma massa de ar subsidente e divergente, ocasiona a compressão do ar na superfície.

Nos dois casos, as inversões térmicas podem ser produzidas. Os ventos de nordeste, dominantes, conduzem o ar marítimo mais aquecido. O ar então cede calor para a superfície, resfria-se pela base e torna-se estável.

#### **- 1976: ano normal**

Neste ano, os meses que concentram a maior parte dos dias instáveis são os de outono e primavera, sendo sudeste a direção do vento predominante para a região Candiota. Este período caracteriza a advecção fresca sobre o continente, que começa a ser aquecido. O ar se aquece e se instabiliza.

Janeiro, fevereiro, março, abril, junho, julho, outubro e novembro caracterizam meses em que predominam condições de estabilidade atmosférica, predominando o vento de superfície das direções norte e nordeste. O ar mais aquecido, deslocando-se para o sul, mais frio,

cede calor para a superfície e estabiliza-se. Desta forma, as condições de estabilidade concentram-se nos meses do verão, outono e primavera, causadas também pela diminuição da precipitação neste período, consequência da menor nebulosidade. Os meses mais secos refletem a condição geral de maior estabilidade e, portanto, menos sujeitos à formação de nuvens.

**- 1978: ano seco**

As condições de estabilidade atmosférica neste ano apresentam uma variação em relação ao ano chuvoso de 1972 analisado.

Tem-se um maior percentual de dias com características instáveis em fevereiro, março, abril, junho, julho, setembro, novembro e dezembro, sendo nordeste a direção predominante do vento.

Nos meses de maio e agosto, o vento mais comum é sudeste, e predominam dias com a atmosfera estável.

O ar estável, neste ano, é consequência da entrada de massas frias, anticiclones móveis com subsidência superior, quando o vento predominante é sudoeste. Como já referido, o ar frio desloca o ar quente, forçando condições de estabilidade. Também a entrada freqüente dos Anticiclones Migratórios Polares, sendo massas de ar com característica estável, contribuem para originar estas condições atmosféricas (Quadro 1.16).

Como resultado da análise de ventos em altitude de ano chuvoso, normal e seco, verifica-se que existe uma clara predominância de condições de instabilidade na região (Quadro 1.16), indicando um favorecimento das dispersões atmosféricas e inferindo diminuição da probabilidade de ocorrência de inversões térmicas.



QUADRO 1.16 - Condições de Estabilidade Atmosférica (%) no Aeroporto de Bagé: 1972, 1976, 1978

| ANO |   | CHUVOSO | MÉDIO | SECO |
|-----|---|---------|-------|------|
| MES |   | 1972    | 1976  | 1978 |
| JAN | E | 39      | 55    | 50   |
|     | I | 61      | 45    | 50   |
| FEV | E | 42      | 61    | 42   |
|     | I | 58      | 39    | 58   |
| MAR | E | 39      | 79    | 46   |
|     | I | 61      | 21    | 54   |
| ABR | E | 43      | 63    | 33   |
|     | I | 57      | 37    | 67   |
| MAI | E | 44      | 46    | 56   |
|     | I | 56      | 54    | 44   |
| JUN | E | 71      | 63    | 42   |
|     | I | 29      | 37    | 58   |
| JUL | E | 62      | 55    | 44   |
|     | I | 38      | 45    | 42   |
| AGO | E | 71      | 14    | 58   |
|     | I | 29      | 86    | 30   |
| SET | E | 50      | 18    | 40   |
|     | I | 50      | 82    | 60   |
| OUT | E | 25      | 55    | 50   |
|     | I | 75      | 45    | 50   |
| NOV | E | 14      | 53    | 46   |
|     | I | 86      | 47    | 54   |
| DEZ | E | -       | 43    | 33   |
|     | I | -       | 57    | 64   |
| ANO | E | 45,4    | 50,4  | 44,8 |
|     | I | 54,3    | 49,6  | 55,2 |
|     | I | 54,3    | 49,6  | 55,2 |

Fonte: INPE

E= estável

I = instável



Embora alguns dos dados disponíveis sejam insuficientes quanto à natureza, continuidade e período, o que pode levar a erros de interpretação, é possível apresentar algumas conclusões gerais quanto ao clima local (mesoclima) da região de Candiota.

Pela análise dos dados meteorológicos da Estação Bagé - INEMET e Estação Usina Candiota - CEEE, concluiu-se que as diferenças topoclimáticas existentes entre as duas estações são consequência da localização dos sítios urbano e rural respectivamente.

A localização da Estação Usina Candiota próximo à Usina Termelétrica Presidente Médici, fases A e B, não alterou, além do esperado, os elementos meteorológicos observados, a não ser a precipitação e a umidade.

As partículas sólidas continuamente emitidas pela chaminé da usina também servem como núcleos de condensação sobre os quais se condensa o vapor d'água, também eliminado pela usina. O aumento destes núcleos em uma região faz com que a condensação se inicie, muitas vezes, antes de haver a saturação da massa de ar, resultando na formação mais eficiente de nuvens (convecção induzida pelo calor lançado à atmosfera pela própria usina) e, certamente, na maior quantidade de precipitação.

Quanto às diferenças observadas nas direções do vento de superfície na região, sendo predominante o nordeste em Bagé e o leste em Candiota, justifica-se como resultado do sítio das estações, visto o quadrante leste ser o mesmo para as duas.

Os dados meteorológicos obtidos com a instalação das estações na área de implantação da Usina Termelétrica Candiota III, embora relativos a um período de tempo não suficientemente longo, vieram confirmar as observações obtidas na análise de 10 anos para a região.

#### **1.4 - Atividades na Região**

Novamente salientamos a importância de quantificar ou pelo menos qualificar as emissões atmosféricas representativas das atividades na região que contribuem para o atual nível de poluição atmosférica local. Os dados obtidos permitirão efetuar o diagnóstico ambiental da região sem o empreendimento pretendido da nova usina.

##### **1.4.1 - Definição das Atividades**

As atividades serão divididas em grupos, da seguinte maneira:

- atividade de geração termelétrica;
- atividade de mineração de carvão;
- outras minerações;
- atividades de fabricação de cimento;
- atividades agropecuárias;
- atividades comerciais;
- atividades domésticas;
- outras atividades.

A atividade de geração termelétrica na região, está representada pela Usina Termelétrica Presidente Médici-UTPM, fases A e B.

Na atividade de mineração de carvão, estão incluídas as minas do Seival - COPELMI, que fornecem carvão a indústrias cimenteiras do País, e as minas da Companhia Riograndense de Mineração, que abastecem a Usina Termelétrica Presidente Médici, fases A e B (UTPM A e B).

Na fabricação de cimento, relacionamos as empresas CIMBAGÉ - Cimento e Mineração Bagé S/A e Cia. de Cimento Portland Gaúcho-VOTORAN (Grupo Votorantim) em Pinheiro Machado.

Estas duas indústrias, para a fabricação do cimento, utilizam calcáreo, explorado na região. Vale citar que também são exploradas, localmente, pedreiras.

A atividade agropecuária, muito comum na região, utiliza herbicidas e inseticidas.

Os estabelecimentos comerciais, que geram emissões aéreas são, padarias, restaurantes, oficinas e outras atividades menores, dispersas na área.

As emissões domésticas consistem de gases e material particulado provenientes de fogões, movimentos de terra, construções, etc.

Finalmente, vale mencionar outras atividades que podem causar transtorno, como: as queimadas de campo, incinerações de lixo, abertura de estradas, transporte de cinzas, deslocamento de veículos em geral, e outras.

#### **1.4.2 - Empreendimentos Industriais**

Neste particular, nos restringiremos às atividades listadas a seguir, que, somadas, representam a maior parcela de emissões não naturais da região.

- Usina Termelétrica Presidente Médici, fase A
- Usina Termelétrica Presidente Médici, fase B
- Mineração da Companhia Riograndense de Mineração
- Mineração da COPELMI, em Seival
- Cimento e Mineração Bagé S/A (CIMBAGÉ) e respectiva mina de calcáreo
- Cia. de Cimento Portland Gaúcho (VOTORAN), de Pinheiro Machado

Estas indústrias emitem à atmosfera, principalmente, material particulado e gases, que apresentamos a seguir:

##### **- Usina Termelétrica Presidente Médici - Fase A**

Esta unidade é composta por dois geradores de 63 MW nominais cada. Segundo a CEEE, esta usina opera aproximadamente 40% do tempo na capacidade nominal, e o restante do tempo, em capacidade reduzida, atendendo à curva de demanda de energia elétrica ao longo do dia.

O fator de carga diário é de 81% da capacidade nominal e se considerarmos que 300 dos 365 dias do ano estão em operação, o fator de carga anual é de apenas 0,67, ou seja, 67% da capacidade nominal referida ao ano.

O carvão queimado nas caldeiras é o Candiota-ROM ("run-of -mine"), ou seja, diretamente da mina, sem beneficiamento.



As caldeiras da UTPM-A lançam seus gases de combustão em uma chaminé (conjunta com a UTPM-B) de 150 metros de altura e 4,62 metros de diâmetro interno no topo.

A temperatura média dos gases provenientes das caldeiras atinge, ao passar pelo precipitador eletrostático, 147°C, dirigindo-se a seguir à chaminé.

Para as condições de capacidade nominal (100%), de fator de carga a vazão total de gases para a caldeira nº1 da UTPM-A é de 564.500 m<sup>3</sup>/h (úmidos), correspondente a um consumo de 63 t/h de carvão. Disto resulta uma emissão à atmosfera de 1,3 t/h de SO<sub>2</sub>, 1,2 t/h de material particulado (cinzas volantes) e de 0,22 t/h de NO<sub>x</sub>. Concomitantemente com o consumo de carvão, é usado óleo combustível como chama de sustentação de boa combustão à razão de, em média, 600 kg/h em cada caldeira.

Os valores da caldeira nº2 da UTPM-A, que pouco diferem dos da nº1, são: emissão de 1 t/h de material particulado, 1,3 t/h de SO<sub>2</sub> e de 0,19 t/h de NO<sub>x</sub>. A vazão de gases úmidos é 546.500 m<sup>3</sup>/h e o consumo médio de carvão é de 59 t/h.

Vale informar que estes dados correspondem à média dos valores constantes do certificado expedido pela CIENTEC, de nº 91.027 de 30/03/87, referente a trabalho realizado junto às caldeiras da UTPM-A, e que os valores de emissão de NO<sub>x</sub> foram calculados pelo uso do "COMPILATION OF AIR POLLUTANT EMISSION FACTORS - EPA USA/1973/2ª ed.

O Quadro 1.17 apresenta dados referentes à UTPM-A.

QUADRO 1.17 - Resumo de dados sobre a UTPM-A a plena carga (Fc=1,0)

| ESPECIFICAÇÃO                                                  | CALDEIRA Nº1 | CALDEIRA Nº2 |
|----------------------------------------------------------------|--------------|--------------|
| Produção média de referência (MW)                              | 60           | 56,3         |
| Consumo médio de carvão (úmido) (t/h)                          | 63           | 59           |
| Consumo médio de óleo combustível (t/h)                        | 0,6          | 0,6          |
| Temperatura dos gases de combustão, na entrada da chaminé (°C) | 147          | 147          |
| Emissão de SO <sub>2</sub> (t/h)                               | 1,29         | 1,27         |
| Vazão total dos gases secos (Nm <sup>3</sup> /h) (aproximado)  | 341.000      | 333.000      |
| Vazão dos gases emitidos (úmidos) (m <sup>3</sup> /h)          | 564.500      | 546.500      |
| Emissão de material particulado (t/h)                          | 1,2          | 1,0          |
| Emissão de NO <sub>x</sub> (t/h) (*)                           | 0,22         | 0,19         |

(\*) avaliado por fator técnico de emissão (EPA).

Obs.: O óleo combustível queimado contribui com cerca de 4% do total do SO<sub>2</sub> emitido pelas unidades.

Com base no Quadro 1.17, obtém-se o Quadro 1.18, que sumariza os dados relativos à UPTM-A.

QUADRO 1.18 - Sumário da UTPM-A a plena carga

|                                                                    |           |
|--------------------------------------------------------------------|-----------|
| Consumo médio de carvão (úmido) (t/h)                              | 122       |
| Consumo médio de óleo combustível (t/h)                            | 1,2       |
| Altura da chaminé (m)                                              | 150       |
| Temperatura da entrada dos gases da chaminé (°C)                   | 147       |
| Emissão de NO <sub>x</sub> (t/h)                                   | 0,41      |
| Emissão de SO <sub>2</sub> (t/h)                                   | 2,56      |
| Emissão de particulados (t/h)                                      | 2,2       |
| Vazão de gases de combustão (quentes e úmidos) (m <sup>3</sup> /h) | 1.111.000 |
| Vazão de gases na CNTP ( Nm <sub>3</sub> /h )                      | 674.000   |

Esta tabela refere-se a uma produção a plena carga gerando em média 116 MW.

Combinando os Quadros 1.17 e 1.18 com os elementos constantes no Certificado da CIENTEC nº 91.027 de 30/03/87 (processo 022.616), podemos gerar índices específicos de emissões unitárias, tais como a emissão de SO<sub>2</sub> ou material particulado por tonelada de carvão queimado ou MW gerado. Vale ressaltar que estes índices são somente indicativos, pois somente passariam a ser conclusivos com dados históricos de desempenho e estatisticamente confiáveis.

Na falta destas informações, os índices indicativos servirão para delinear globalmente, em regime, a UTPM-A.

QUADRO 1.19 - Índices médios indicativos de emissões da UTPM-A

| ÍNDICE                                                       | VALOR                   |
|--------------------------------------------------------------|-------------------------|
| Emissão de SO <sub>2</sub> por carvão consumido (b.u.)*      | 21 kg/t                 |
| Emissão de SO <sub>2</sub> por geração elétrica              | 22 kg/MW                |
| Emissão de SO <sub>2</sub> por vazão de gases                | 3,8 g/Nm <sup>3</sup>   |
| Emissão de NO <sub>x</sub> por carvão consumido (b.u.) *     | 3,36 kg/t               |
| Emissão de NO <sub>x</sub> por geração elétrica              | 3,52 kg/MW              |
| Emissão de NO <sub>x</sub> por vazão de gases                | 0,61 kg/Nm <sup>3</sup> |
| Emissão de material particulado por carvão consumido (b.u.)* | 18 kg/t                 |
| Emissão de material particulado por geração elétrica         | 19 kg/MW                |
| Emissão de material particulado por vazão de gases           | 3,3 g/Nm <sup>3</sup>   |

(\*) b.u. = base úmida.



### - Usina Termelétrica Presidente Médici - Fase B

Esta unidade, mais recente que a UTPM-A, é composta por dois geradores elétricos de 160 MW nominais cada. Também esta unidade, em atendimento à curva de demanda de energia elétrica diária, acompanha com certa regularidade a curva de geração da UTPM-A, não operando a plena carga na totalidade do tempo.

Conceitualmente, é uma unidade composta por duas caldeiras para geração de termelétricidade. No entanto, difere da UPTM-A na concepção técnica das caldeiras no que se refere à tecnologia da combustão do carvão.

O sistema de queima da UTPM-A é frontal, e o da UTPM-B, tangencial, sendo este mais eficiente e menos gerador de monóxido de carbono, hidrocarbonetos e também óxidos de nitrogênio.

Esta mesma técnica de combustão aprimorada será aplicada aos queimadores de carvão pulverizado da Usina Termelétrica Candiota III 1ª Máquina.

Dadas as dificuldades inerentes da combustão do carvão da região de Candiota, os técnicos das empresas licenciadoras de tecnologia de combustão a nível internacional confirmam que a combustão pulverizada, com combustores tangenciais, ainda é a técnica mais avançada disponível para tal carvão.

As caldeiras da UTPM-B também queimam carvão Candiota-ROM ("run-of-mine"), diretamente da mina, sem beneficiamento.

Estas caldeiras lançam seus gases de combustão na mesma chaminé da UTPM-A, mas em dutos separados. Para cada caldeira da UTPM-B, o duto no seu final possui um diâmetro interno de 4,77 metros.

A Figura 1.16 ilustra a chaminé trifluxo do conjunto UTPM-A e B.

Os gases efluentes da caldeira, ao atingirem os dutos da chaminé, têm a temperatura de 157 °C.

Nas condições de plena carga, o volume aproximado de gases por duto e, conseqüentemente, por caldeira é de 649.200 Nm<sup>3</sup>/h ou 1.022.500 m<sup>3</sup>/h.

Considerando as 2 caldeiras, resulta um lançamento total à atmosfera de cerca de 6,4 t/h de SO<sub>2</sub>, 1,09 t/h de NO<sub>x</sub> e 1,2 t/h de material particulado.

O Quadro 1.20 sintetiza as informações relativas à UPTM-B.

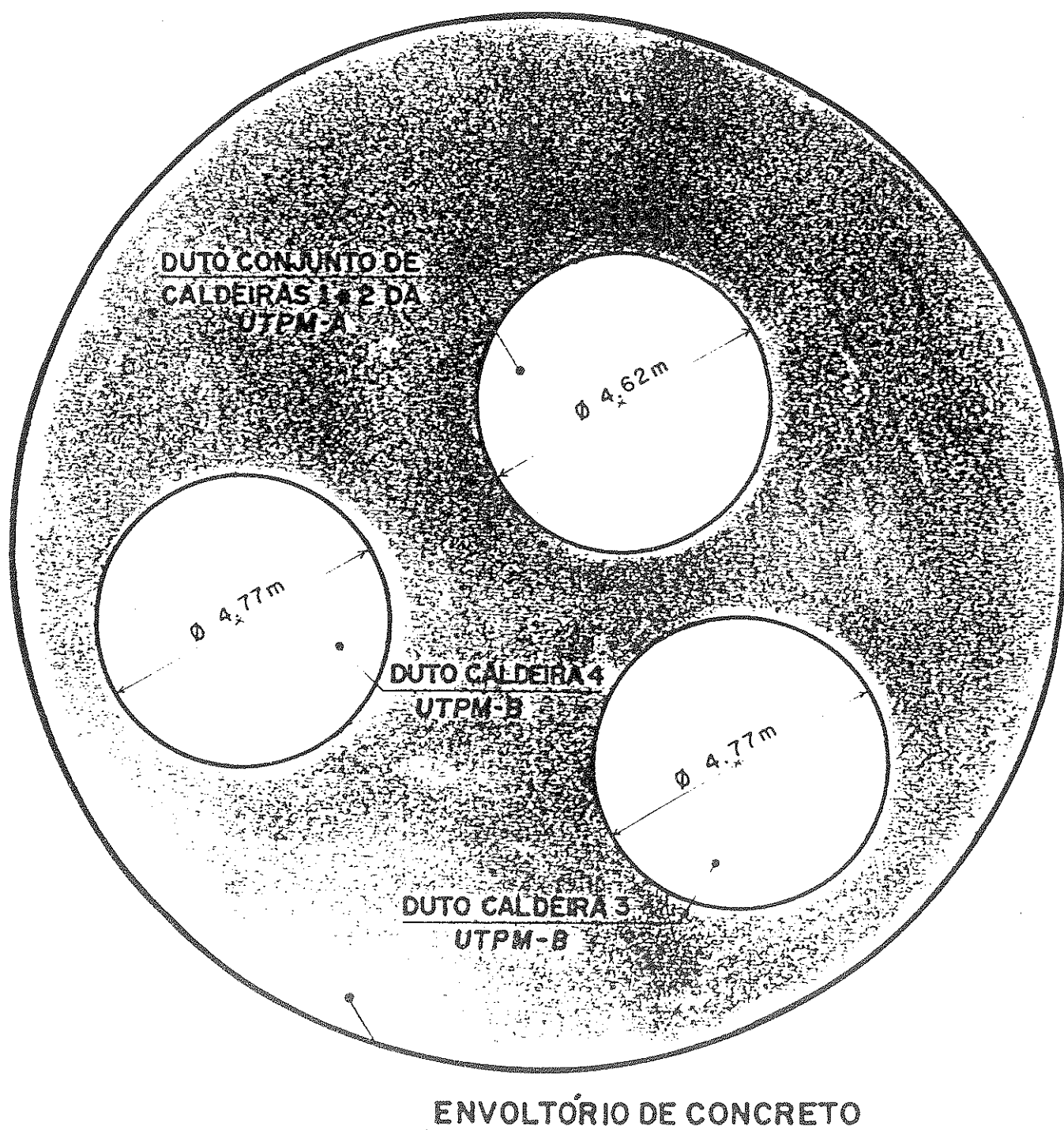


QUADRO 1.20 - Resumo de dados sobre a UTPM-B a plena carga

| ESPECIFICAÇÃO                                                                 |                    | CALDEIRA<br>Nº 3 | CALDEIRA<br>Nº 4 |
|-------------------------------------------------------------------------------|--------------------|------------------|------------------|
| Capacidade nominal de geração elétrica (MW)                                   |                    | 160              | 160              |
| Altura da chaminé (m)                                                         |                    | 150              | 150              |
| Diâmetro interno da chaminé (m)                                               |                    | 4,77             | 4,77             |
| Temperatura dos gases de combustão ao chegarem à chaminé (°C)                 |                    | 157              | 157              |
| Vazão de gases na chaminé, para um consumo de carvão de 130 t/h (2 caldeiras) | Nm <sup>3</sup> /h | 1.022.550        | 1.022.550        |
|                                                                               | m <sup>3</sup> /h  | 649.200          | 649.200          |
| Emissão de SO <sub>2</sub> (t/h) por duto para a vazão de gases acima         |                    | 3,4              | 3,4              |
| Emissão de Material Particulado por duto(t/h) para a vazão de gases acima     |                    | 0,6              | 0,6              |
| Emissão de NO <sub>x</sub> (t/h) *                                            |                    | 0,545            | 0,545            |

(\*) avaliado por fator técnico de emissão (EPA).

FIGURA I.16 · Esquema do Chaminé Trifluxo da UTPM





### **- Mineração da Companhia Riograndense de Mineração (CRM)**

A CRM é responsável pela prospecção, lavra e mineração da Malha IV; a que é atualmente explorada, fornecendo o carvão para a Usina Termelétrica Presidente Médici - fases A e B, e servirá à Candiota III 1ª Máquina, e que já está licenciada pela FEPAM para funcionamento.

Nesta atividade, as emissões atmosféricas não são analisadas de maneira quantificada.

Podemos então mencioná-las e qualificá-las, por atividade, considerando-se que devem ser classificadas como emissões fugitivas ou de difícil controle e quantificação por se tratarem de atividades a céu aberto.

De uma maneira geral, o principal poluente é material particulado com granulometria relativamente grande, proveniente inicialmente da decapagem da camada de terra vegetal, posteriormente, das camadas estereis e, finalmente, da retirada das camadas de carvão da mina. A movimentação mineral é executada com máquina de grande porte e com uso de explosivos.

Este tipo de movimentação, com pouca desagregação, mesmo quando do depósito em pilhas, não constitui atividade geradora de material finamente dividido; além disto, como o solo não é seco, possuindo uma umidade natural de equilíbrio proveniente de chuvas e do lençol freático, minimiza a desagregação dos constituintes mineralogicamente mais frágeis.

Pela ação dos ventos, o material particulado gerado é carregado a distâncias relativamente pequenas, afetando a biota superficial próxima com pós de constituição igual à do solo que lhe dá origem.

Quanto a gases, pouco pode ser dito. É conhecido o mecanismo químico da lenta oxidação de frações carbonosas dando origem a CO<sub>2</sub>, e também o da degradação do enxofre pirítico pela ação de umidade e pressões, induzindo a reações espontâneas quando as condições físico-químicas permitem que se desenvolvam temperaturas suficientemente altas para iniciar e manter estas reações secundárias de auto-combustão das pilhas de carvão. Entretanto, estas reações são muito favorecidas quando o carvão é finamente dividido, o que não acontece na mineração.

Estas colocações e o fato de estas ocorrências praticamente não acontecerem permitem considerar não importantes as emissões atmosféricas provenientes da área de mineração.

### **- Mineração da COPELMI - Mina do Seival**

Próximo à Vila Operária da CEEE, nas imediações do aeroporto de Candiota, localiza-se a Mina do Seival, explorada pela COPELMI.

A mineração é feita a céu aberto, fornecendo carvão a um consórcio de empresas cimenteiras de fora do Estado.

A companhia tem concessão para minerar um total de 6.500 ha e opera desde 1983.

As atividades de britagem e classificação do carvão constituem a principal fonte de poluição do empreendimento. A porção mais grosseira do material particulado gerado atinge



pequena distância, enquanto a porção mais fina, de volume relativamente pequeno, atinge a biota próxima. Também neste caso, os gases provenientes da mineração são insignificantes.

#### - Cimento e Mineração Bagé S.A. - CIMBAGÉ

A empresa CIMBAGÉ, operando nas proximidades do Complexo Termelétrico de Candiota, tem por finalidade a produção, a granel, de clínquer, principal matéria-prima para a produção de cimento.

A produção anual, a plena capacidade, é de 510.000 t de clínquer (dado de 1989).

As matérias-primas básicas utilizadas são calcário de alto teor, obtido de mina própria, cativa, próximo à unidade, filito (rocha metamórfica de textura fina) e minério de ferro que, após redução granulométrica e em dosagens adequadas, passam a um forno rotativo, gerando o clínquer. Este material é a seguir britado para condicionamento granulométrico final e ensilado.

Os combustíveis utilizados no processo são carvão mineral e óleo combustível.

Segundo informações da empresa (1989), o consumo de carvão mineral, com 35% em peso de cinzas, é de 8.000 t/mês. O carvão é do tipo CE-4.700, possuindo 0,4% em peso de enxofre, se procedente da Mina do Leão, e 1% se da Mina do Recreio.

Conforme informações da FEPAM, obtidas em visita realizada por técnicos da CIENTEC, existem diversas fontes de geração de material particulado e gases na unidade industrial. O Quadro 1.21 apresenta sinteticamente estas fontes e suas respectivas cargas poluidoras.

QUADRO 1.21 - Resumo de emissões atmosféricas da CIMBAGÉ

| CONCENTRAÇÃO/ ATIVIDADE-FONTE                                         | VAZÃO<br>(Nm <sup>3</sup> /h) | CONCENTRAÇÃO DE<br>MATERIAL<br>PARTICULADO<br>(mg/Nm <sup>3</sup> ) |
|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Britagem de calcário                                                  | 7.000                         | 80                                                                  |
| Transporte com armazenamento de matérias-primas                       | 14.850                        | n.d.                                                                |
| Carga e descarga de matérias-primas dos silos                         | 21.000                        | 50                                                                  |
| Transporte e enchimento de silo de<br>homogeneização/dosagem, mistura | 25.200                        | 50                                                                  |
| orre de modificação de gases                                          | 144.700*                      | 50                                                                  |
| esfriamento, transporte, dosagem e carregamento de<br>clínquer        | 235.300                       | de 50 a 6.000<br>(média 1.200)                                      |
| opagem, transporte, armazenagem e dosagem de<br>carvão                | 51.140                        | 50                                                                  |

Fonte: FEPAM



Na CIMBAGE, a emissão de  $\text{SO}_2$  nos gases é de 24,5 g/s, supondo carvão com 0,4% de enxofre e a emissão de  $\text{NO}_x$  nos gases é de 17 g/s, segundo índices técnicos (EPA).

A carga é emitida à atmosfera por uma série de dutos a diversas temperaturas mas, para efeito de emissão global, ponderadas as vazões, concentrações e temperatura, calcula-se que a emissão global da CIMBAGE em material particulado seja de 108,9 g/s (0,4 t/h).

#### - Companhia de Cimento Portland Gaúcho - Grupo Votorantin

Situada no município de Pinheiro Machado - RS, a aproximadamente 12,5 km em linha reta desde o centro geométrico da UTPM-A/B, encontra-se a Companhia de Cimento Portland Gaúcho - VOTORAN, que produz cimento pozolâmico e clínquer.

As matérias-primas do processo são as mesmas usadas pela CIMBAGÉ, ou seja, calcário, filito e minério de ferro.

Similarmente à CIMBAGÉ, portanto, na VOTORAN há operações geradoras de gases e material particulado.

Seus dois fornos rotativos queimam anualmente cerca de 70.000 t de uma mistura de carvão e outros combustíveis (biomassa e óleo) que, em média, possui 1% em peso de enxofre. Esta combustão gera em média 160 kg/h (44,5 g/s) de  $\text{SO}_2$  e 14 g/s de  $\text{NO}_x$ . Quadro 1.22 sintetiza as emissões da VOTORAN (dado de 1989).

QUADRO 1.22 - Resumo das emissões atmosféricas da Companhia de Cimento Portland Gaúcho - Pinheiro Machado

| ATIVIDADE-FONTE                                                                            | VAZÃO<br>(Nm <sup>3</sup> /h) | MATERIAL<br>PARTICULADO<br>(g/m <sup>3</sup> ) |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------------------|
| Fornos I e II (*)                                                                          | 94.800                        | 40                                             |
| Carvão I e II, injeção de carvão na torre                                                  | 34.400                        | 100                                            |
| Homogeneização I e II, despoeiramento da balança, torre II, moinho reversível, ensacadeira | 148.500                       | 20-30                                          |
| Cimento I                                                                                  | 32.400                        | 20-80                                          |
| Cinza moinho reversível, funil cinza cimento I, transporte cimento I                       | 15.800                        | 150-200                                        |
| Silo de cinza                                                                              | 5.500                         | 30-50                                          |

Fonte: FEPAM

(\*) No conjunto, os fornos emitem  $\text{SO}_2$  à taxa média de 159,8 kg/h e 50,4 kg/h de  $\text{NO}_x$ .

#### 1.4.3 - Núcleos Populacionais Locais

Nas áreas circunvizinhas às plantas industriais há núcleos populacionais geralmente vinculados às atividades destas plantas.



A CEEE tem sob sua responsabilidade e orientação núcleos populacionais denominados genericamente de Vila Operária e Vila Residencial. Nestes núcleos estão assentados funcionários da CEEE e de empresas contratadas para trabalhar nas usinas. A chamada Vila Residencial é o núcleo formado em primeiro lugar, tendo-se instalado em função da Usina Termelétrica de Candiota I, já desativada; por sua vez, a chamada Vila Operária, situada junto à entrada principal da estrada que leva até o Complexo Termelétrico de Candiota, às margens da BR-293, consiste no maior aglomerado populacional, sendo vinculada diretamente à CEEE.

Dario Lassance é sede do município de Candiota e nela está instalado o escritório regional da Companhia Riograndense de Mineração - CRM.

Próximo também às empresas produtoras de cimento, estão localizados pequenos agrupamentos populacionais que atendem aos funcionários destas empresas, como é o caso da vila residencial da Votoran.

Além destas populações agrupadas, existem na região outras localizadas a maior distância, tais como Seival, Hulha Negra e inclusive a cidade de Pinheiro Machado.

Estes núcleos, sendo relativamente pequenos e não apresentando atividades específicas e de vulto geradoras de emissões atmosféricas puntiformes e localizadas, produzem emissões que passamos então a considerar dispersas ou fugitivas. Isto implica que somente é necessário descrever as diversas atividades sem, entretanto, as quantificar.

Sinteticamente, as atividades seriam:

- a - combustões:** combustão de gás liquefeito de petróleo em residências e estabelecimentos comerciais; combustão de óleo combustível em pequenas caldeiras comerciais (hotel, aquecimentos, lavanderias); combustão de lenha (picada ou em toras) em diversas atividades de secagem ou queima (secadores, olarias) e de uso doméstico (lareiras, fogões, churrasqueiras); incinerações gerais de resíduos domésticos tais como papéis, gravetos, folhas, plásticos, palha, borrachas e outros.
- b - disposição de lixo:** os resíduos domésticos e comerciais, quando não coletados regularmente, são em geral dispostos em locais não apropriados gerando gases, geralmente fétidos, oriundos da degradação biológica.
- c - transporte:** incluímos neste item todas as atividades vinculadas ao transporte, correspondentes às emissões atmosféricas (particulados e gasosos) de:
  - gases da combustão dos veículos que transitam na região (automóveis, motos, caminhões - inclusive os transportadores de carvão - ônibus e trens);
  - particulados advindos da combustão, principalmente de veículos movidos a óleo diesel; particulados provenientes do deslocamento dos veículos por vias, principalmente as sem pavimentação, com ênfase nas rotas de transporte de carvão e cinza desde a frente de mina até a usina e vice-versa, e todas as atividades de manuseio de material granulado ou pulverizado (calcário, carvão vegetal, solo, areia, brita e outros);
  - vapores e gases provenientes da evaporação de solventes, combustíveis, produtos estocados em diversos locais na região.

Cabe ressaltar que existe na região uma fonte de poluição atmosférica preocupante, quais sejam, as queimadas.

Estas queimadas, tanto de campos como de lavouras e matas, podem ser observadas a longas distâncias (os satélites as detectam no Brasil, principalmente no Paraná e Amazonas) e comprometem a atmosfera não somente pelo grande volume de gases tóxicos (monóxido de carbono e gases da pirólise da madeira, que libera alcatrões e outros gases) e também cinzas, mas também pela nefasta ação que causam sobre a biota.

Estas queimadas, que têm sido observadas com certa frequência na região, provavelmente pela falta de conhecimento de seus impactos negativos, deveriam ser coibidas mediante a atuação das autoridades municipais.

Além de serem negativas e possuírem caráter destrutivo, também são imprevisíveis quanto à possível extensão territorial a ser agredida, já que se tratam de verdadeiros incêndios.

Cabe também mencionar as emissões atmosféricas advindas do uso de pesticidas, herbicidas, acaricidas, formicidas, cupinicidas, tanto por produtos líquidos aspergidos ou não, uma vez que partilham seus efeitos também sobre a flora, fauna, solo e atmosfera.

### **1.5 - Levantamento de Dados Sobre a Poluição Atmosférica na Região**

Passaremos a apresentar a descrição dos métodos e tabulação das informações obtidas na região quanto à poluição atmosférica com vista à obtenção do diagnóstico do meio ar.

#### **1.5.1 - Emissões Dispersas e Fugitivas**

As emissões dispersas provenientes de fontes espalhadas de qualquer espécie contribuem para compor o conjunto das emissões regionais, desconsideradas as de grande porte, localizadas e quantificáveis.

O somatório destas emissões dispersas pode, por vezes, representar valores apreciáveis. Para tanto, basta imaginar uma cidade qualquer, sem atividades de grande porte, poucas ou nenhuma de médio, mas muitas de pequeno porte que, somadas, podem equivaler a até alguma de grande porte. Uma vez que não existem disponíveis até a presente data levantamentos confiáveis (dados obtidos de observações de longa duração e para diversos parâmetros), nada pode ser feito de concreto a não ser esperar que, principalmente, o poder público forme núcleos regionais para a estimativa destes valores desconhecidos.

Consideraremos, até como margem de segurança, a contribuição destas emissões dispersas pequenas.

As emissões fugitivas são as localizadas, mas dificilmente quantificáveis, quer pela natureza do processo gerador, quer pela esporadicidade dos eventos, pela intensidade da ação ou até pela interferência que podem sofrer de agentes próximos, naturais ou não.

Como exemplo destas emissões fugitivas, temos a limpeza para desentupimento ou manutenção mecânica de sistemas que manuseiem pós, granulados e líquidos voláteis.

Outro exemplo são os sistemas de ventilação/exaustão de prédios/silos/tanques de estoque de materiais diversos. Praticamente todos os processos considerados com emissões fugitivas também sofrem a ação de correntes de advecção, bem como de ventos em certas direções desfavoráveis.

Por estes e outros fatores, estas emissões passam também a ser consideradas de valor pequeno, não contribuindo para a elaboração do diagnóstico, a menos que se pudesse quantificá-las relativamente (já que seus valores absolutos são aleatoriamente variáveis em intensidade, frequência e periodicidade).

### 1.5.2 - Emissões Localizadas

As emissões localizadas são aquelas que têm características locais definidas e são também quantificáveis em seus aspectos mais relevantes.

Estas fontes, já brevemente relatadas anteriormente, são constituídas basicamente dos seguintes empreendimentos:

- Usina Termelétrica Presidente Médici, fases A e B
- Companhia de Cimento Portland Gaúcho - VOTORAN
- Cimento e Mineração Bagé - CIMBAGÉ

Por meio de contatos mantidos com estas empresas, buscou-se quantificar as emissões brutas, com o propósito de utilizar estas informações no estudo de dispersão dos poluentes maiores, via simulação, usando modelo matemático de distribuição gaussiana. Com os elementos menores teremos um balanço das prováveis emissões, quantificadas, sem tratamento estatístico, uma vez que as fontes de informações são escassas para o empreendimento em questão.

Apresentamos a seguir uma síntese das informações pertinentes utilizadas na rodagem do programa de simulação de dispersão atmosférica.

QUADRO 1.23 - Dados da UTPM-fases A e B a plena carga

| DADOS                                                                                               | UTPM - A<br>(1+2) | UTPM - B<br>(3+4) |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|
| Produção de energia elétrica de referência (MW)                                                     | 116,3             | 320               |
| Consumo de carvão para a geração de referência (t/h - b.u.) (*)                                     | 122               | 260               |
| Temperatura dos gases de combustão na entrada da chaminé (°C)                                       | 147               | 157               |
| Emissão de SO <sub>2</sub> para a produção de referência (t/h) (**)                                 | 2,56              | 6,8               |
| Vazão total de gases (Nm <sup>3</sup> /h)                                                           | 674000            | 1.298.400         |
| Vazão de gases úmidos (m <sup>3</sup> /h)                                                           | 1111000           | 2.045.100         |
| Emissão de material particulado após precipitador eletrostático para a produção de referência (t/h) | 0,6               | 1,2               |
| Emissão de NO <sub>x</sub> para produção de referência. (t/h)                                       | 0,41              | 1,09              |

(\*) b.u. = base úmida

(\*\*) inclui óleo combustível utilizado na caldeira

Para a CIMBAGÉ, os dados são os mesmos já levantados, e encontram-se no item 1.4.2., Quadro 1.21 - Resumo das emissões atmosféricas da CIMBAGÉ.

Finalmente, para a Companhia de Cimento Portland Gaúcho-VOTORAN, os dados constam do item 1.4.2., Quadro 1.22 - Resumo das emissões atmosféricas da Companhia de Cimento Portland Gaúcho - Pinheiro Machado.

### **- Monitoramento de Óxidos de Enxofre**

Como plano elaborado em conjunto com o Centro de Ecologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul no final da década de 80, procurou-se verificar o real valor, mesmo que em um período de tempo curto, da concentração do dióxido de enxofre, ao nível do solo, na região em estudo.

Justifica-se este plano sob o seguinte enfoque:

- não existiam valores reais anteriores disponíveis da concentração do dióxido de enxofre na região;
- a informação disponível, fornecida pela FEPAM, é estimativa;
- dados de campanhas reais podem ser confrontados com os obtidos pela modelagem matemática e com o valor estimado pela FEPAM; e
- os testes com dois métodos diferentes em desenvolvimento permitiriam avaliar a metodologia, para em um futuro verificar-se a repetibilidade e conseqüente aplicabilidade confiável dos métodos.

Apesar dos esforços, não foi possível a realização de testes pelo método da para-rosanilina, apreçoado pela ABNT.

Os métodos utilizados - placa alcalina e bioacumuladores - têm sido cada vez mais aplicados, notadamente na Europa, mesmo onde os métodos analíticos possuem grande confiabilidade, principalmente devido aos equipamentos e técnicas especializadas nesta área do conhecimento.

Assim, o presente estudo teve por objetivo introduzir na região a metodologia da bioindicação, através da exposição de um vegetal já conhecido como acumulador de enxofre, com vistas a sugerir um monitoramento extensivo e de baixo custo para as imissões de  $\text{SO}_2$ .

Paralelamente, foi tentada a avaliação química destas imissões pela introdução do método SAM ("Surface Active Monitor") ou das placas alcalinas, que avalia a sulfatação total. Vasos coletores de particulados precipitáveis foram também instalados nas estações de amostragem.

Em que pese os trabalhos realizados com placas alcalinas e bioacumuladores, a JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA), no trabalho "THE STUDY ON EVOLUTION OF ENVIRONMENTAL QUALITY IN REGIONS UNDER INFLUENCE OF COAL STEAM POWER PLANTS IN THE FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL" - Maio e Junho de 1996, publicou relatórios parciais de monitoramento realizado também na região de Candiota que servirão igualmente para avaliar as condições de  $\text{SO}_x$  na região. Vale já comentar que, para o  $\text{NO}_x$  os novos relatórios serão usados.

### **- Bioindicadores**

A possibilidade de uso de organismos vivos para a indicação de condições ambientais, normais ou alteradas, baseia-se na sensibilidade: os seres vivos reagem aos estímulos externos representados por alterações no meio que os cerca.



Quando é possível identificar uma correlação entre as intensidades de um estímulo e de uma reação, o organismo é considerado como bioindicador, e a reação, tomada como parâmetro de avaliação daquele estímulo (Arndt et alii, 1987; Flores, 1987).

No caso da contaminação da atmosfera, diversos organismos vegetais têm sido identificados e padronizados como bioindicadores de certos poluentes.

O  $\text{SO}_2$ , principal poluente oriundo de combustões em fontes estacionárias, tem sido adequadamente monitorado por indicadores vegetais, seja através de parâmetros morfológicos ou fisiológicos, ou pela capacidade de acumulação de enxofre.

Dentre os vegetais mais usados para a bioindicação de  $\text{SO}_2$ , podemos citar:

- **Medicago sativa** L. (Legum.): alfafa
- **Pisum sativum** L. (Legum.): ervilha
- **Vicia faba** L. (Legum.): fava
- **Fagopyrum esculentum** Moench. (Polyg.): trigo mourisco
- **Plantago major** L. (Plant.): tanchagem
- **Brassica oleracea** L. var. *acephala* (Cruc.): couve
- **Lolium perenne** L. (Gram.): azevém perene
- **Lolium multiflorum** Lam. (Gram.): azevém

Os bioindicadores podem ser, a grosso modo, divididos em dois grupos: indicadores de reação e indicadores de acumulação. No primeiro caso, manifestam sintomas visíveis na estrutura ou mensuráveis por métodos fisiológicos ou bioquímicos; no segundo caso, o organismo tem a capacidade de acumular uma determinada substância existente nas imissões que o rodeiam, mostrando-se eficiente como monitor cumulativo.

As medidas foram feitas através de uma rede de 24 estações de amostragem distribuídas na área de abrangência do projeto, localizadas conforme o Quadro 1.24.

Mapas fornecidos pela CEEE, com isopletras calculadas para concentrações de imissões em três condições de funcionamento dos dois projetos, serviram de orientação para a distribuição das estações de amostragem. As isopletras foram calculadas levando em consideração as direções e velocidades predominantes dos ventos, características das emissões, altura das chaminés, etc.

As estações de amostragem consistiram de um suporte metálico tipo guarda-chuva, com 1,5 m de altura, ao qual foram fixados dois vasos para bioindicação.

Nos mesmos suportes, foram fixadas duas placas alcalinas de absorção de  $\text{SO}_x$  e dois jarros coletores de particulados.

A metodologia da bioindicação por acumulação de enxofre por gramíneas cultivadas é relatada a seguir.

A partir de estudos de bioindicação iniciados na Inglaterra, algumas espécies de gramíneas, em especial **Lolium multiflorum** L. (azevém), começaram a ser usadas em monitoramento ativo como acumuladoras do enxofre presente na atmosfera na forma de  $\text{SO}_x$ .

O azevém é largamente utilizado no Rio Grande do Sul como pastagem de inverno. Portanto, é uma gramínea adaptada ao nosso clima, e suas sementes são facilmente obtidas.





A exposição realizada nas estações de amostragem utilizou o azevém semeado em vasos plásticos de 15 cm de diâmetro e 13 cm de altura.

Os vasos eram embutidos em reservatórios plásticos com 6 litros de água.

Do reservatório, a água subia por capilaridade até o solo dos vasos através de 4 cordões de nylon sedoso.

QUADRO 1.24 - Estações de amostragem de sulfatação total e bioindicação da Região do Empreendimento Candiota III e distância aproximada em linha reta da UTPM

| ESTAÇÃO<br>NÚMERO | DISTÂNCIA (km) | DENOMINAÇÃO            |
|-------------------|----------------|------------------------|
| 01                | 0,7            | Hotel Candiota (*)     |
| 02                | 0,8            | Franklin               |
| 03                | 1,5            | Barragem               |
| 04                | 2,8            | Júlio César            |
| 05                | 2,3            | Fazenda E. Fagundes I  |
| 06                | 6,4            | Estância Candiota      |
| 07                | 7,5            | Estância Wanderlei     |
| 08                | 2,2            | Fazenda R. Martins     |
| 09                | 6,6            | Candiotão              |
| 10                | 1,3            | Valdori                |
| 11                | 1,2            | Almoxarifado CEEE      |
| 12                | 11,5           | Seival                 |
| 13                | 6,6            | Fazenda Boa Esperança  |
| 14                | 10,0           | Osvaldo Pedra          |
| 15                | 11,3           | Lancheria Blanck       |
| 16                | 3,5            | Plantação de cebola    |
| 17                | 9,5            | Dona Maria             |
| 18                | 13,8           | Granja Amor de Mãe     |
| 19                | 10,4           | Fazenda Casa Branca    |
| 20                | 4,1            | Fazenda E. Fagundes II |
| 21                | 6,3            | Aeroporto              |
| 22                | 6,6            | Mineração              |
| 23                | 10,1           | Boiada                 |
| 24                | 3,0            | Estância E. Macedo     |

Obs.: a localização destas estações é apresentada na Figura 1.28, de distribuição dos valores médios de enxofre por culturas de azevém.

(\*) O hotel hoje não mais é operacional.

Este procedimento de cultivo foi baseado em Arndt (1983), com alterações sugeridas pessoalmente por este autor, que atuou como consultor deste trabalho.

Duas semanas após a semeadura em casa de vegetação, as plantinhas, com cerca de 10 cm, eram ceifadas a 3 cm acima do solo, e os vasos eram transportados para exposição nas

estações de amostragem. Após um período de 3 a 5 semanas, as plantinhas eram novamente ceifadas, e o material colhido, levado ao laboratório para a determinação do conteúdo de enxofre.

Enquanto outros autores substituem os vasos a cada coleta, neste trabalho foi usado o procedimento de ceifas repetidas nos mesmos vasos, os quais permaneceram nas estações de amostragem durante todo o período de observação. Assim, foi possível obter valores de acumulação crescente devido ao enriquecimento em enxofre no sistema radicular.

A acumulação de enxofre pelas culturas de azevém (*Lolium multiflorum* L.), expostas em dois vasos por estação de amostragem, está expressa em percentagem em relação ao peso seco da amostra no Quadro 1.25 e representada pelos histogramas da Figura 1.24.

QUADRO 1.25 - Acumulação de enxofre pelas culturas de azevém

| ESTAÇÃO | 1º    | ACUMULAÇÃO DE S POR AZEVÉM |       |       |       |       |       |
|---------|-------|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|         | CORTE | (% S NA MATÉRIA SECA)      |       |       |       |       |       |
|         | 26/11 | 19/12                      | 13/01 | 12/02 | 12/03 | 16/04 | MÉDIA |
| 1       | 0,49  | 0,61                       | 0,53  | 0,51  | 1,53  | 1,63  | 0,96  |
| 2       | 0,93  | 0,31                       | 0,52  | 1,16  | 2,26  | 2,46  | 1,34  |
| 3       | 0,58  | 0,24                       | 0,65  | 0,79  | 2,33  | 1,70  | 1,14  |
| 4       | 0,45  | 0,38                       | 0,57  | 0,72  | 1,76  | 3,06  | 1,30  |
| 5       | 0,66  | 0,41                       | 0,46  | 1,09  | 2,08  | 2,83  | 1,37  |
| 6       | 0,27  | 0,47                       | 0,62  | 0,95  | 2,44  | -     | 1,12  |
| 7       | 0,34  | 0,38                       | 0,74  | 0,73  | 1,64  | 2,67  | 1,23  |
| 8       | 0,44  | 0,52                       | 0,64  | 0,89  | 2,40  | 2,79  | 1,45  |
| 9       | 0,30  | 1,21                       | 0,67  | 0,70  | 2,52  | 2,56  | 1,53  |
| 10      | 0,36  | 0,45                       | 0,75  | 0,80  | 2,41  | 2,88  | 1,46  |
| 11      | 0,33  | 0,62                       | 0,79  | 0,99  | 1,78  | 3,11  | 1,46  |
| 12      | 0,29  | 0,48                       | 0,54  | 0,90  | 1,64  | 1,77  | 1,07  |
| 13      | 0,27  | 0,57                       | 0,52  | 0,72  | 1,62  | 3,30  | 1,35  |
| 14      | 0,44  | 0,72                       | 0,58  | 0,78  | 1,99  | 1,95  | 1,08  |
| 15      | 0,43  | 0,32                       | -     | 0,79  | 1,86  | 2,20  | 1,29  |
| 16      | 0,42  | 0,52                       | 0,53  | 0,88  | 1,60  | 2,09  | 1,12  |
| 17      | 0,29  | 0,33                       | 0,56  | 1,03  | 1,99  | 1,84  | 1,15  |
| 18      | 0,37  | 0,61                       | 0,48  | 0,71  | 1,76  | 1,69  | 1,05  |
| 19      | 0,24  | 0,32                       | 0,52  | 0,85  | 1,72  | 1,95  | 1,07  |
| 20      | 0,35  | -                          | 0,46  | 0,70  | 2,12  | 2,50  | 1,44  |
| 21      | 0,19  | 0,44                       | 0,60  | 1,02  | 1,84  | 2,13  | 1,20  |
| 22      | 0,53  | 0,25                       | 0,68  | 0,99  | 1,98  | 1,50  | 1,08  |
| 23      | 0,34  | 0,60                       | 0,56  | 1,83  | 1,79  | -     | 1,19  |
| 24      | 0,46  | 0,60                       | 0,33  | 1,99  | 2,48  | 1,98  | 1,47  |
| MÉDIA   | 0,41  | 0,49                       | 0,58  | 0,94  | 1,98  | 2,30  | -     |

Obs.: Os valores da primeira coluna (26/11) foram obtidos antes da exposição em campo, não entrando no cálculo das médias por estação de amostragem.

Como foi usado o procedimento de ceifas repetidas, a acumulação foi crescente. Isto pode ser resultante do enriquecimento em enxofre no sistema radicular oriundo do solo do vaso e da água do reservatório. Estes, por sua vez, receberam enxofre com a água da chuva.

Por outro lado, esta acumulação crescente deve estar também relacionada com o aumento da imissão, evidenciada pela taxa de sulfatação, nos últimos meses do período de amostragem, conforme se pode observar na Figura 1.24.

Pelo exame dos histogramas, pode-se observar que os valores mais baixos ocorreram predominantemente nas estações mais distantes da fonte emissora e também, como era esperado, nos quadrantes varridos pelas direções predominantes dos ventos.

Tomando-se os valores médios obtidos nos 48 vasos (24 estações) a cada coleta, conforme já visto no Quadro 1.25, verificamos a evolução da acumulação de enxofre pelo azevém na área do trabalho, ilustrado na Figura 1.24.

O gráfico obtido antes mostra uma tendência crescente esperada, acompanhando as taxas de sulfatação (Figura 1.25).

Esta tendência pode ser comparada com a tendência observada nos valores obtidos com 6 vasos de azevém expostos em área semi-rural de Porto Alegre, conforme Figura 1.26.

Obs.: Os valores iniciais e finais são muito semelhantes, permitindo uma comparação entre a imissão em Candiota e na periferia semi-rural de Porto Alegre.

Também foi possível agrupar valores de acumulação de enxofre, delineando zonas de acumulação baixa, média e alta, em comparação com o valor médio geral de todas as estações. Para este caso, não foi possível agrupamentos por intervalo, como foi realizado com o método de taxa de sulfatação SAM.

Entretanto, a média das médias de grupos próximos permitiu delinear três zonas com níveis de acumulação semelhantes, conforme mostrado na Figura 1.27.

A primeira, subdividida em duas, é constituída por valores médios em torno de 1,0%; a segunda agrupa médias entre 1,2 e 1,3%; finalmente, a terceira, mais próxima da fonte emissora, é composta por valores médios em torno de 1,4% de enxofre.

O zoneamento assim obtido parece estar relacionado com a influência dos ventos de leste e sul, predominantes na região no período de observação.

#### - Placas Alcalinas

A metodologia de uso de placas alcalinas para absorção de  $\text{SO}_x$  ou "Surface Active Monitor" (SAM) tem procedimento proposto e utilizado por Wallar & Huey (1969), com adaptações feitas pelo "Umweltdundesamt" (Escritório Federal do Ambiente) de Berlim.

Em uma placa de Petri plástica, com 5 cm de diâmetro, era colocado um disco de filtro de fibra de vidro (S&S GF 92) mantido por pressão por um anel de plástico interrompido de diâmetro maior que o da placa.

Sobre o disco, era espalhado 1 ml de uma solução de carbonato de potássio a 30%. A placa era então colocada, sendo tampada durante o transporte para evitar o ataque imediato pelo  $\text{SO}_2$  atmosférico.

Nas estações de amostragem, as placas eram fixadas ao suporte, sem tampa e com a abertura para baixo, permanecendo de 3 a 5 semanas expostas ao ar.

A presença de  $\text{SO}_x$  na atmosfera é monitorada devido à substituição de carbonato conforme, por exemplo, a seguinte reação:



Após o período de exposição, as placas eram retiradas e tampadas. Em laboratório, o disco de fibra de vidro era retirado com pinça e colocado em um Erlenmeyer de 100 mL. A placa era lavada com 50 mL de água destilada, despejada no Erlenmeyer sobre o disco. Com agitação forte ou em banho de microondas, as substâncias presentes no disco eram eluídas.

Através de reação com cloreto de bário, o sulfato precipitado era determinado por turbidimetria, segundo procedimento usado pela CETESB-SP para o método da placa alcalina.

Os valores obtidos são expressos como taxa de sulfatação em  $\text{mg SO}_3/\text{dm}^2$  dia.

Concomitante ao trabalho de monitoramento de  $\text{SO}_2$  atmosférico, foi idealizada a execução de ensaio de deposição de poeira sedimentável pelo Método do Jarro, segundo o procedimento descrito no Manual do Meio Ambiente da FEEMA, de 1979.

No presente caso, o vaso descrito no manual foi substituído por um jarro plástico de 2 litros, com 8,8 cm de diâmetro na boca e 12,5 cm de diâmetro no corpo. Dois destes jarros, com 500 mL de uma solução de sulfato de cobre a 10%, como algicida, foram fixados ao suporte nas estações de amostragem, destampados, lá permanecendo por 3 a 5 semanas. Após este período, eram substituídos por outros e levados ao laboratório.

Depois da lavagem cuidadosa das paredes internas, todo o conteúdo líquido do jarro era transferido, passando por uma peneira de 32 mesh, para um béquer previamente pesado.

A parte líquida era evaporada em estufa e o depósito remanescente quantificado por peso em relação à área da boca do jarro e ao tempo de exposição.

A coleta de poeira sedimentável não forneceu dados aproveitáveis: alguns jarros coletores foram extraviados ou infestados por insetos nas estações de coleta.

Em laboratório, a avaliação não foi adequada para mensurar valores muito baixos.

Estes valores baixos seriam esperados admitindo o funcionamento eficiente dos precipitadores eletrostáticos.

### - Discussão dos Resultados

Apesar de o período de observação (dezembro/87 a abril/88) ter sido, a nosso critério, insuficiente para fornecer um conjunto de dados que possibilitasse uma análise estatística acurada, já que para cada uma das 24 estações foram obtidos apenas 5 valores, seja para a taxa de sulfatação via placa alcalina, seja para a acumulação biológica do enxofre no azevém, estes valores indicativos são de grande importância para o presente trabalho por representarem o primeiro resultado real das condições atuais na região de Candiota.

Mesmo com um número relativamente reduzido de dados, sua análise permitiu a obtenção de informações muito interessantes, e poderiam ser sistematizadas para períodos mais longos, obtendo-se zonas de isocomportamento, que poderiam inferir, comparando com a análise de  $\text{SO}_2$  atmosférico, os valores reais de correlação.

### - Taxa de sulfatação

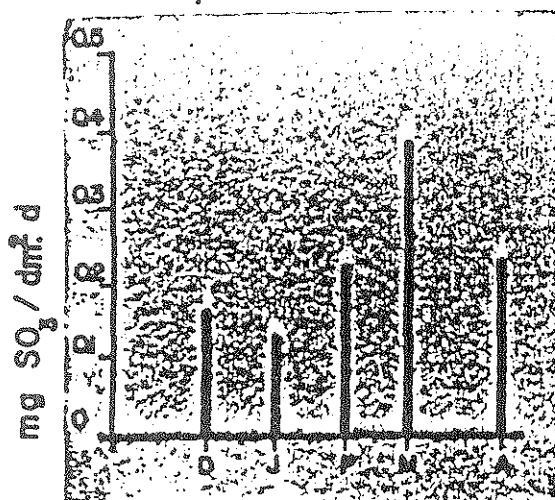
Os valores obtidos com o método SAM ou das placas alcalinas, com média de 2 valores em cada estação de amostragem, constam do Quadro 1.26 e são representados na Figura 1.18.

QUADRO 1.26 - Valores médios (2 placas) de taxa de sulfatação obtidos por coleta em cada estação de amostragem pelo método das placas alcalinas (SAM)

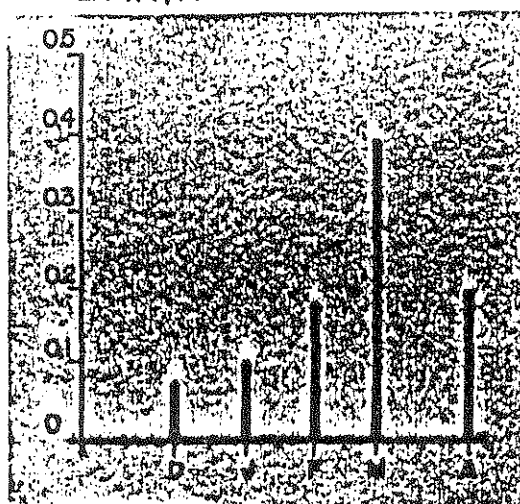
| ESTAÇÕES | TAXA DE SULFATAÇÃO (mg SO <sub>3</sub> /dm <sup>2</sup> .dia) |          |          |          |          |       |
|----------|---------------------------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|-------|
|          | 19/12/87                                                      | 13/01/88 | 12/02/88 | 12/03/88 | 16/04/88 | MÉDIA |
| 1        | 0,232                                                         | 0,172    | 0,140    | 0,256    | 0,335    | 0,227 |
| 2        | 0,225                                                         | 0,137    | 0,058    | 0,306    | 0,315    | 0,208 |
| 3        | 0,167                                                         | 0,116    | 0,068    | 0,278    | 0,250    | 0,176 |
| 4        | 0,162                                                         | 0,166    | 0,112    | 0,335    | 0,320    | 0,219 |
| 5        | 0,148                                                         | 0,147    | 0,128    | 0,330    | 0,370    | 0,225 |
| 6        | 0,205                                                         | 0,108    | 0,126    | 0,287    | 0,242    | 0,194 |
| 7        | 0,092                                                         | 0,130    | 0,128    | 0,218    | 0,227    | 0,159 |
| 8        | 0,220                                                         | 0,266    | 0,175    | 0,358    | 0,312    | 0,266 |
| 9        | 0,114                                                         | 0,070    | 0,162    | 0,335    | 0,286    | 0,193 |
| 10       | 0,131                                                         | 0,086    | 0,106    | 0,638    | 0,321    | 0,256 |
| 11       | 0,088                                                         | 0,058    | 0,133    | 0,263    | 0,442    | 0,197 |
| 12       | 0,116                                                         | 0,040    | 0,105    | 0,176    | 0,198    | 0,127 |
| 13       | 0,095                                                         | 0,126    | 0,152    | 0,272    | 0,256    | 0,180 |
| 14       | 0,123                                                         | 0,098    | 0,146    | 0,260    | 0,218    | 0,169 |
| 15       | 0,092                                                         | 0,022    | 0,149    | 0,250    | 0,201    | 0,143 |
| 16       | 0,210                                                         | 0,105    | 0,190    | 0,428    | 0,311    | 0,249 |
| 17       | 0,169                                                         | 0,126    | 0,220    | 0,381    | 0,231    | 0,225 |
| 18       | 0,078                                                         | 0,102    | 0,180    | 0,388    | 0,195    | 0,189 |
| 19       | 0,145                                                         | 0,143    | 0,219    | 0,230    | 0,275    | 0,202 |
| 20       | 0,108                                                         | 0,074    | 0,146    | 0,205    | 0,320    | 0,171 |
| 21       | 0,157                                                         | 0,115    | 0,185    | 0,219    | 0,281    | 0,191 |
| 22       | 0,117                                                         | 0,092    | 0,216    | 0,587    | 0,389    | 0,280 |
| 23       | 0,085                                                         | 0,070    | 0,117    | 0,250    | -        | 0,130 |
| 24       | 0,191                                                         | 0,106    | 0,154    | 0,302    | 0,289    | 0,208 |
| MÉDIA    | 0,145                                                         | 0,111    | 0,146    | 0,315    | 0,286    | 0,200 |

FIGURA 1.17 · Valores médios (2 placas) da taxa de Sulfatação obtidos em cada coleta nas 24 estações de amostragem na Região do empreendimento Candiota III · Bage · RS, 1987/88

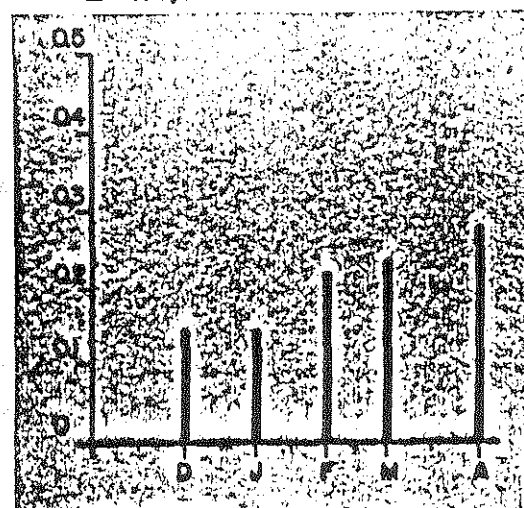
ESTAÇÃO 1



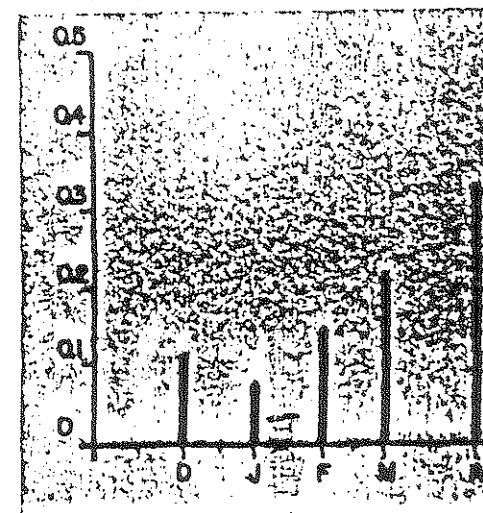
ESTAÇÃO 2



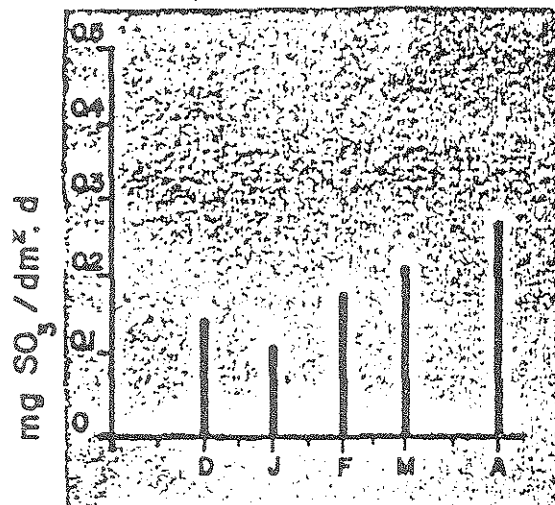
ESTAÇÃO 3



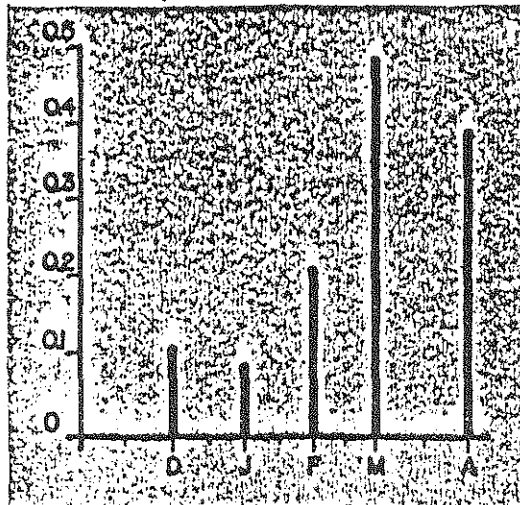
ESTAÇÃO 4



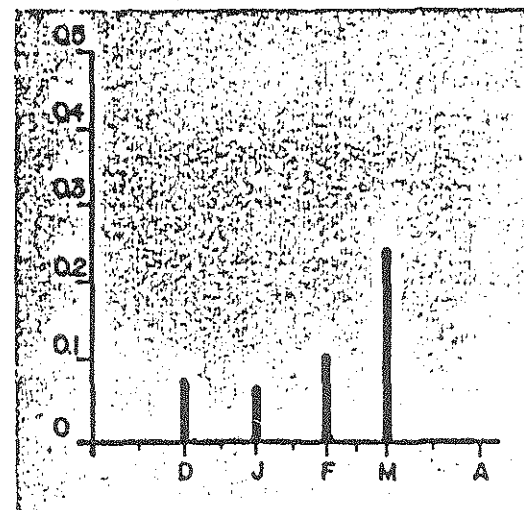
ESTAÇÃO 5



ESTAÇÃO 6



ESTAÇÃO 7



ESTAÇÃO 8

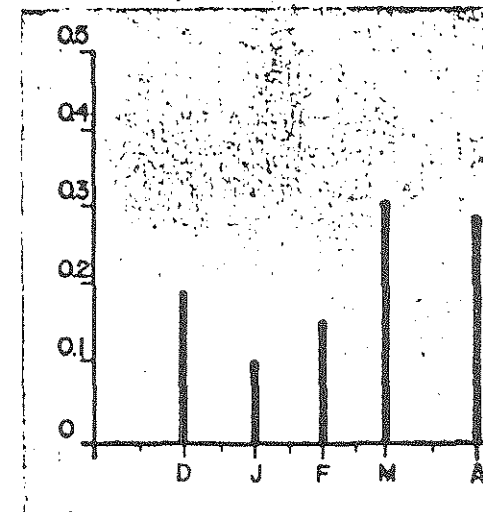




FIGURA 1.17 · (Continuação)

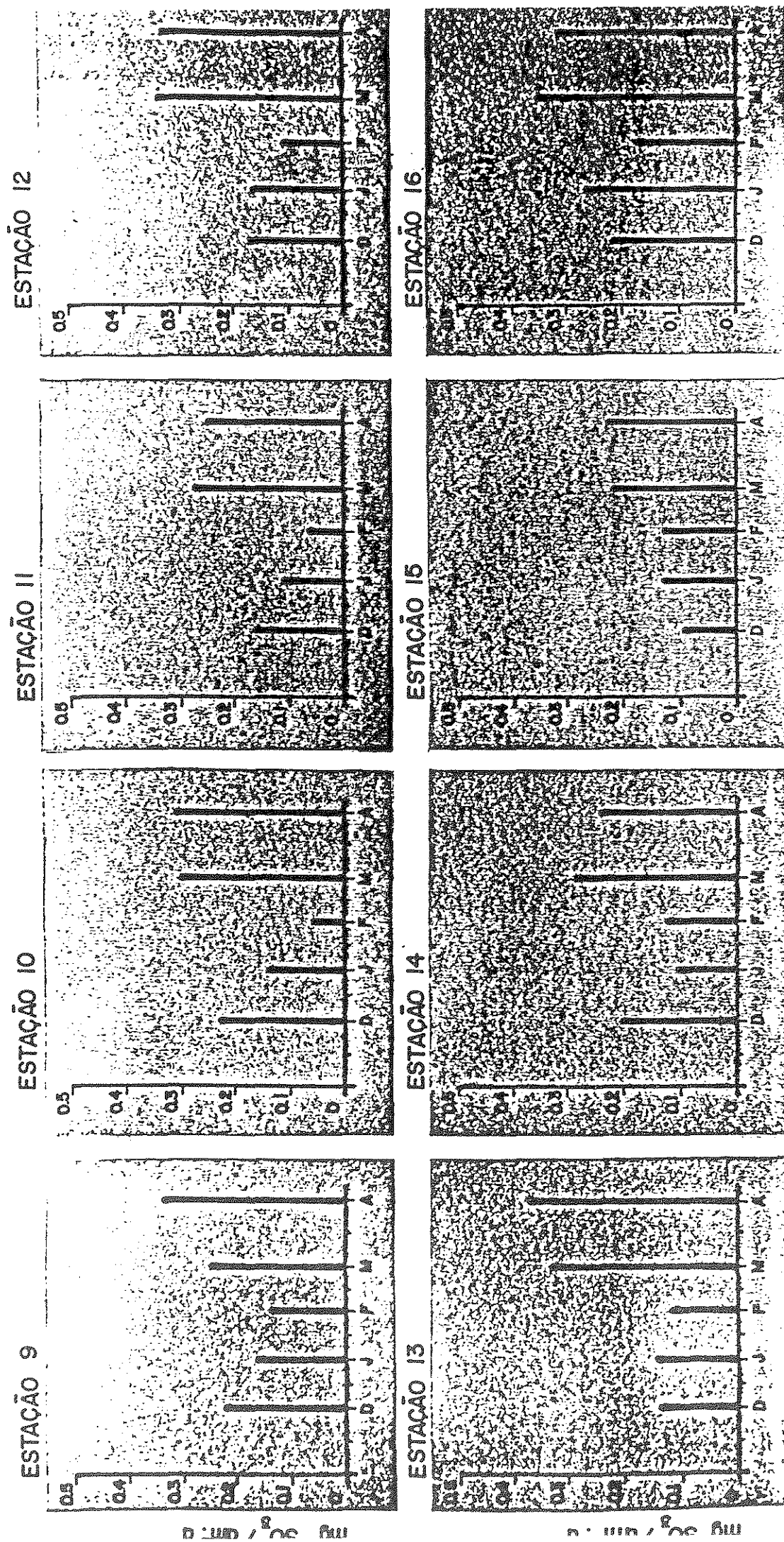
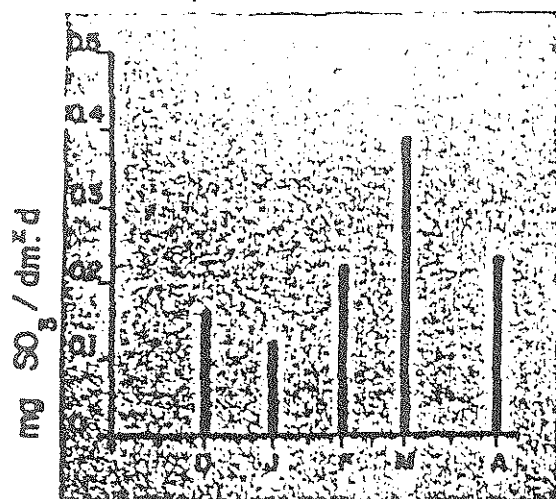
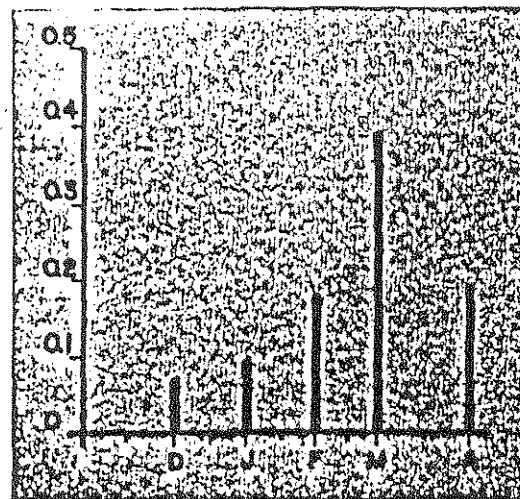


FIGURA 1.17 - (Continuação)

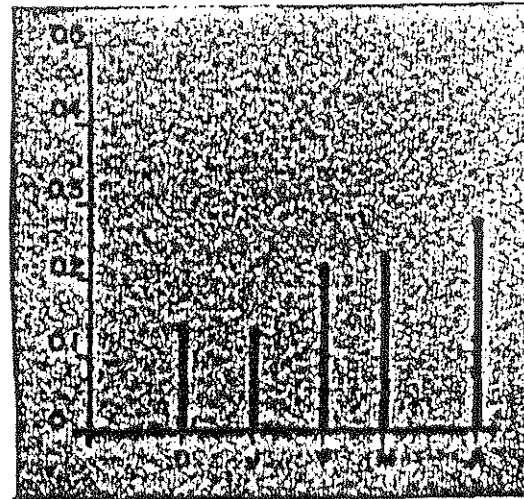
ESTAÇÃO 17



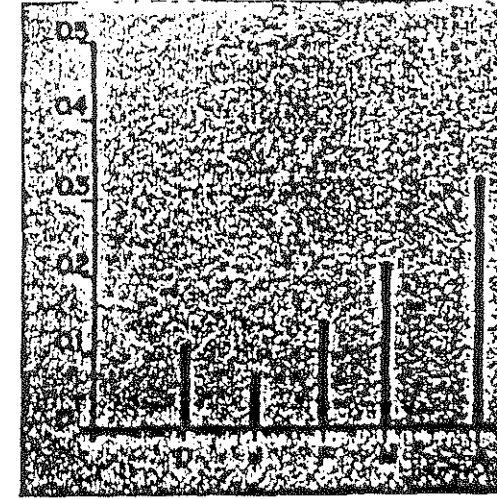
ESTAÇÃO 18



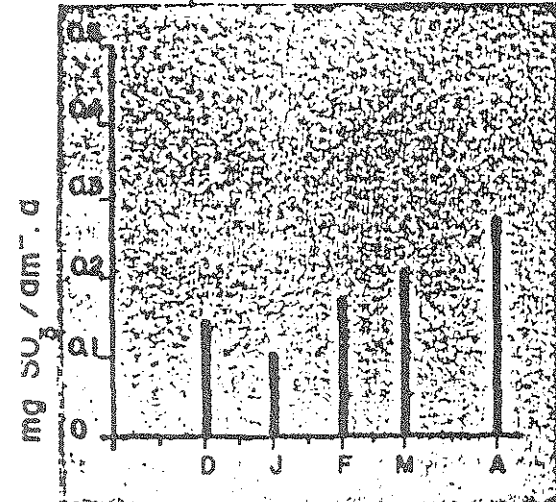
ESTAÇÃO 19



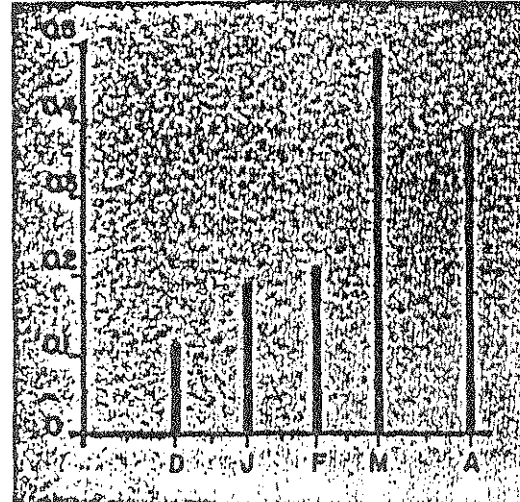
ESTAÇÃO 20



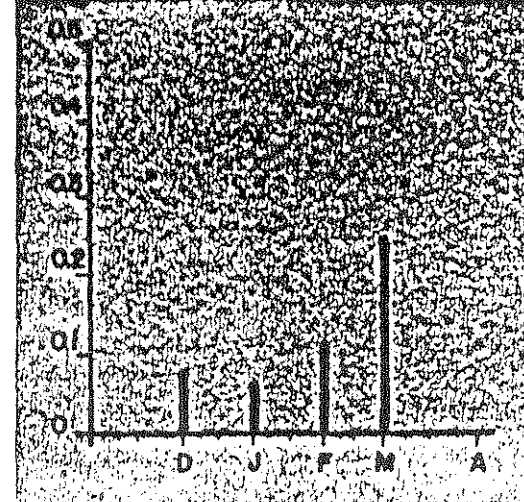
ESTAÇÃO 21



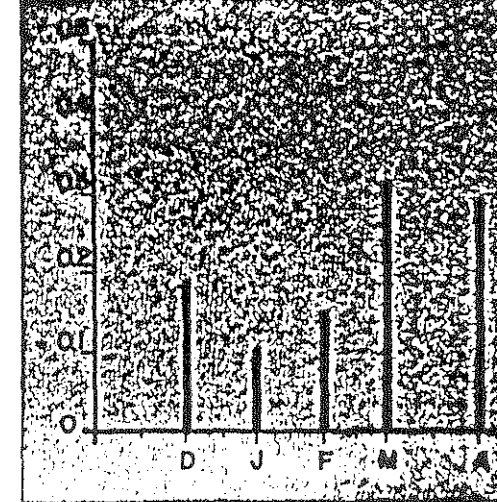
ESTAÇÃO 22



ESTAÇÃO 23



ESTAÇÃO 24





Embora os valores tenham apresentado uma grande variação, acreditamos que correspondam às taxas reais de sulfatação no período.

Esta crença está calcada nas constatações verificadas em experimento paralelo que permite afiançar a afirmação anterior, conforme segue.

Para verificar a eficiência da absorção de  $\text{SO}_x$  pelas placas alcalinas conforme o tempo de exposição, foi montado um experimento na área urbana de Porto Alegre, cujos resultados permitiram traçar a curva mostrada na Figura 1.18.

Nos primeiros 5 dias, a absorção foi muito grande, decrescendo até os 30 dias, quando então se estabilizou, significando que a placa alcalina alcançou o equilíbrio com a imissão.

Assim, o período de 30 dias mostrou-se adequado para a exposição, enquanto a constância na variação da curva pode assegurar confiança no método para avaliação da taxa de sulfatação.

Por outro lado, medidas obtidas em zona semi-rural, durante 3 meses, não mostraram tanta variação quanto as obtidas junto à fonte emissora.

Nas proximidades da UTPM, tanto a variação na direção do vento, quanto a intermitência do funcionamento e mesmo a ação de anteparos ou da topografia justificam a variabilidade dos dados.

A análise da frequência de ocorrência de valores dentro de determinadas faixas, em todas as estações e durante todo o período (Figura 1.19), demonstra que foram mais frequentes os valores entre 0,1 e 0,15  $\text{mgSO}_3/\text{dm}^2\cdot\text{dia}$ . Estes valores mais baixos, no entanto, correspondem a menos de 50% dos dados obtidos (Figura 1.20).

As médias por coleta, conforme podemos observar na Figura 1.21, indicam que, no período entre 12/02 e 16/04, ocorreram os valores mais elevados.

Entretanto, as médias por estações de amostragem, conforme vemos na Figura 1.22, mostram que os pontos 8 e 10 foram os mais fortemente atingidos pela imissão.

O ponto 22, localizado na área de mineração, pode ter tido seus valores comprometidos por imissão natural de  $\text{SO}_x$ .

Para verificar a distribuição dos valores médios na área estudada, foi feito o seguinte agrupamento de estações de amostragem por intervalos.

QUADRO 1.27 - Distribuição dos valores médios das taxas de sulfatação nas estações de amostragem

| MÉDIAS<br>(mgSO <sub>3</sub> /dm <sup>2</sup> .dia) | ESTAÇÕES DE AMOSTRAGEM    |
|-----------------------------------------------------|---------------------------|
| < 0,15                                              | 12-15-23                  |
| < 0,20                                              | 3-6-7-9-11-13-14-18-20-21 |
| < 0,25                                              | 1-2-4-5-16-17-19-24       |
| < 0,30                                              | 8-10                      |

Interligando estes pontos por agrupamentos, foi possível traçar faixas indicativas de uma distribuição equilibrada de valores mais altos, mais baixos e médios, vistos na Figura 1.23.

As faixas obtidas acompanham, com acentuada coincidência, as curvas de simulação de imissão previamente elaboradas. As intersecções entre faixas e pontos que escapam ao agrupamento devem decorrer de influências da topografia e mesmo de falhas de mensuração.

A taxa de sulfatação expressa a quantidade de compostos ácidos de enxofre na atmosfera.

Adotando a correlação de Huey (1968), qual seja,

$$1 \text{ mg SO}_3/\text{dm}^2.\text{dia} = 0,035 \text{ ppm SO}_2,$$

e tomando os valores médios da taxa de sulfatação por coleta (Figura 1.21), obtém-se o Quadro 1.28.

QUADRO 1.28- Quantidade de compostos ácidos de enxofre na atmosfera

| DATA     | mg SO <sub>3</sub> /dm <sup>2</sup> .dia | µg SO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> | ppm   |
|----------|------------------------------------------|------------------------------------|-------|
| 19/12/87 | 0,145                                    | 13,3                               | 0,005 |
| 13/01/88 | 0,111                                    | 10,2                               | 0,004 |
| 12/02/88 | 0,146                                    | 13,4                               | 0,005 |
| 12/03/88 | 0,315                                    | 28,9                               | 0,011 |
| 16/04/88 | 0,286                                    | 26,2                               | 0,010 |

Obs.: os valores de taxa de sulfatação anteriores foram multiplicados por 0,035, resultando em valores de ppm (partes por milhão), e estes foram multiplicados por 2620, que é o valor da conversão para a temperatura base de 25°C e pressão atmosférica de 760 mm Hg, donde resultaram os valores de concentração em µg/m<sup>3</sup>.

Estes cálculos permitem usar o seguinte fator aproximado de multiplicação:

$$\text{mg SO}_3/\text{dm}^2.\text{dia} \times 92 = \mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$$

Por outro lado, um estudo realizado pela UMWELTBUNDESAMT em 1985, comparando dados de emissão de  $\text{SO}_2$  com taxas de sulfatação obtidas com o método SAM em duas cidades, nos permite confirmar a avaliação aproximada da média diária de emissão pela taxa de sulfatação.

As correlações calculadas pela UMWELTBUNDESAMT são traduzidas pelas seguintes equações:

$$Y = 0,2 + 0,9 X$$

$$X = -0,2 + 1,1 Y,$$

onde,  $X$  = concentração ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) e  $Y$  = taxa de sulfatação ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2.\text{d}$ ).

Para este estudo, foram usados 63 pares de dados e obtido um coeficiente de correlação  $r = 0,98$ .

Assim, com as devidas transformações nos dados anteriores, obtém-se o Quadro 1.29

QUADRO 1.29 - Média diária de emissão de  $\text{SO}_2$

| DATA     | mg $\text{SO}_3/\text{dm}^2.\text{dia}$ | $\mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$ | ppm   |
|----------|-----------------------------------------|-------------------------------|-------|
| 19/12/87 | 0,145                                   | 13,9                          | 0,005 |
| 13/01/88 | 0,111                                   | 10,1                          | 0,004 |
| 12/02/88 | 0,146                                   | 14,0                          | 0,005 |
| 12/03/88 | 0,315                                   | 32,8                          | 0,013 |
| 16/04/88 | 0,286                                   | 29,6                          | 0,011 |

Como se verifica, os valores são praticamente os mesmos, provavelmente diferindo menos do que um desvio padrão calculado.

Com isto, se poderia concluir que, mesmo para valores mais elevados (Estação 10, em 12/03 :  $0,638 = 58,7\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), (Quadro 1.26) a média anual admitida - padrão nacional - não teria sido atingida, permanecendo todos os valores bem afastados do máximo diário permitido pela RESOLUÇÃO CONAMA N° 003.

Ainda dos dados anteriores, basicamente realizando um levantamento da média dos valores de sulfatação, de todas as estações de todas as coletas (240 dados), temos que o valor médio da concentração de  $\text{SO}_x$  pelo método SAM é de  $0,20 \text{ mg SO}_3/\text{dm}^2.\text{dia}$ , que pode representar a concentração máxima de fundo ("background") da região de Candiota onde se localiza a UTPM.

Este valor médio de  $0,20 \text{ mg SO}_3/\text{dm}^2.\text{dia}$ , transformado em concentração volumétrica pelo cálculo já anteriormente explicado, nos fornece:

| mg $\text{SO}_3/\text{dm}^2.\text{dia}$ | $\mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$ | ppm    |
|-----------------------------------------|-------------------------------|--------|
| 0,20                                    | 18,4                          | 0,0070 |



Este valor de concentração de  $\text{SO}_2$  presente na área próxima à UTPM é inferior ao avaliado pelo FEPAM que, conforme correspondência Inf. nº DMA/DEA/375-87, deveria estar entre 20 e  $30\mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$ .

É interessante observar que o valor encontrado de  $18,4 \mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$  é médio dentro de uma área bastante próxima à UTPM e que, em uma área de influência centrada na UTPM, com raio de 15 quilômetros, abrangendo distribuição equitativa de estações de monitoramento em todos os quadrantes, durante um período mais longo, este valor certamente seria menor e melhor representaria a atual situação da presença de  $\text{SO}_2$  na atmosfera conforme indica o método SAM.

Justifica-se a afirmação posto que as estações de monitoramento foram propositalmente instaladas nas regiões cobertas pelas emissões advindas da UTPM varridas pela direção predominante do vento, baseado em estudo anterior, via modelagem matemática, exatamente para alcançar as maiores concentrações e não apenas as médias representativas da região.

FIGURA 1.18 - Taxa de Sulfatação:

- a. Curva de absorção de  $\text{SO}_x$  em relação ao tempo de exposição em área urbana;
- b. Taxas obtidas em exposições de 4 semanas em zona semi-rural - Porto Alegre /88.

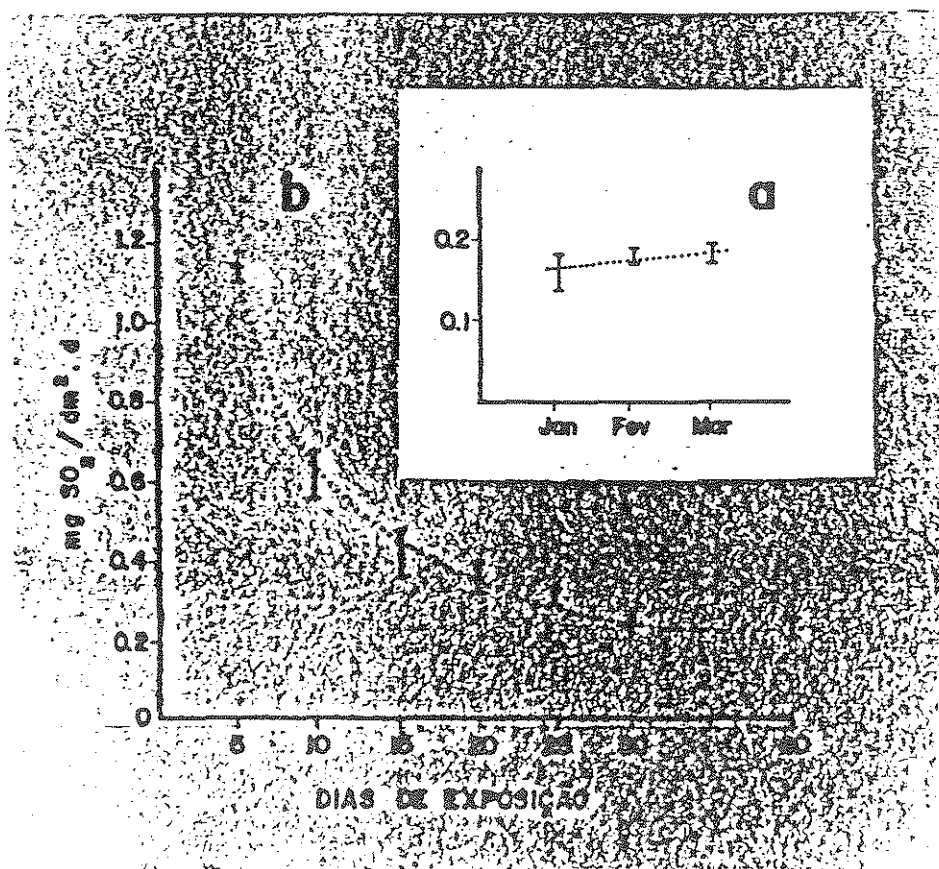




FIGURA 1.19 - Frequência absoluta dos valores de taxa de sulfatação de 223 dados obtidos nas 24 estações de amostragem.

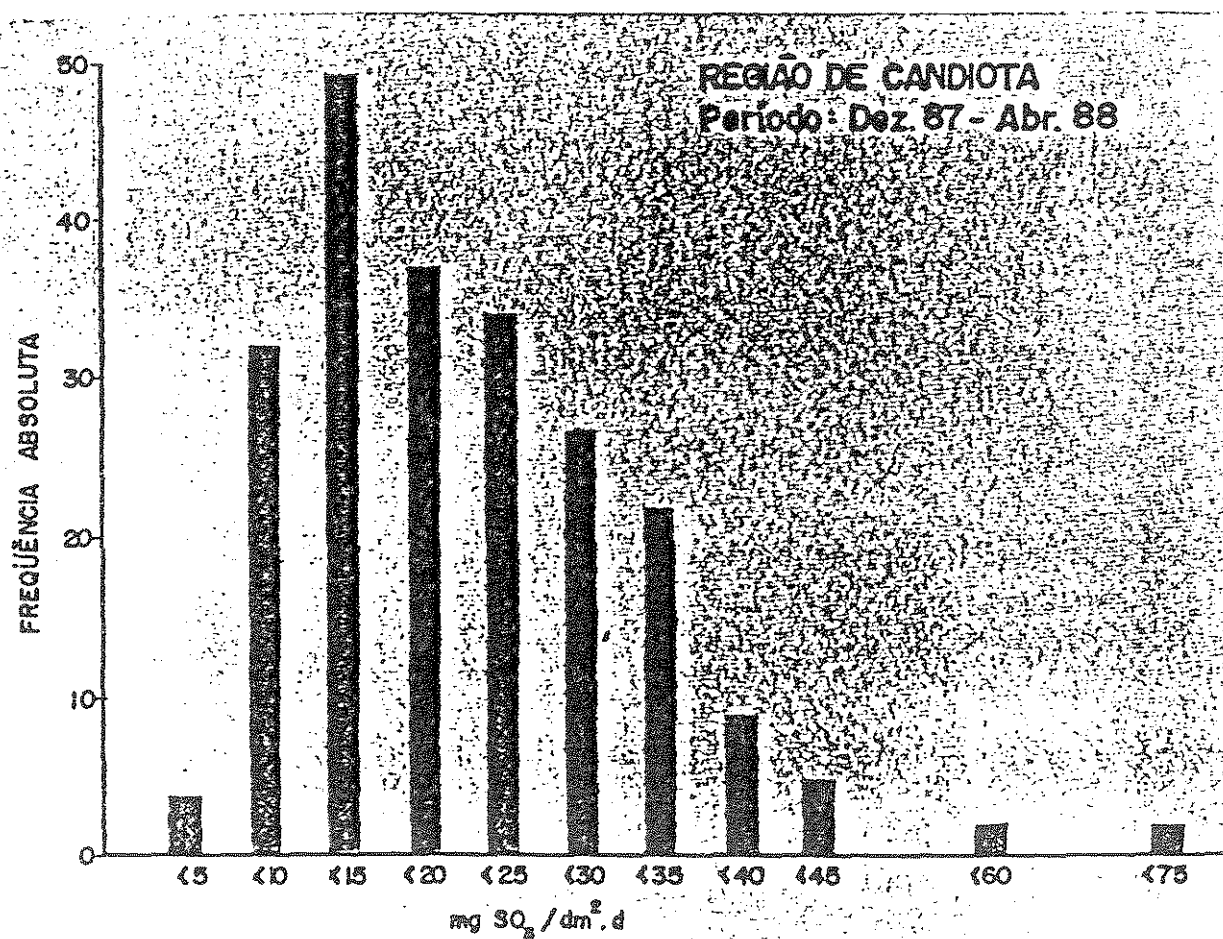




FIGURA 1.20 - Frequência relativa (%) dos valores de taxa de sulfatação de 223 dados obtidos nas 24 estações de amostragem.

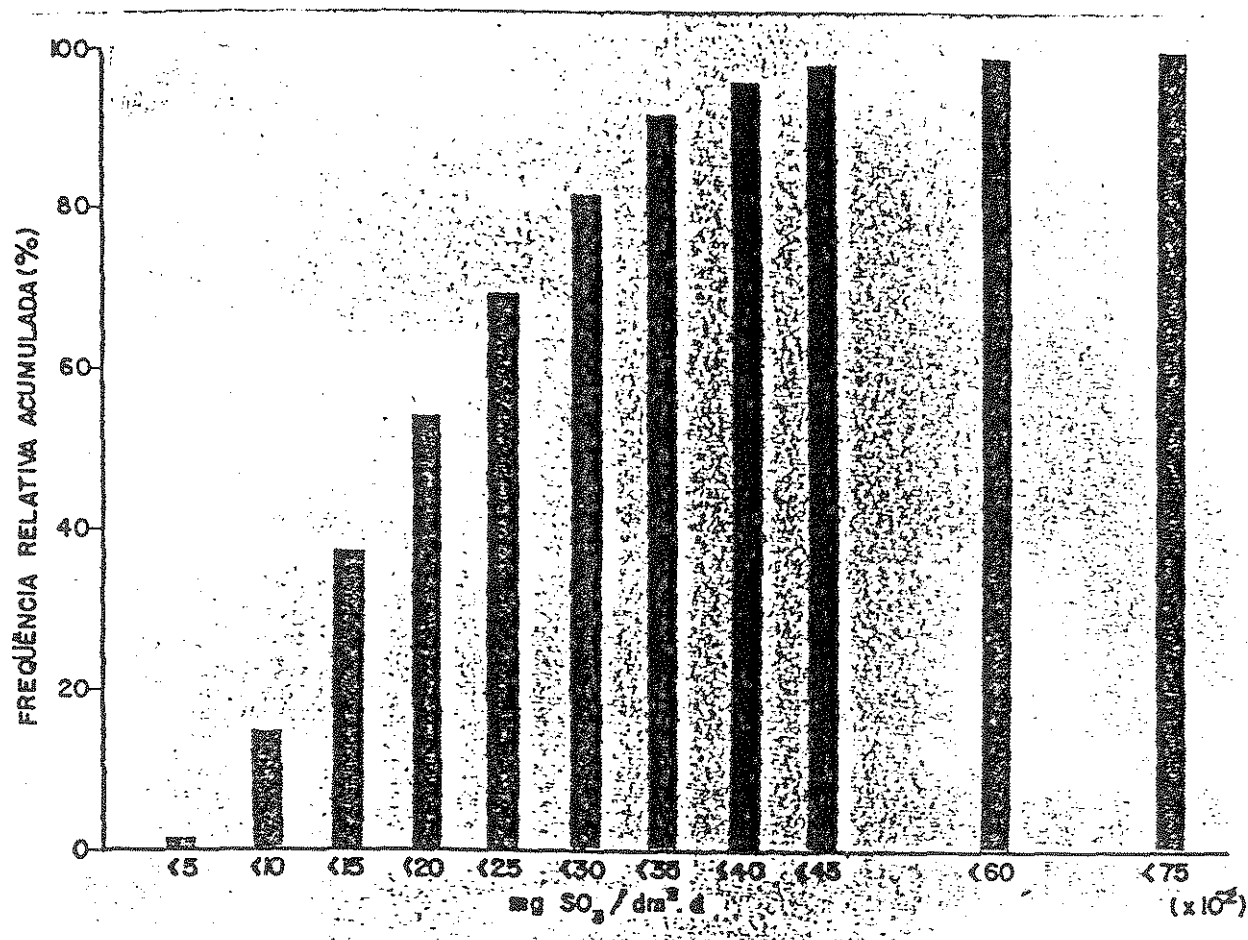


FIGURA 1.21 - Taxa de sulfatação - médias de 48 valores (24 estações de amostragem) em cada coleta na área do empreendimento CANDIOTA III - Bagé - RS, 1987/88.

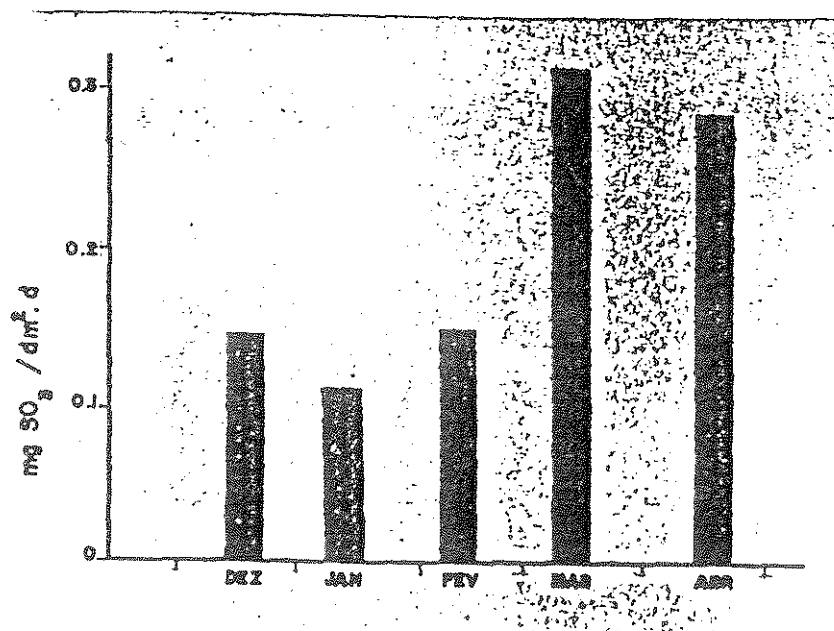
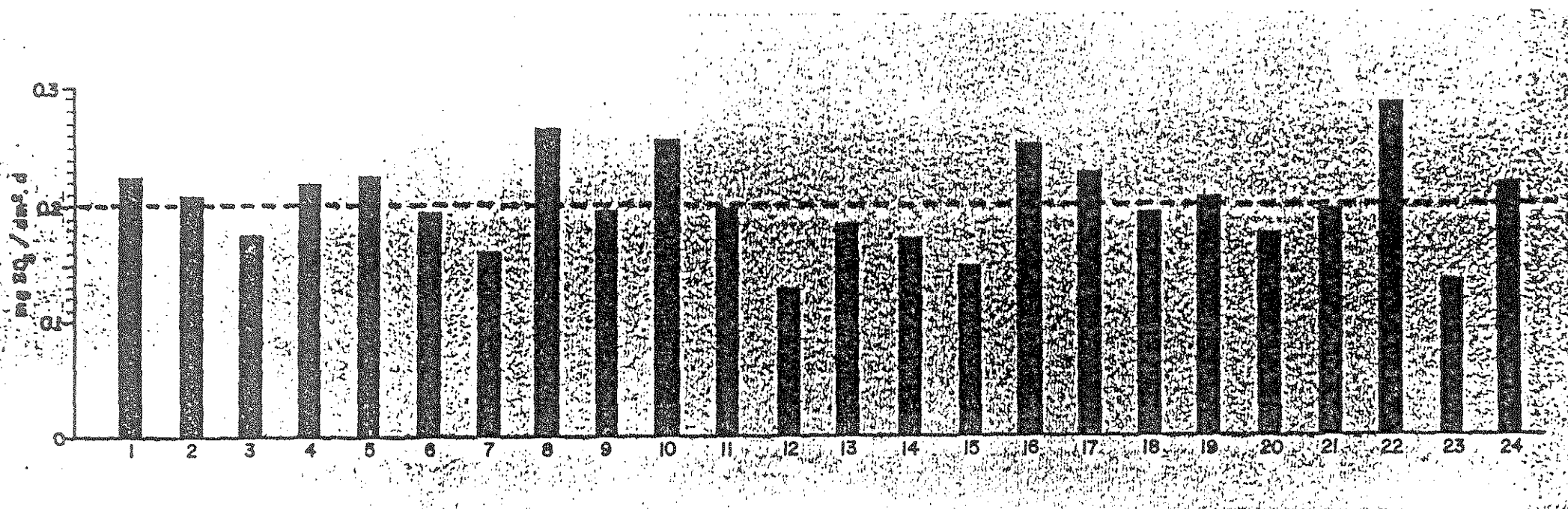
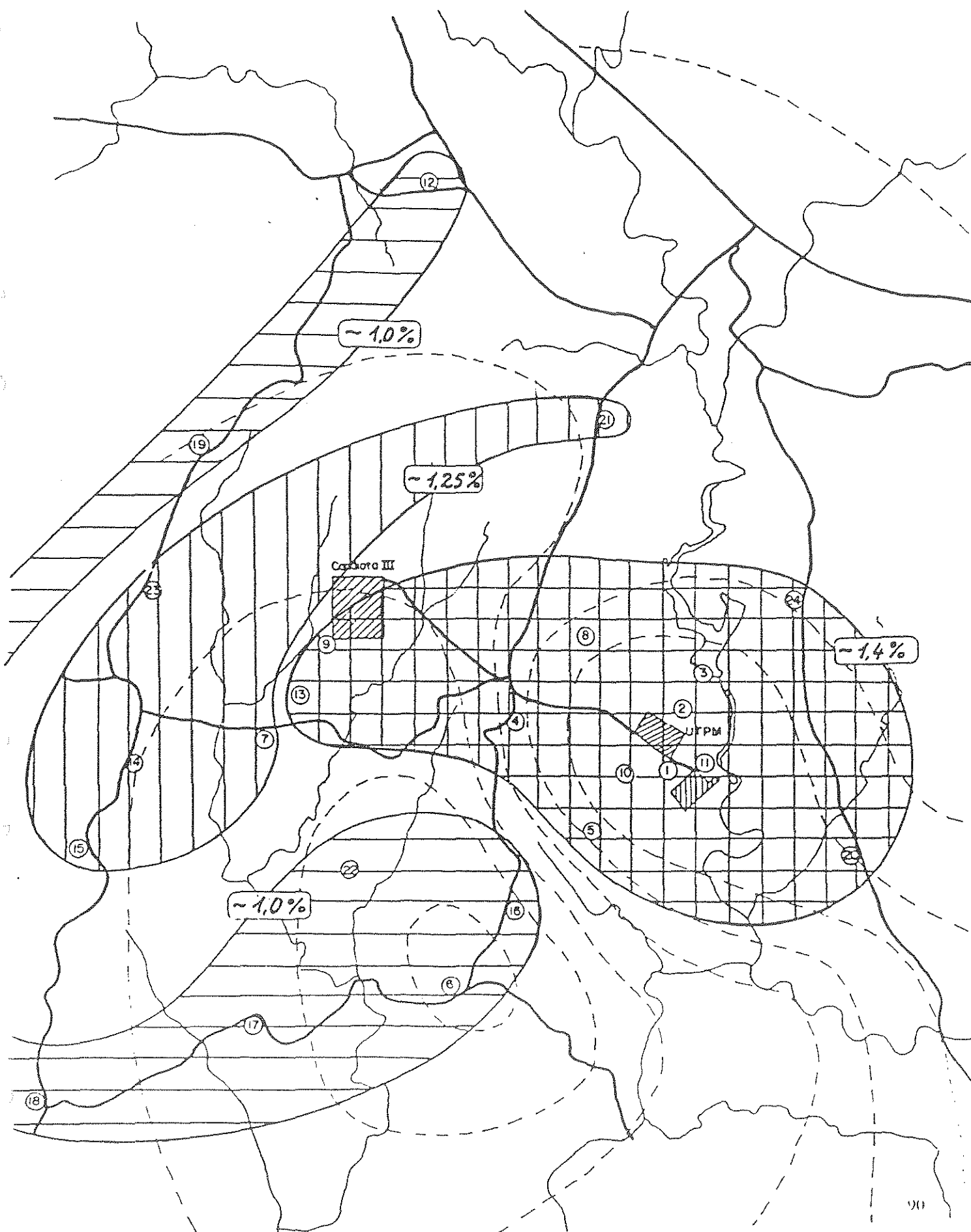


FIGURA 1.22 · Taxa de Sulfatação · médias de 10 valores (5 coletas de 2 placas) por estação de amostragem da área do empreendimento CANDIOTA III · Bagé · RS, 1987/88.



POR ESTAÇÕES DE AMOSTRAGEM NA ÁREA DE CANDIOTA - 1987/88  
 POR ESTAÇÕES DE AMOSTRAGEM NA ÁREA DE CANDIOTA - 1987/88





Dos trabalhos desenvolvidos pela JICA, reproduzimos a seguir resultados de determinação de  $\text{SO}_2$  na atmosfera, realizado pelo método de peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) na região de Candiota III, no ano de 1994, na frequência de 1 vez a cada 6 dias.

| MES         | CONCENTRAÇÃO $\text{SO}_2$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) |               |
|-------------|---------------------------------------------------------|---------------|
|             | MÉDIA MENSAL                                            | MÁXIMA DO MES |
| JAN         | 23,07                                                   | 45,76         |
| FEV         | 14,99                                                   | 14,99         |
| MAR         | 7,38                                                    | 11,21         |
| ABR         | 15,08                                                   | 20,25         |
| MAI         | 12,67                                                   | 31,16         |
| JUN         | 6,61                                                    | 9,48          |
| JUL         | 4,89                                                    | 8,92          |
| AGO         | 3,13                                                    | 6,24          |
| SET         | 20,03                                                   | 42,52         |
| OUT         | 35,97                                                   | 141,11        |
| NOV         | 17,03                                                   | 46,33         |
| DEZ         | 4,38                                                    | 4,63          |
| MÉDIA ANUAL | 13,77                                                   | -             |

Fonte: JICA

Já nesta tabulação anterior, vemos que a média mensal situa-se entre um mínimo de  $3,13 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e um máximo de  $35,97 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , e a média anual de  $13,77 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , abaixo portanto do valor informado pela FEPAM, denotando desde já, valores de boa qualidade do ar no que diz respeito a presença de óxidos de enxofre no local

FIGURA 1.24 - Acumulação de enxofre por culturas de *lolium multiflorum* L. (azevém) expostas de 24 estações de amostragem na área do empreendimento CANDIOTA III - Bagé - RS, 1987/88.

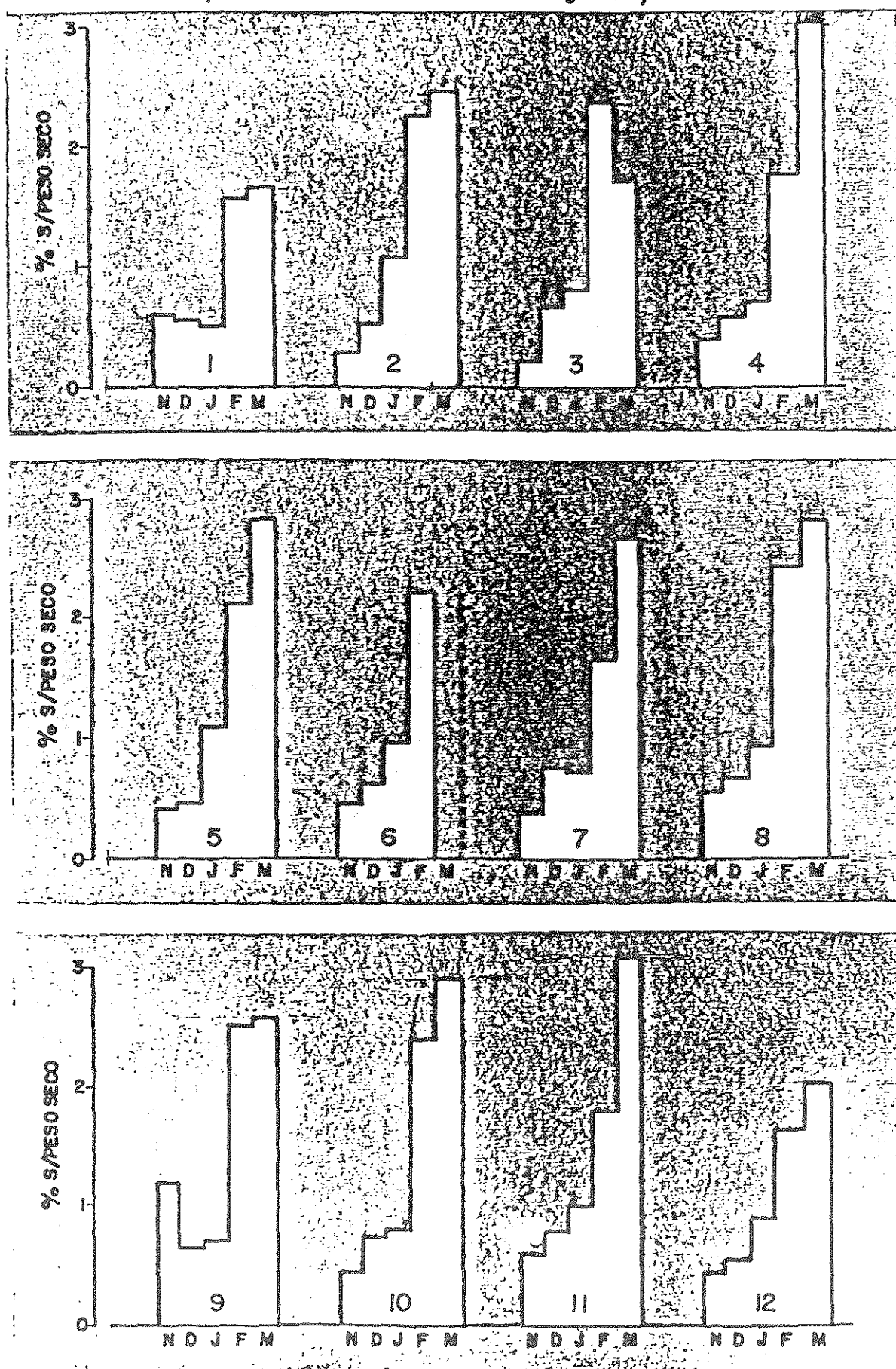


FIGURA 1.24 · (Continuação)

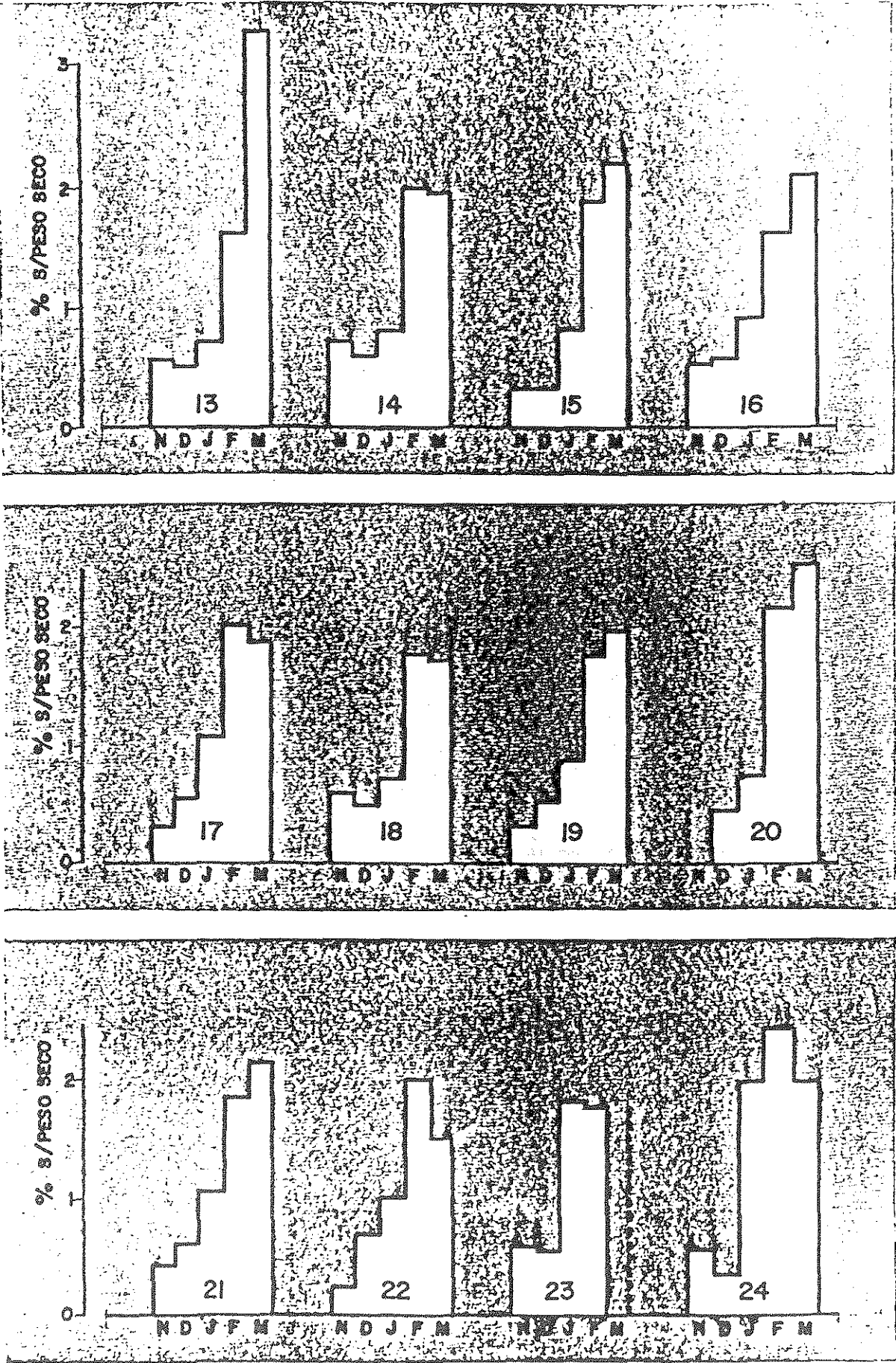


FIGURA 1.25 · Acumulação de enxofre por azevém - médias de 48 valores (24 estações) em cada coleta na área de CANDIOTA III · Bagé · RS, 1987/88.

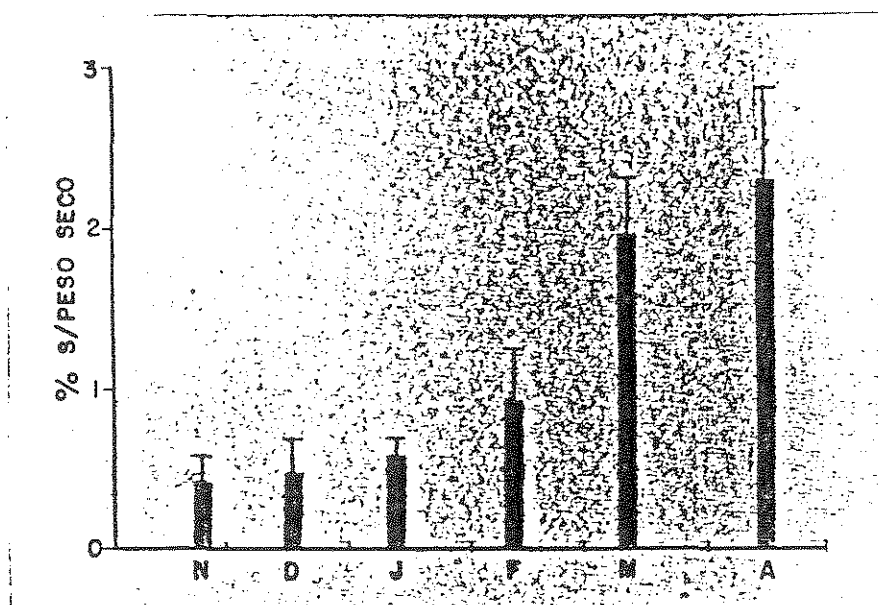


FIGURA 1.26 · Acumulação de enxofre por azevém - médias de 6 vasos expostos em área semi-rural. Porto Alegre, 1987/88.

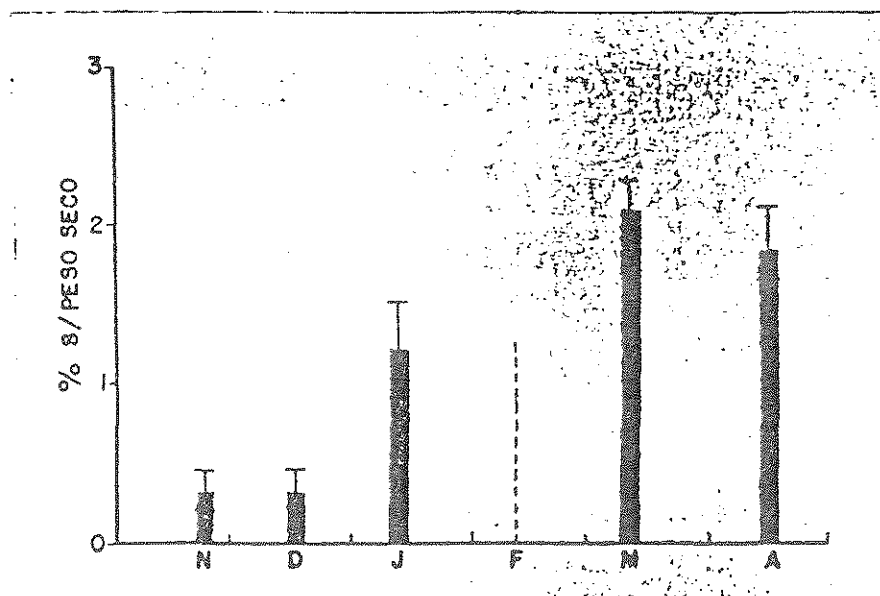
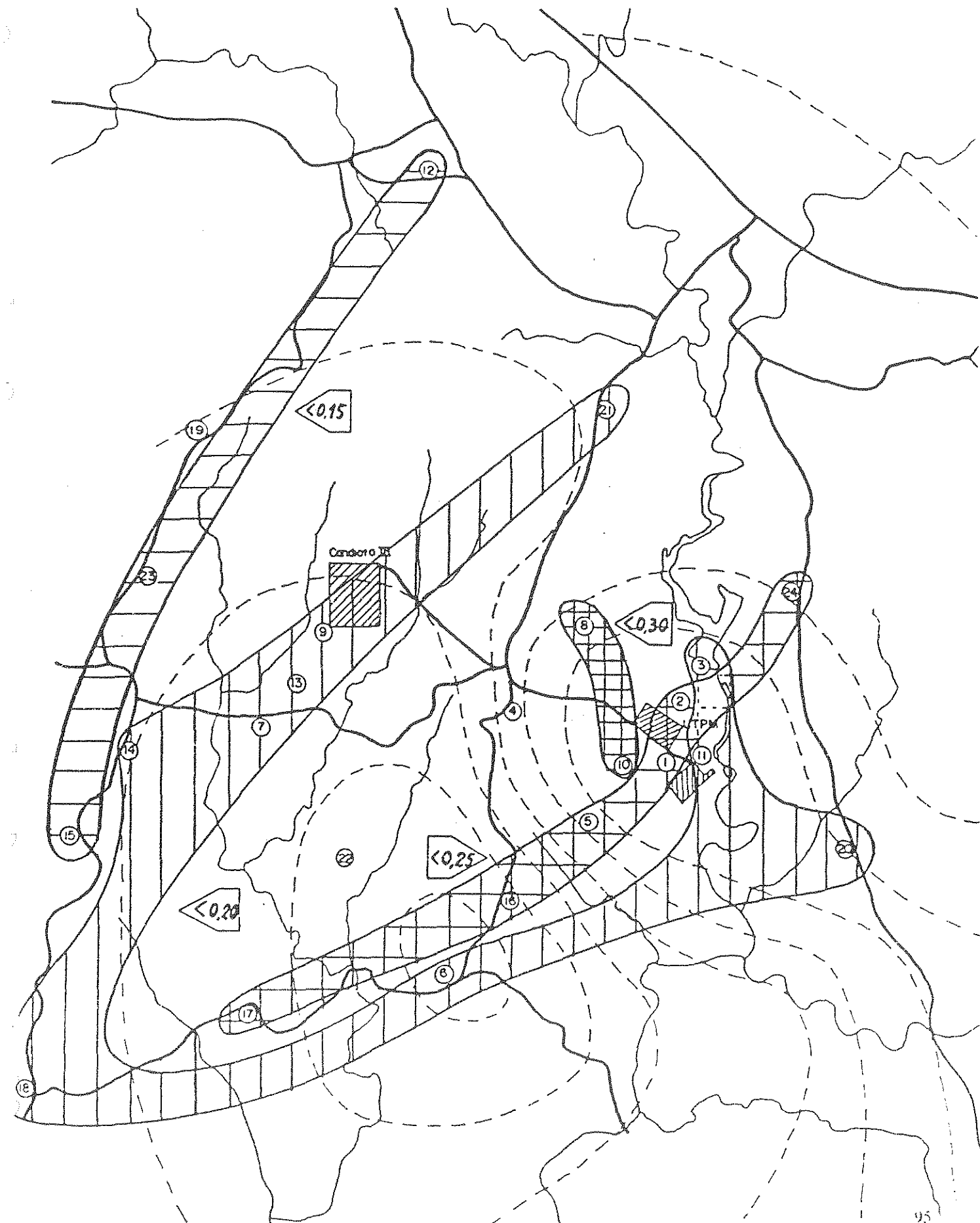




FIGURA 1.27 - DISTRIBUIÇÃO DE VALORES MEDIOS DE ACUMULAÇÃO DE ENXOFRE ( $\text{mgSO}_3/\text{dm}^2 \cdot \text{dia}$ )  
POR CULTURAS DE AZEVÉM NAS ESTAÇÕES DE AMOSTRAGEM DA ÁREA DE  
CANDIOTA - 1987/88







### - Monitoramento de Material Particulado

Até a conclusão deste diagnóstico, não existiam muitos dados confiáveis e em quantidade estatisticamente afluente, para material particulado presente no ar.

O complexo UTPM ainda não mantém em funcionamento um sistema de monitoramento regular, seja para material particulados, óxidos de enxofre ou  $\text{NO}_x$ .

Os dados disponíveis são dispersos, não representando, absolutamente, valores confiáveis pois carecem de embasamento estatístico e reprodutibilidade, além de serem talvez só indicativos de um determinado momento, sem ter sido feita vinculação do material realmente presente ao nível do solo (sedimentável e não sedimentável) nos diversos quadrantes, a diversas distâncias e ao longo do ano, vinculado com a condição operacional do complexo UTPM.

Dado que o poder público (municipal e estadual) também não dispõe destas informações com a confiabilidade e quantidade desejável, torna-se um tanto temeroso um aprofundamento maior neste sentido.

A primeira tentativa de estabelecer valores reais partiu de uma ação conjunta CIENTEC/UFRGS, com um equipamento tipo "ACCUO-VOL". Este tipo de aparelho representa um avanço frente aos tradicionais "HI-VOL" pois, através de variação das condições de sucção, pode manter a vazão de aspiração constante ao longo das 24 horas do ensaio.

Entretanto, o equipamento importado da Europa estava calibrado para operar em 110 V e 50 Hz, o que exigiu uma complexa reavaliação dos comandos eletro-eletrônicos de controle, bem como testes de desempenho, em carga, comparativos a ensaios-padrão. Esta primeira tentativa não foi operacional devido às dificuldades inerentes à sofisticação do equipamento.

A segunda tentativa, conjunta CIENTEC/CEEE, envolveu a aquisição de dois equipamentos tipo "HI-VOL". Esta iniciativa esbarrou na dificuldade de instalação em locais previamente definidos como os de maior incidência, ao nível do solo, de material particulado advindo das emissões da UTPM, devido à inexistência de rede de eletrificação nos locais selecionados e tornou-se impraticável sua instalação direta.

Mesmo assim, tentou-se instalar um moto-gerador que pudesse atender à demanda dos equipamentos, mas os tipos de geradores disponíveis no mercado não suportariam o regime contínuo a que seriam submetidos durante a realização dos ensaios ao longo de um tempo razoavelmente extenso, conforme programado, além de poderem mascarar os resultados com as emissões do moto-gerador.

A programação incluía o monitoramento simultâneo dos dois "HI-VOL", 24 horas sim, 24 horas não, em locais diferentes, com anotação concomitante dos dados meteorológicos e operacionais da usina.

As informações até agora disponíveis são as registradas na correspondência INF. nº DMA/DEA/375-87 de 23/10/87, informando que a concentração de fundo para material particulado total em suspensão, incluindo a operação em regime de todas as fontes localizadas, está situada entre 25 e 35  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  e as contidas nos relatórios oriundos dos trabalhos realizados pela JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA), contidos no "The study on Evolution of Environmental Quality in Regions under influence of coal steam Power Plants in the Federative Republic of Brasil" de março a junho de 1996, que servirão de base nos trabalhos.



É possível que, até a conclusão deste trabalho, outras informações estejam disponíveis em instituições, mas, dado à exiguidade do tempo disponível para a realização do trabalho, não serão consideradas.

Na tabela a seguir encontram-se os valores de concentração de material particulado suspenso (total) no ar, na região de Candiota III no ano de 1994, coletado na frequência de 1 vez a cada seis dias com amostradores de grande volume (High Volume Samplers).

| MES         | MATERIAL PARTICULADO TOTAL<br>( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) |               |
|-------------|------------------------------------------------------------|---------------|
|             | MÉDIA MENSAL                                               | MÁXIMA NO MES |
| JAN         | 26,26                                                      | 137,79        |
| FEV         | 21,16                                                      | 31,77         |
| MAR         | 13,10                                                      | 24,07         |
| ABR         | 33,39                                                      | 49,80         |
| MAI         | 16,67                                                      | 21,21         |
| JUN         | 44,50                                                      | 44,50         |
| JUL         | 17,02                                                      | 28,10         |
| AGO         | 8,29                                                       | 27,45         |
| SET         | 21,95                                                      | 31,99         |
| OUT         | 11,50                                                      | 26,68         |
| NOV         | 25,53                                                      | 34,59         |
| DEZ         | 33,69                                                      | 39,52         |
| MÉDIA ANUAL | 18,78                                                      | -             |

Fonte: JICA

Nesta tabela anterior, verificamos que a média mensal de material particulado começa num mínimo de  $8,29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , estando a média anual em  $18,78 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , valor ainda menor que o informado pela FEPAM como limite inferior.

Este valor é, praticamente o mesmo encontrado pelo método SAM realizado pela UFRGS em 1988, creditando-lhe confiabilidade.

#### - Emissão de Elementos Menores Contidos nas Cinzas

Entende-se por elementos menores todos os constituintes gasosos e sólidos que, em pequenas quantidades, são lançados em conjunto com os maiores.

Os elementos **maiores** seriam basicamente:

- **gás carbônico** - produto da combustão do carbono do carvão, principal gerador de calor no processo;



- **vapor d'água** - também produto da combustão dos compostos combustíveis constituintes do carvão e da evaporação da umidade natural do carvão em combustão;
- **monóxido de carbono** - produto intermediário da combustão do carbono do carvão, gerado em pequenas quantidades praticamente por qualquer processo de combustão de combustíveis líquidos, gasosos ou sólidos;
- **óxidos de nitrogênio** - produto da reação dos constituintes maiores do ar (nitrogênio e oxigênio) quando submetidos, durante um certo tempo, a temperaturas elevadas;
- **oxigênio** - componente advindo do ar de combustão, correspondente ao excesso, isto é, que não reage com o combustível;
- **nitrogênio** - gás maior constituinte da atmosfera e também da emissão da combustão, quando realizado com ar;
- **dióxido/trióxido de enxofre** - produto da combustão do enxofre ou suas formas combinadas, constituinte natural dos combustíveis convencionais, principalmente dos fósseis (petróleo, carvão, turfa, etc);
- **cinzas** - produto residual da combustão de combustíveis (geralmente parte incombustível). Para o caso de carvões minerais, a constituição média é a seguinte:

|                                               |     |                 |
|-----------------------------------------------|-----|-----------------|
| dióxido de silício ( $\text{SiO}_2$ )         | 71% | $\Sigma = 96\%$ |
| óxido de alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) | 20% |                 |
| óxido férrico ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )     | 5%  |                 |

Aproximadamente 3% das cinzas são constituídas basicamente dos seguintes óxidos:

|                                            |                |
|--------------------------------------------|----------------|
| óxido de potássio ( $\text{K}_2\text{O}$ ) | $\Sigma = 3\%$ |
| óxido de cálcio ( $\text{CaO}$ )           |                |
| dióxido de titânio ( $\text{TiO}_2$ )      |                |
| óxido de magnésio ( $\text{MgO}$ )         |                |
| óxido de sódio ( $\text{Na}_2\text{O}$ )   |                |
| dióxido de manganês ( $\text{MnO}_2$ )     |                |

Fonte: CIENTEC (Projeto EACC - out. 79).

No 1% restante das cinzas encontram-se outros óxidos e compostos correspondentes a uma lista relativamente grande, já que o carvão inorgânico de origem vegetal remota, agregado ao meio solo, incorpora na sua constituição elementos/compostos em proporções similares às em que são encontrados na natureza ou solo original em que se depositaram.

Nas cinzas da UTPM, conforme o trabalho "Estudo técnico relativo às emissões atmosféricas do Complexo Carboenergético de Candiota - Viabilidade de implantação de usinas termelétricas", elaborado pela CETESB, foram encontrados os seguintes elementos-traços: bário, berílio, níquel, cobalto, cromo, urânio, vanádio, arsênio, boro, selênio, cobre, chumbo, zinco, mercúrio, fluoretos e enxofre.

Certamente outros elementos estão presentes, mas em quantidades tão diminutas que as técnicas laboratoriais comuns existentes não permitem detectá-los com firmeza e quantificá-los.

Na obra "Chemistry of Coal Utilization - Supplementary Volume" - H. H. Lowry, além dos elementos já mencionados para carvões do Canadá, Inglaterra e Alemanha, são citados os seguintes elementos menores ainda: antimônio, bismuto, gálio, germânio, molibdênio, prata, estrôncio, estanho e zircônio.

Em carvões do Estado da Virgínia, nos Estados Unidos, além dos elementos já citados, foi também detectada a presença dos seguintes elementos-menores: lítio, rubídio, cádmio, índio, itérbio. Estes, somados aos demais já mencionados, compõem a lista dos elementos menores de uma maneira ampla.

Do trabalho "Coleta e Análise da Cinza Volante do Carvão de Candiota" - Relatório Técnico, novembro 1987, de Solari, J. A., consta a caracterização de somente uma amostra de cinza volante emitida pelo complexo UTPM quanto às propriedades físicas e químicas, que reproduzimos a seguir.

QUADRO 1.30 - Distribuição granulométrica de uma amostra de cinzas volantes emitida pelo precipitador nº 2 da UTPM

| TAMANHO<br>( $\mu\text{m}$ ) | % ACUMULADA<br>< TAMANHO |
|------------------------------|--------------------------|
| 28                           | 100                      |
| 22                           | 97,1                     |
| 17                           | 93,9                     |
| 13                           | 86,6                     |
| 10                           | 75,5                     |
| 8                            | 69,1                     |
| 6                            | 47,8                     |
| 4                            | 32,5                     |
| 3                            | 23,4                     |
| 2,4                          | 17,7                     |
| 1,9                          | 10,8                     |

Por esta amostra, verifica-se que 75% das partículas possuem tamanho inferior a 10  $\mu\text{m}$ .

Uma análise da mesma amostra foi realizada pela GEOSOL, MG, para diversos elementos, tendo sido obtidos os seguintes resultados.

QUADRO 1.31 - Análise de uma amostra de cinzas volantes da UTPM-A

| ELEMENTO | TEOR (ppm) |
|----------|------------|
| Hg       | 0,14       |
| As       | 17         |
| Se       | 1          |
| Sb       | 2          |
| F        | 278        |
| Be       | 8          |
| Zr       | 280        |
| Ti       | 3800       |
| Sn       | <5         |
| Bi       | <10        |
| B        | 60         |
| S        | 0,27       |
| Th       | 23         |
| Cl       | <20        |
| U        | 2          |
| Mn       | 330        |
| Cr       | 63         |
| Zn       | 234        |
| Co       | 19         |
| Pb       | 46         |
| Cu       | 40         |
| Cd       | 7          |

Outros trabalhos fazem menção a teores destes elementos menores, dentre os quais citamos o trabalho de A. Andrade - "Caracterização das cinzas volantes do carvão de Candiota" - UFRGS/PPGEMM - 1985, que fornece para as cinzas volantes de Candiota os seguintes valores:

QUADRO 1.32 - Análise de cinzas volantes da UTPM

| ELEMENTO | TEOR (ppm) |
|----------|------------|
| Zr       | 275        |
| Sn       | < 10       |
| Mn       | 480        |
| Cr       | 73         |
| Zn       | 98         |
| Co       | 15         |
| Pb       | < 25       |
| Cu       | 33         |

Através de uma comparação simples entre estas duas referências (Quadros 1.31 e 1.32) e levando em conta que um dos trabalhos foi baseado em uma só amostra de cinzas, prefere-se apresentar, para os elementos comuns aos dois quadros anteriores, a seguinte proporção:

QUADRO 1.33 - Teores de alguns elementos menores nas cinzas volantes da UTPM

| ELEMENTO | TEOR (ppm)               |
|----------|--------------------------|
| Zr       | 280                      |
| Sn       | < 10                     |
| Mn       | 330 a 480                |
| Cr       | 63 a 73                  |
| Zn       | 98, podendo atingir 230  |
| Co       | 15 a 19                  |
| Pb       | < 25, podendo atingir 50 |
| Cu       | 33 a 40                  |

Com os valores do Quadro 1.33, compomos o Quadro 1.34, estimativo das emissões destes elementos menores para o caso de as fases A e B da UTPM operarem em regime constante a plena carga ( $F_c=1,0$ ). Esta situação na realidade não acontece, pois existe uma flutuação de geração em função da curva de demanda de energia elétrica. Vale citar que durante algumas horas do dia o regime operacional não ultrapassa 50% da carga plena nominal e que a operação de projeto é de 300 dos 365 dias de cada ano.

QUADRO 1.34 - Emissões de alguns elementos menores pela UTPM (A e B) a plena carga (100% da capacidade)

| ELEMENTO | EMIÇÃO (Fc= 1,0)             |                              |
|----------|------------------------------|------------------------------|
|          | (kg/h)                       | (t/a)                        |
| Zr       | 0,35                         | 2,82                         |
| Sn       | < 0,01                       | < 0,10                       |
| Mn       | 0,42 a 0,61                  | 3,32 a 4,84                  |
| Cr       | 0,08 a 0,09                  | 0,63 a 0,73                  |
| Zn       | 0,12, podendo atingir 0,31   | 0,99, podendo atingir 2,32   |
| Co       | 0,019 a 0,024                | 0,15 a 0,19                  |
| Pb       | < 0,03, podendo atingir 0,06 | < 0,25, podendo atingir 0,50 |
| Cu       | 0,04 a 0,05                  | 0,33 a 0,40                  |

Obs.: Foi suposta uma eficiência global de 99% nos precipitadores eletrostáticos sobre 85% das cinzas totais geradas nas caldeiras.  
Fc= fator de carga

Para o fator de carga média anual de 67% e diária de 81%, conjugadas as unidades da UTPM (A e B), os valores de emissão de elementos menores ficam conforme o Quadro 1.35.

QUADRO 1.35 - Emissões regularizadas de alguns elementos menores nas cinzas volantes emitidas pela UTPM, Fases A + B

| ELEMENTO | EMIÇÃO                         |                              |
|----------|--------------------------------|------------------------------|
|          | (kg/d) (Fc= 0,81)              | (t/a) (Fc= 0,67)             |
| Zr       | 0,28                           | 1,89                         |
| Sn       | < 0,008                        | < 0,07                       |
| Mn       | 0,34 a 0,49                    | 2,2 a 3,2                    |
| Cr       | 0,06 a 0,07                    | 0,42 a 0,49                  |
| Zn       | 0,08, podendo atingir 0,25     | 0,60, podendo atingir 1,5    |
| Co       | 0,015 a 0,019                  | 0,10 a 0,13                  |
| Pb       | < 0,024, podendo atingir 0,049 | < 0,17, podendo atingir 0,33 |
| Cu       | 0,03 a 0,04                    | 0,20 a 0,27                  |

Fc= fator de carga

As informações contidas nos Quadros 1.34 e 1.35, utilizadas nas estimativas das emissões, foram calculadas com base nos dados de projeto apresentados no Quadro 1.36.

QUADRO 1.36- Dados de projeto: consumo de carvão e geração de resíduos do Complexo UTPM (A + B) em carga nominal (1)

| CONSUMO/PRODUÇÃO (t/a)                   | FASE A (2 x 63 MW) | FASE B (2 x 160 MW) |
|------------------------------------------|--------------------|---------------------|
| Consumo de carvão (úmido)                | 812.800            | 1.876.800           |
| Consumo de carvão (base seca)            | 682.750            | 1.576.500           |
| Produção total de cinzas (2)             | 358.440            | 827.690             |
| Produção de cinzas leves (3)             | 304.670            | 703.540             |
| Emissão de cinzas volantes $\eta = 99\%$ | 3.047              | 7.035               |
| $\eta = 98\%$                            | 6.094              | 14.070              |
| $\eta = 97\%$                            | 9.140              | 21.106              |
| Enxofre no carvão                        | 9.148              | 21.125              |
| Emissão de $\text{SO}_2$ (4)             | 17.382             | 40.138              |

Fonte: CEEE

Obs.:  $\eta$  = eficiência dos precipitadores eletrostáticos

(1) = supondo que operasse a 100% da capacidade

(2) = carvão com 52,5% de cinzas

(3) = considera-se que 85% das cinzas totais correspondam a cinzas leves

(4) = considera-se que 95% do enxofre do carvão é convertido a  $\text{SO}_2$

Com os Quadros 1.34 e 1.36, ambos referidos à capacidade nominal, podemos compor o seguinte quadro de índices específicos de material emitido.



QUADRO 1.37 - Índices de elementos menores emitidos na UTPM (A + B) em operação contínua na capacidade nominal (300 d/a)

| ELEMENTO | ÍNDICES                              |                                               |
|----------|--------------------------------------|-----------------------------------------------|
|          | EMIÇÃO/GERAÇÃO ELÉTRICA<br>(kg/a/MW) | EMIÇÃO/CINZAS VOLANTES<br>EMITIDAS (*) (kg/t) |
| Zr       | 6,3                                  | 0,27                                          |
| Sn       | < 0,2                                | < 0,009                                       |
| Mn       | 7,4 a 10,8                           | 0,30 a 0,46                                   |
| Cr       | 1,4 a 1,6                            | 0,06 a 0,07                                   |
| Zn       | 2,2, podendo atingir 5,6             | 0,09, podendo atingir 0,24                    |
| Co       | 0,3 a 0,4                            | 0,014 a 0,018                                 |
| Pb       | < 0,5                                | < 0,02                                        |
| Cu       | 0,7 a 0,9                            | 0,030 a 0,038                                 |

(\*) Foi considerada uma eficiência global de 99% nos precipitadores eletrostáticos.

O Quadro 1.38 apresenta dados constantes dos trabalhos "Enriquecimento de elementos metálicos nas cinzas volantes do carvão de Candiota, RS" de Andrade, Alexandra, e "Caracterização do carvão de Candiota e implicações ambientais do seu processamento" - tese de Mestrado (1987) de Fiedler, Haidé.

QUADRO 1.38 - Concentração de elementos menores no carvão de Candiota (ppm)

| ELEMENTO | TEOR NOCARVÃO (ppm)  |                        |
|----------|----------------------|------------------------|
|          | CONFORME ANDRADE, A. | CONFORME FIEDLER, H.D. |
| Zr       | 200                  | 119                    |
| Sn       | < 10                 | < 16                   |
| Mn       | 0,21 (*)             | 67,2                   |
| Cr       | 70                   | 31,1                   |
| Zn       | 90                   | 87,2                   |
| Co       | 15                   | 10,0                   |
| Pb       | 50                   | 16,3                   |
| Cu       | 50                   | 51,9                   |

(\*) valor em %

Pela simples observação, verificamos, como já mostrado nas diferenças observadas, que, para alguns elementos menores, as técnicas analíticas ainda deixam a desejar

Além disto, a inexistência de um trabalho estatístico realizado ao longo do tempo para diversos pontos de amostragem impede a avaliação da faixa de variação destes elementos naturais.

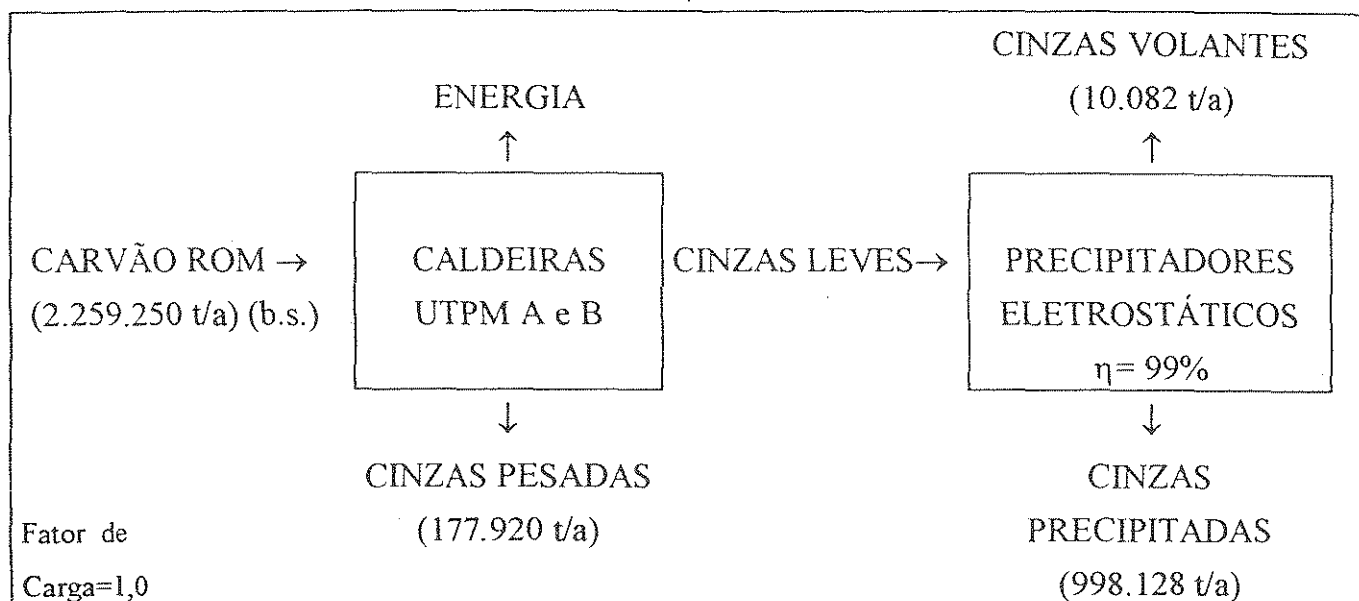
Para o caso do zinco e cobre, os resultados podem ser considerados coincidentes.

Para outros, as diferenças de teores encontrados oscilam entre 50 e 150%.

Mesmo com estas diferenças razoáveis, se procederá a uma estimativa do conteúdo total no carvão dos elementos menores listados frente ao emitido nas cinzas volantes.

Para efeito de ilustração, o diagrama seguinte mostra um balanço de massa simplificado de carvão e cinzas para o conjunto das caldeiras da UTPM, supondo operações na capacidade nominal, o que não acontece.

FIGURA 1.29 - Balanço de massa simplificado para carvão e cinzas na capacidade nominal



Fator de  
Carga=1,0

Fonte: CEEE

b.s. = base seca

A partir deste balanço simplificado, e conhecendo as concentrações dos elementos menores já levantados, apresentamos a seguir as quantidades absolutas dos mesmos no carvão e nas cinzas volantes.

QUADRO 1.39 - Teor de elementos menores no carvão e respectivas cinzas volantes (UTPM A + B) para operação a 100% de capacidade

| ELEMENTO | QUANTIDADE NO CARVÃO(t/a) (*) | QUANTIDADE EMITIDA NA CINZA VOLANTE (t/a) (**) |
|----------|-------------------------------|------------------------------------------------|
| Zr       | 268,8 a 451,8                 | 2,82                                           |
| Sn       | 22,6 a 36,1                   | < 0,10                                         |
| Cr       | 70,2 a 158,1                  | 0,63 a 0,73                                    |
| Zn       | 197 a 203,3                   | 0,99, podendo atingir 2,32                     |
| Co       | 22,6 a 27,1                   | 0,15 a 0,19                                    |
| Pb       | 36,8 a 112,9                  | < 0,25, podendo atingir 0,50                   |
| Cu       | 112,9 a 117,2                 | 0,33 a 0,40                                    |

(\*) Baseado nos trabalhos de Andrade, A. e Fiedler, H. D.

(\*\*) Baseado no trabalho de Solari, J. A. e Andrade, A. que resultou o Quadro 1.33.

A comparação entre as duas colunas, isto é, entre o total de cada elemento menor presente originalmente no carvão consumido e o emitido nas cinzas volantes após os precipitadores eletrostáticos, permite concluir que, do originalmente presente, cerca de 1% atinge a atmosfera, carregado pelas cinzas volantes.



Era de se esperar este resultado a partir da simples comparação do volume de cinzas volantes com o total das cinzas não volantes (leves + pesadas): 10.465 t/a versus 1.220.655 t/a ou 1:116,6.

Supondo que as cinzas volantes e as cinzas leves abatidas nos precipitadores eletrostáticos tenham uma composição semelhante quanto a teores dos elementos menores, podemos concluir que a grande massa de elementos menores fica retida nas cinzas leves abatidas.

Ainda quanto a elementos menores, o Centro de Ecologia da UFRGS realizou uma amostragem via bioindicação para tentar avaliar a presença de fluoretos provenientes do conjunto de emissores atuais.

O bioindicador foi novamente o azevém nas estações 8 e 10 (vide item Bioindicadores e Quadro 1.24) e, devido às observações de Riet-Corrêa et alii (1986) e à impossibilidade de realizar as análises nos laboratórios do Centro de Ecologia, as amostras foram enviadas ao Prof. Arndt, da Universidade de Hohenheim, Alemanha Ocidental.

Apresentamos a seguir os resultados obtidos.

QUADRO 1.40 - Determinação de fluoretos por bioindicação em azevém

| Data       | (26/11) | (12/02)  |
|------------|---------|----------|
| Estação 8  | 6,5 ppm | 12,7 ppm |
| Estação 10 | 8,5 ppm | 12,3 ppm |

Os valores de 26/11/87 correspondem ao 1º corte do azevém; os de 12/02/88, referentes a 3 meses de exposição, demonstraram um acréscimo em torno de 65%. Este fato revela a presença de flúor na imissão local.

No entanto, não é possível estimar o teor de flúor na atmosfera devido ao período de amostragem ter sido pequeno e não se ter observado danos ou necrose visível pela ação de flúor nos locais amostrados, nem no azevém.

#### - Monitoramento de Óxidos de Nitrogênio

Tendo em conta que no estudo anterior, não foi aventado o lançamento e monitoramento de óxidos de nitrogênio, passamos a fazer, agora, com os dados e informações constantes nos trabalhos desenvolvidos pela JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA), principalmente, com os elementos constantes nos relatórios do "The Study on Evaluation of Environmental Quality in Regions Under Influence of Coal Steam Power Plants in the Federative Republic of Brasil", emitidos recentemente, relativos a trabalhos publicados entre março e junho de 1996.

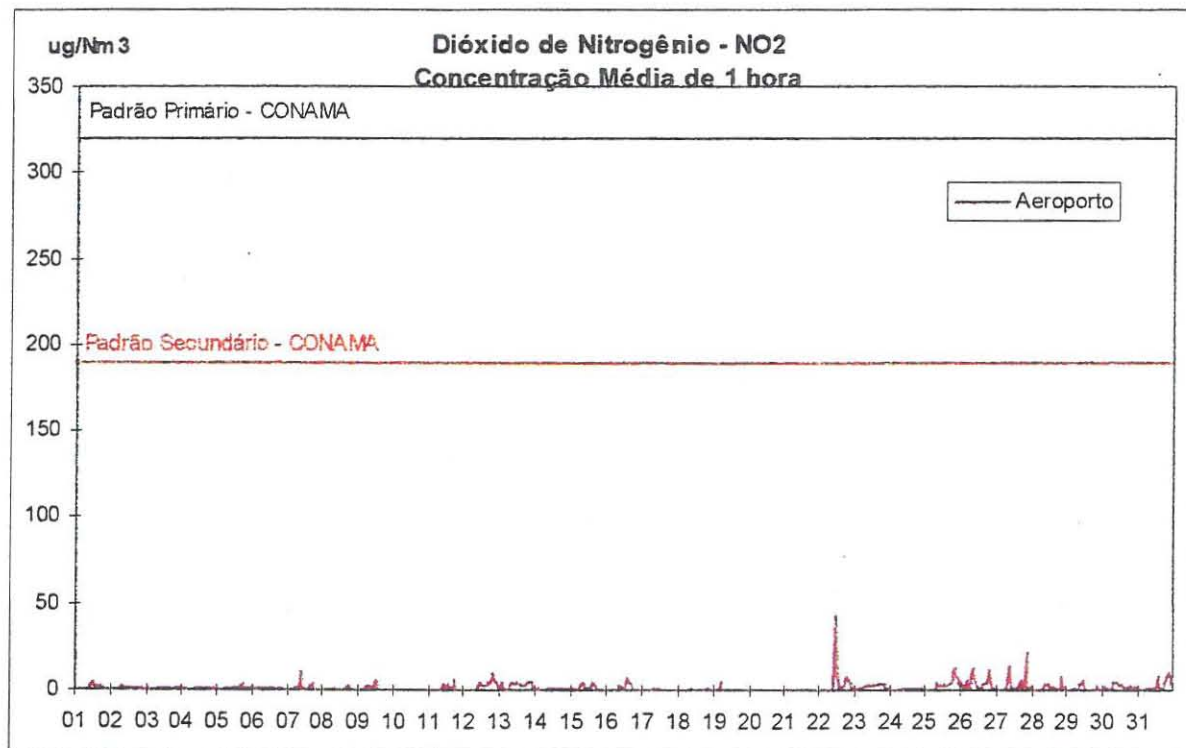
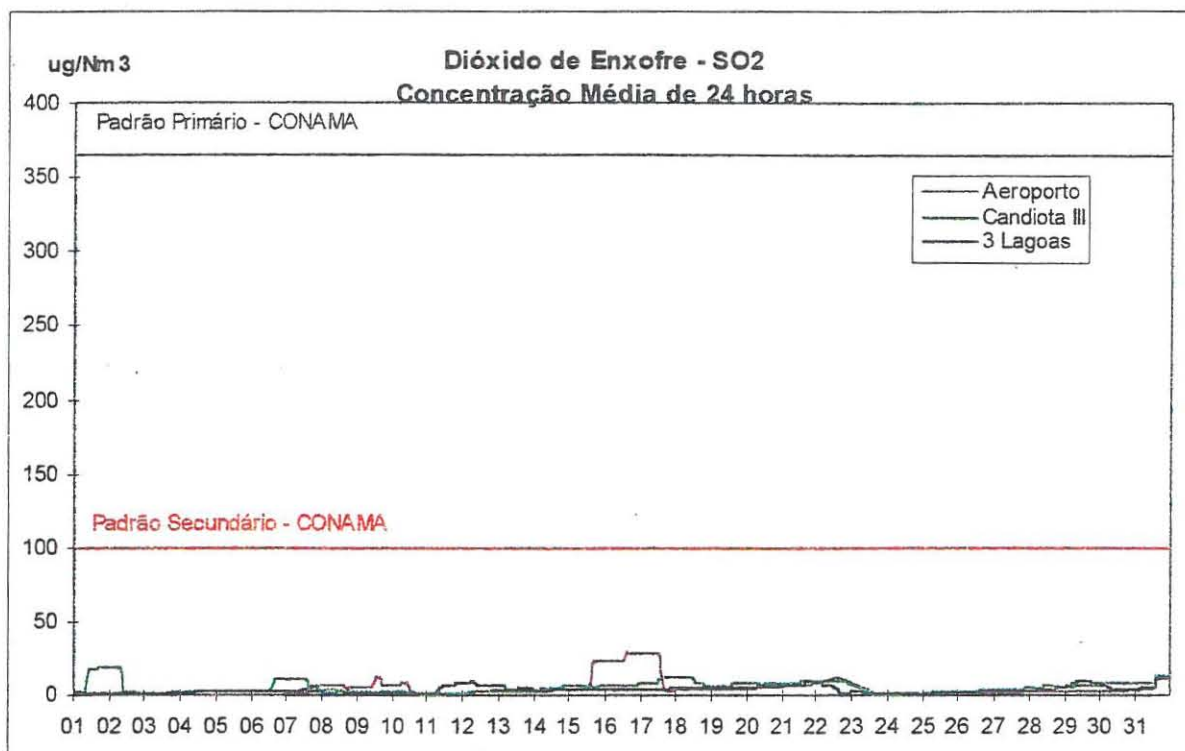
Destacamos, notadamente, o relatório "Estudo de Avaliação da Qualidade Ambiental nas Regiões de Influência de Usinas Termelétricas à Carvão na República Federativa do Brasil", emitido pelo CCP/Coordenadoria de Meio Ambiente - SUG da Região de Candiota (março a julho de 1996) - em cooperação Técnica com a JICA, com o conjunto de figuras seguintes, bem ilustrativas do trabalho de monitoramento contínuo realizado em 3 pontos na região de Candiota.

Nestes, nota-se que o valor médio de  $\text{NO}_x$  é baixo (bem abaixo dos padrões CONAMA), demonstrando condições ambientais boas.



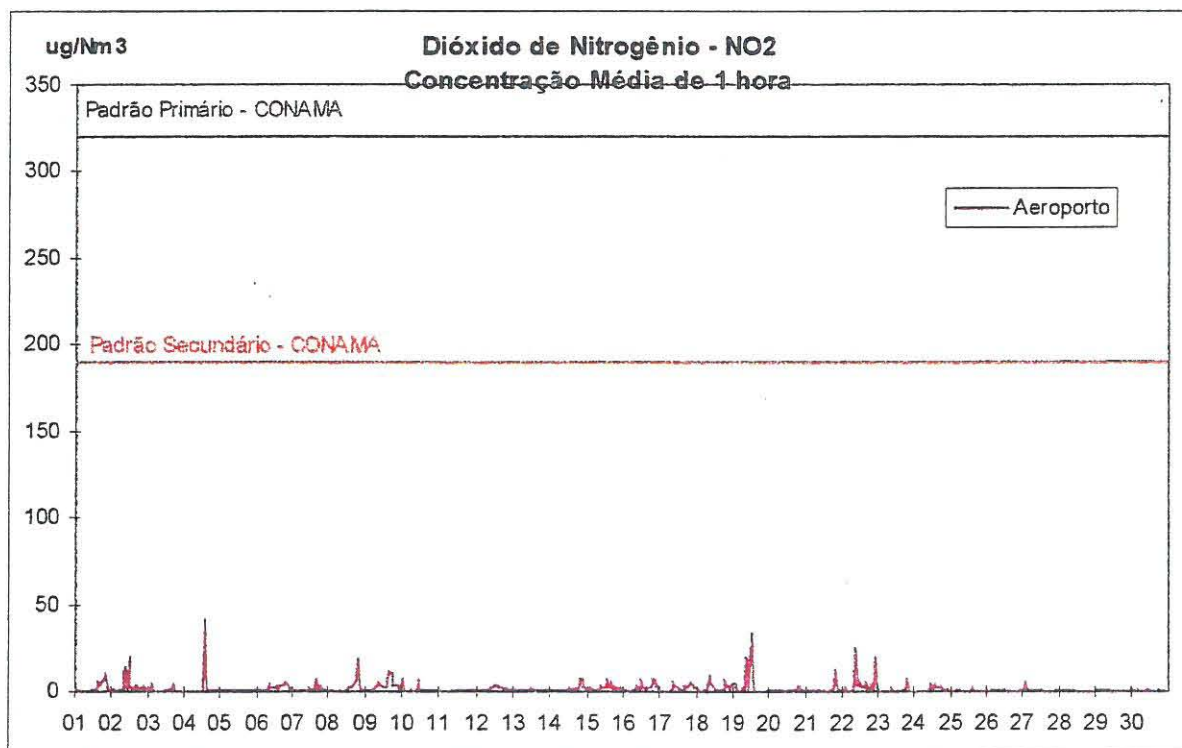
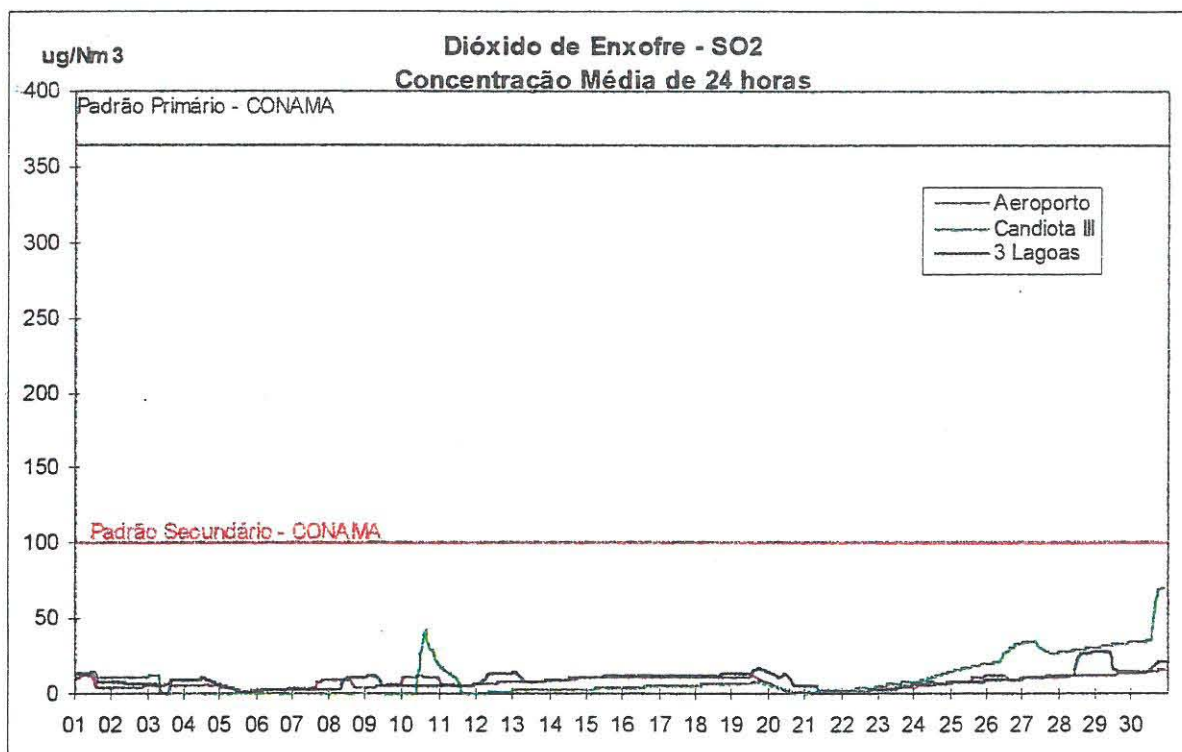
Notar que nos meses de junho e julho/96, para  $\text{SO}_2$ , estação Candiota III, entre 04/06 e 27/07, o equipamento estava com defeito, não detectando o valor real, e uma vez corrigido, voltou a operar normalmente.

Março / 96



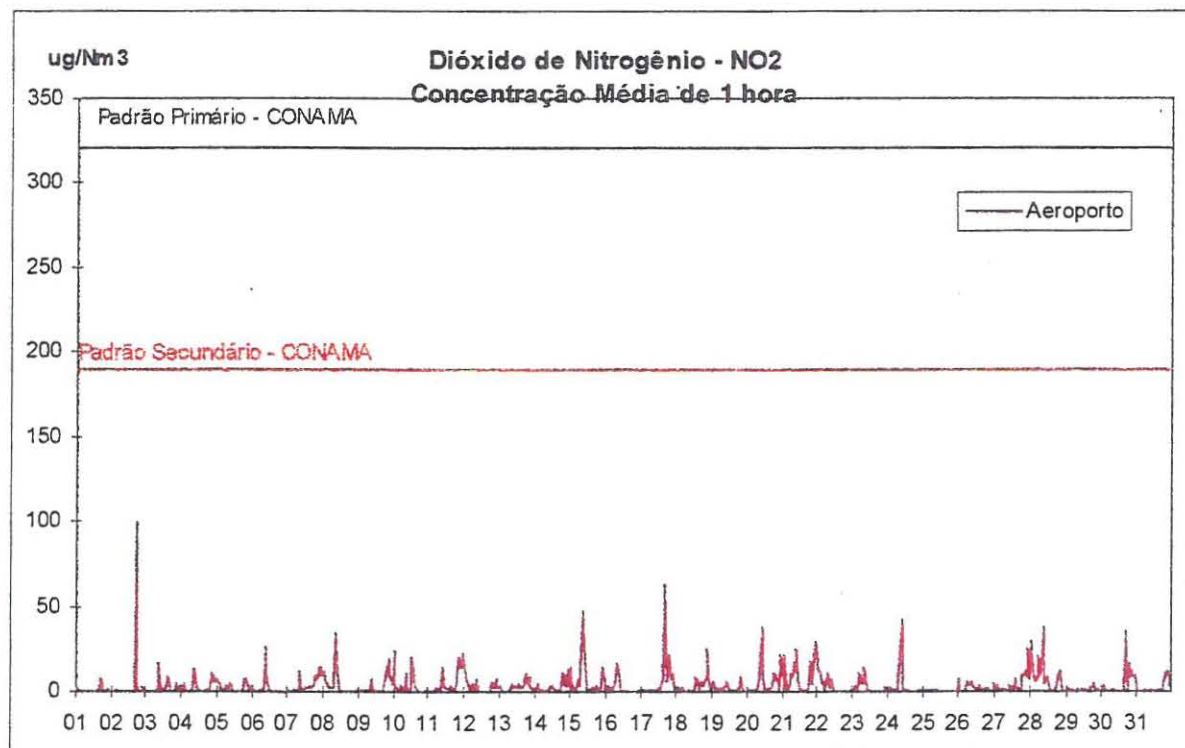
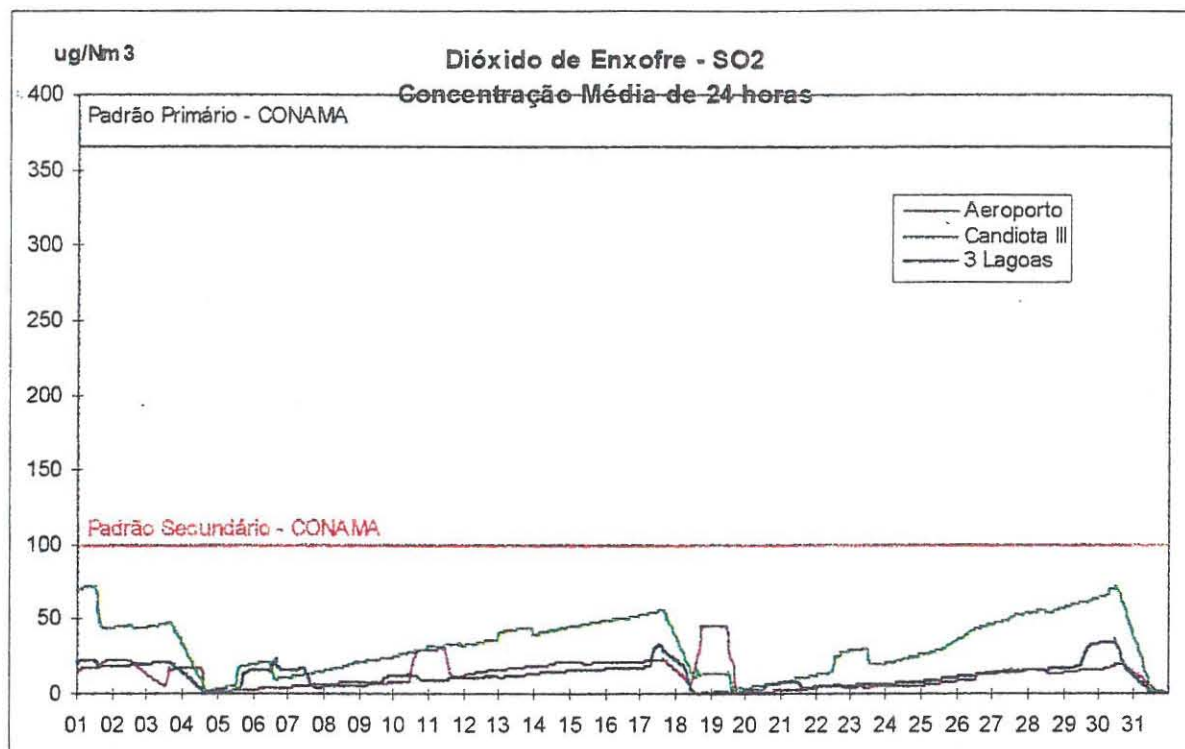


Abril / 96





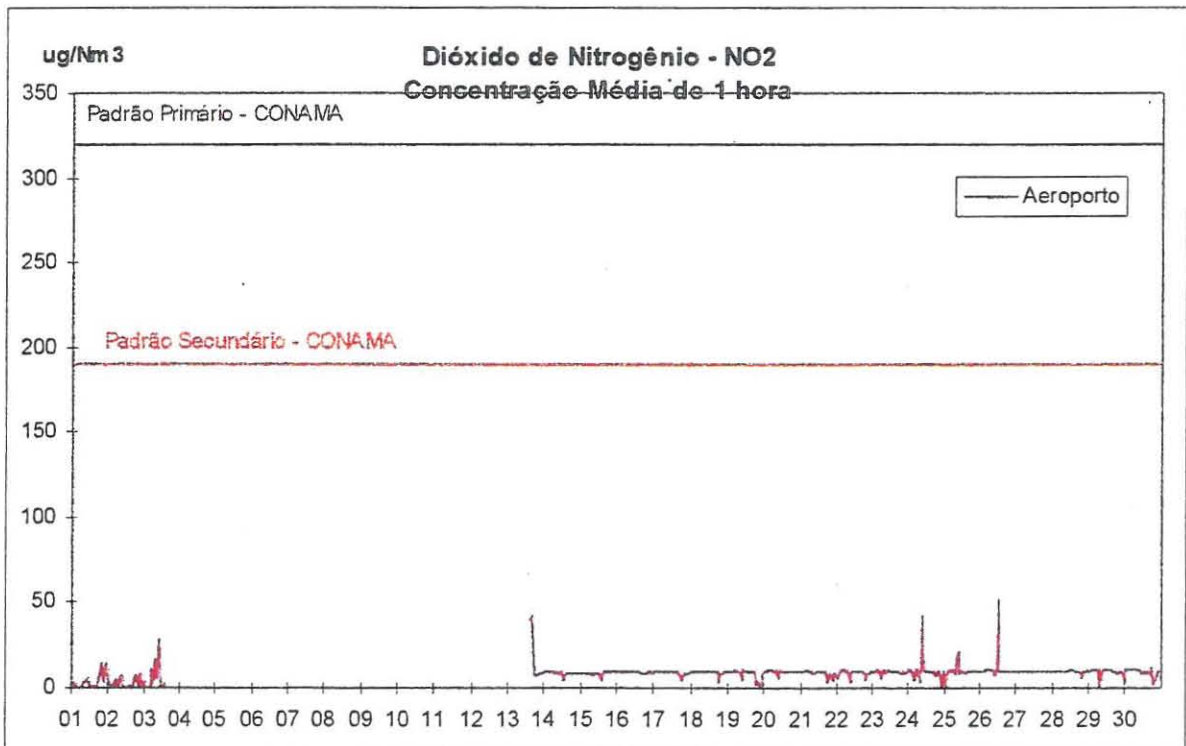
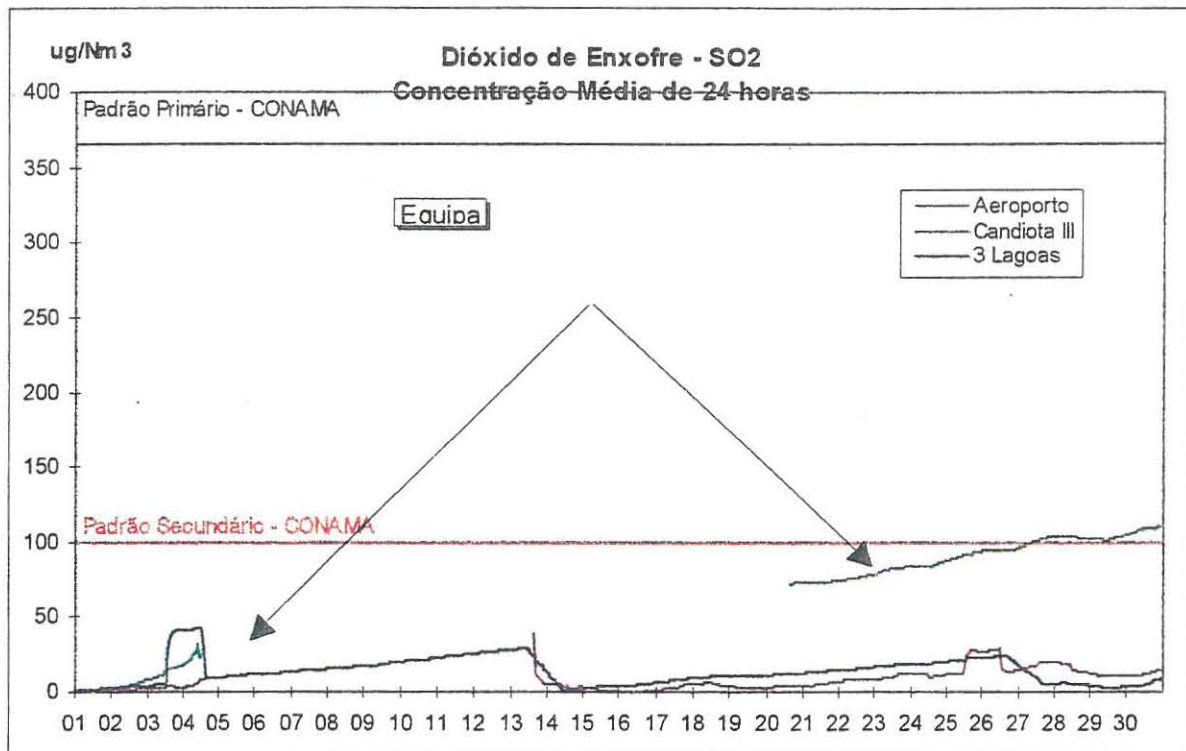
Maio / 96



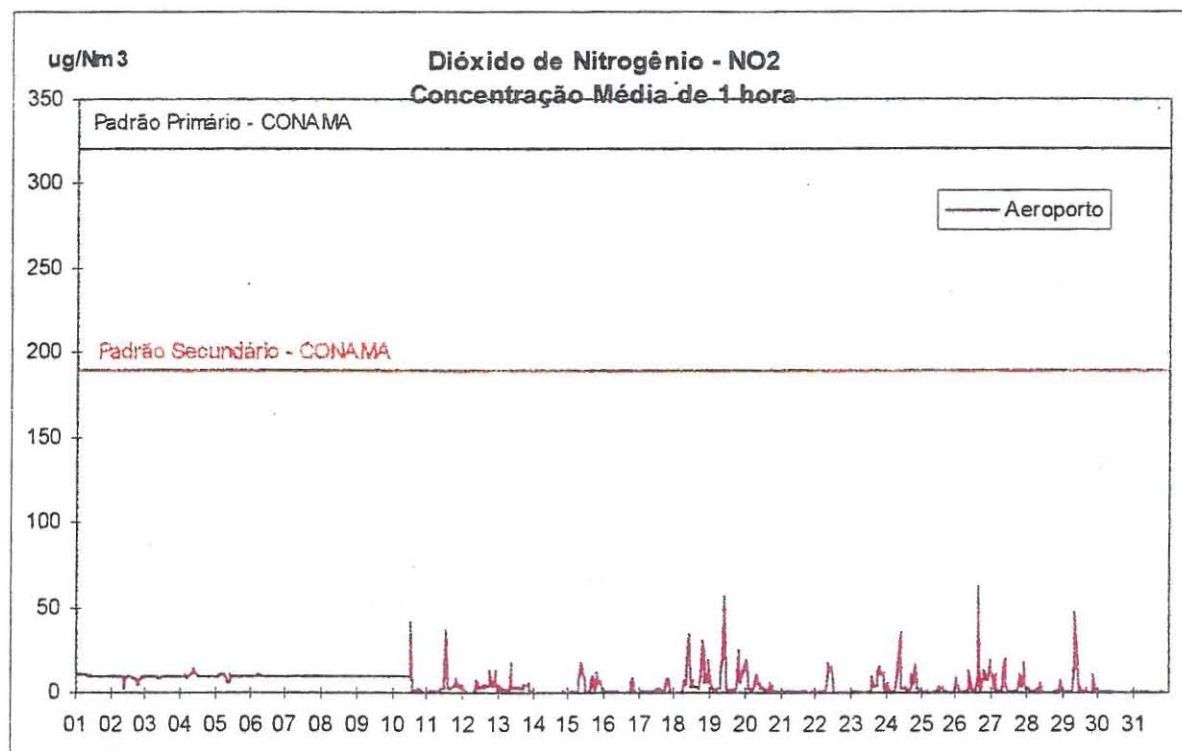
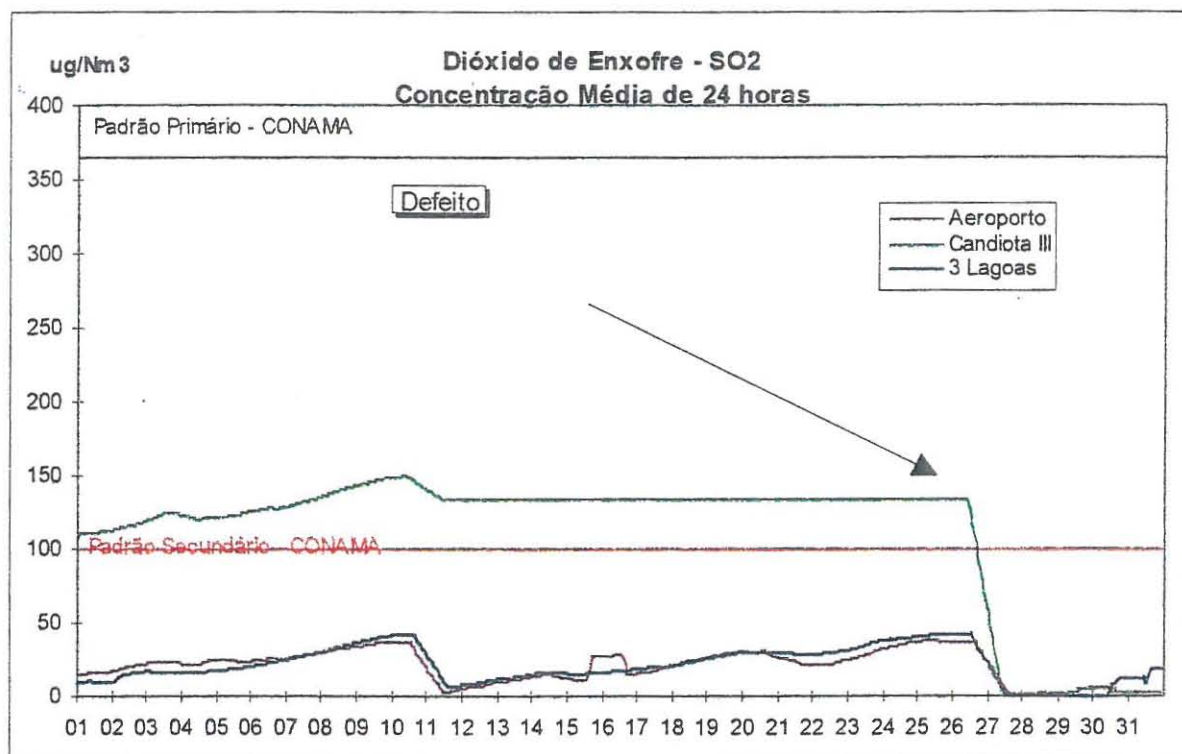




Junho / 96



Julho / 96





### 1.5.3. - Modelagem Matemática das Dispersões Relevantes

Entende-se como relevantes as dispersões localizadas que, dada sua magnitude e situação dentro da abrangência significativa de influência, exercem efeito quantificável no âmbito de correlação matemática para estudo da composição (somatório) dos efluentes ao nível do solo.

#### - Comentários Sobre o Método

Tem sido uma ferramenta extremamente importante nos trabalhos de dispersão atmosférica a previsão via simulação do que acontecerá com uma dada emissão atmosférica e a verificação do desvio dos resultados mediante análise química, física ou físico-química e uso de relações matemáticas.

Estas variáveis permitem, mediante o uso da simulação matemática, estimar com razoável margem de certeza o que acontece no meio ar, a despeito da enorme capacidade deste meio de mudar/transformar-se de forma muito dinâmica devido à notável mobilidade da atmosfera.

Assim, os poluentes são dispersos na atmosfera por dois componentes da mobilidade: o vento, que transporta os poluentes de um ponto a outro, e o movimento de turbilhonamento, composto por influências da insolação, topografia, camada planetária, temperatura e outros, que dispersa a poluição no entorno de uma linha central.

Certamente o aspecto de dispersão não leva em conta somente estes fatores. Basta imaginar que, existindo ao nível da atmosfera um gradiente de concentração, temperatura, velocidade, pressão, ou outro, os poluentes comportam-se como gases ideais (quanto mais próximos da idealidade, melhor) e passam a ter fenômenos de transporte também de difusão de massa, momento e energia, auxiliando ou dificultando a dispersão na atmosfera.

Uma simulação matemática permite, a partir do conhecimento da concentração de fundo e das emissões, estimar a concentração de poluentes ao nível do solo, respeitadas as características geográficas, até porque são os observadores (homens, animais, plantas, etc.) neste nível que serão atingidos em primeiro lugar pelas emissões.

Dentre os muitos modelos matemáticos que simulam as dispersões atmosféricas, citamos alguns como sendo os mais usados por serem mais adequados para certos tipos de fontes e já possuírem um considerável embasamento científico no que concerne à previsão de impactos ambientais.

Os modelos mais difundidos são:

- a - Modelo de transporte gradiente (Teoria K) - baseado em uma aproximação ou aplicação das equações gerais de transporte (condução) de calor ou de eletricidade. Este modelo não se tem mostrado satisfatório para dispersões atmosféricas.
- b - Modelo estatístico - método matemático baseado na distribuição normal.
- c - Modelo de similaridade - este método, por similaridade com instalações existentes e com dados próprios novos, simula a nova instalação.
- d - Modelo gaussiano de pluma de dispersão - este modelo, também estatístico, é possível de ser trabalhado com uma gama bastante grande de variáveis, tendo sido aplicado para as dispersões atmosféricas com resultados bastante significativos.



Neste trabalho, usamos o modelo gaussiano na horizontal e considera que a difusão na direção vertical é influenciada pela presença da superfície terrestre, sendo, conseqüentemente, não gaussiana na vertical, pelos seguintes motivos:

- os resultados obtidos da simulação concordam com dados experimentais tão bem ou melhor que qualquer outro modelo;
- existe disponibilidade e facilidade de uso;
- existe também uma grande aproximação conceitual com o modelo físico;
- é recomendado pela Agência Ambiental Norte Americana;
- o modelo considera como dados de entrada, parâmetros turbulentos e advectivos, coletados pela UFSM na região.

O problema de difusão atmosférica, do ponto de vista físico e matemático, é descrever o papel desempenhado pela atmosfera na redistribuição e diluição dos gases e partículas que resultam de atividades industriais e fontes antropogênicas.

A alta capacidade dispersiva da atmosfera resulta de sua natureza turbulenta. Turbulência é uma propriedade de fácil identificação mas de difícil definição, composta de movimentos irregulares e caóticos e que está presente em todos os escoamentos de aplicações práticas. De fato, a maioria dos problemas meteorológicos relacionados com regiões industriais e populosas estão governados pelo problema de difusão turbulenta.

Do ponto de vista técnico pode-se afirmar que a turbulência atmosférica é a característica principal da Camada Limite Planetária (CLP). A CLP pode ser definida como "a parte da troposfera que é diretamente influenciada pela superfície terrestre e responde aos forçantes superficiais com uma escala de tempo inferior a uma hora".

A turbulência é diversas ordens de grandeza mais efetiva para o transporte de qualquer quantidade física (calor, momentum, contaminante) do que a viscosidade molecular e é ela a responsável pela resposta da CLP aos forçantes superficiais.

O problema da difusão turbulenta na atmosfera não foi ainda formulado de forma única no sentido de que não existe um único modelo físico capaz de explicar todos os aspectos relevantes. Operacionalmente existem duas abordagens a saber: a Teoria do Transporte por Gradiente (TTG) e a Teoria Estatística de Difusão (TED)

A TTG afirma que o transporte em uma região da atmosfera é proporcional ao gradiente local da concentração e, neste sentido, é uma teoria euleriana. A TED considera o movimento individual das partículas do fluido e, neste sentido, é uma teoria lagrangeana.

### Teoria do Transporte por Gradiente

A formulação da Teoria do Transporte por Gradiente foi inicialmente estabelecida por Adolph Fick, um fisiologista alemão, em 1855. Para o caso unidimensional matematicamente se escreve:



$$\frac{dC}{dt} = K \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (1)$$

onde  $C$  é a concentração do material emitido para a atmosfera e  $K$  é o coeficiente de difusão, considerado, neste caso, constante.

As variáveis  $t$  e  $x$  representam respectivamente o tempo e a direção espacial considerada.

A expressão (1) acima pode ser, facilmente, generalizada para o caso tridimensional e para o caso em que o coeficiente de difusividade não ser constante.

Por tratar-se de uma equação diferencial a solução de (1) requer a especificação de condições iniciais e de contorno, isto é, qual é a concentração inicial do poluente e como é a concentração do poluente nos limites de interesse do problema.

A equação (1) acima, contudo, é uma simplificação demasiada de um problema prático. A simplificação mais óbvia advém do fato de que ela não considera o movimento do fluido, ou seja, é válida para um fluido em repouso.

Na atmosfera, entretanto, temos não apenas os movimentos das massas de ar, que são responsáveis pela advecção do material, mas também os movimentos turbulentos, que são responsáveis pela difusão do material.

Assim, a generalização da lei de Fick para o transporte de poluentes atmosféricos, do ponto de vista euleriano, é dado pela conhecida equação de difusão-advecção:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} = - \frac{\partial}{\partial z} \left( K_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left( K_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + Q \quad (2)$$

onde  $u$  e  $v$  são as componentes da velocidade do vento nas direções longitudinal e lateral respectivamente, e  $Q$  a intensidade da fonte, usualmente em gramas/segundos.

Na verdade, a equação acima, embora seja uma generalização da lei de Fick, constitui-se em uma das leis básicas da natureza, ou seja: a Lei de Conservação. Ela estabelece que o fluxo de qualquer poluente sobre uma superfície fechada é igual a variação (acréscimo/decréscimo) deste mesmo poluente no volume limitado por esta superfície.

A chave para a solução da equação acima reside nos coeficientes difusivos. Estes, diferentemente, dos processos microscópicos, são uma propriedade do escoamento, sendo uma função do local, tempo, distância da fonte, época do ano, etc.

De fato eles são dependentes da Física contida na Camada Limite Planetária, isto é, de como esta camada evolui durante o dia, em diferentes épocas do ano, em diferentes locais. Por este motivo, o conhecimento preciso da CLP possibilita uma melhor descrição dos coeficientes. É exatamente este conhecimento que distingue os diferentes tipos de modelos de difusão atmosférica, organizando-se estes em uma hierarquia de modelos.



## O Modelo de Pluma Gaussiana

A solução mais utilizável da equação (2) é o conhecido Modelo de Pluma Gaussiana em que o coeficiente de difusividade é independente da altura acima do solo e, que matematicamente é expresso como

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{(2\pi)u\sigma_y\sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left[ \exp\left(-\frac{(z-h)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+h)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right] \quad (3)$$

Na equação (3) os sigmas representam “a abertura da pluma de contaminantes” e estão relacionados com os coeficientes de difusão.

A concentração de contaminantes  $C(x, y, z)$  é expressa em unidades de massa por volume (ex.: microgramas/metro cúbico). A altura da fonte, na equação (3) é representada por  $h$ . Observa-se que a equação (3), como solução da equação (2) assume que a direção do vento é ao longo da direção longitudinal e que não existe deposição de contaminantes no solo.

A relação matemática entre os desvios padrões da concentração ( $\sigma$ ) com os coeficientes de difusão é dada por:

$$\sigma_y^2 = 2K_y t \quad (4)$$

e

$$\sigma_z^2 = 2K_z t \quad (5)$$

onde  $t$  é o tempo de viagem seguido pelas partículas do poluente.

A combinação da equação (3) com as relações (4) e (5) constitui a base do modelo de dispersão mais empregado: o Modelo de Pluma Gaussiana (MPG).

## Estimativa dos Coeficientes de Difusão

Para aplicações práticas do MPG deve-se determinar valores numéricos para os coeficientes de difusão. Várias expressões teóricas e empíricas foram derivadas com este objetivo.

Na ausência de medidas de turbulência deve-se, em primeiro lugar, estimar as condições de estabilidade da atmosfera em função de medidas e observações meteorológicas rotineiras. Um esquema simples, para este propósito, foi proposto por Pasquill [1] e mais tarde modificado por Turner [2].

Este esquema classifica o estado turbulento da atmosfera em seis tipos diferentes, que são determinados a partir do vento na superfície, insolação e cobertura de nuvens. As seis classes variam de A (fortemente instável e propícia para a dispersão) a F (moderadamente estável e não propícia para a dispersão).

A tabela a seguir contém a classificação proposta por Pasquill.

*CLASSIFICAÇÃO DE PASQUILL-GIFFORD PARA A CLASSE DE TURBULÊNCIA DE ACORDO COM AS CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS.*

| velocidade do<br>vento a<br>superfície<br>(m/s) | tempo de<br>insolação no<br>dia FORTE | tempo de<br>insolação no<br>dia<br>MODERADA | tempo de<br>insolação no<br>dia<br>FRACA | condições noturnas.<br>fina cobertura de<br>nuvens ou >4/8 de<br>nuvens baixas | condições noturnas<br><3/8 de cobertura<br>por nuvens |
|-------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| <2                                              | A                                     | A - B                                       | B                                        |                                                                                |                                                       |
| 2 - 3                                           | A - B                                 | B                                           | C                                        | E                                                                              | F                                                     |
| 3 - 4                                           | B                                     | B - C                                       | C                                        | D                                                                              | E                                                     |
| 4 - 6                                           | C                                     | C - D                                       | D                                        | D                                                                              | D                                                     |
| > 6                                             | C                                     | D                                           | D                                        | D                                                                              | D                                                     |

A - Extremamente instável; C - Levemente instável; E - Suavemente estável;  
B - Moderadamente instável; D - Condição neutra; F - Moderadamente estável;

Experimentos de difusão conduzidos em St. Louis (EUA) foram utilizados por Briggs [3] para relacionar as classes de estabilidade de Pasquill com os coeficientes de difusão. As fórmulas recomendadas estão apresentadas na tabela seguinte.



*Fórmulas propostas por Briggs para  $\sigma_y$  e  $\sigma_z$*

| Classe de Estabilidade | $\sigma_y$ (metros) | $\sigma_z$ (metros) |
|------------------------|---------------------|---------------------|
|------------------------|---------------------|---------------------|

Condições Rurais

|   |                           |                           |
|---|---------------------------|---------------------------|
| A | $0.22x(1+0.0001x)^{-1/2}$ | $0.20x$                   |
| B | $0.16x(1+0.0001x)^{-1/2}$ | $0.12x$                   |
| C | $0.11x(1+0.0001x)^{-1/2}$ | $0.08x(1+0.0002x)^{-1/2}$ |
| D | $0.08x(1+0.0001x)^{-1/2}$ | $0.06x(1+0.0015x)^{-1/2}$ |
| E | $0.06x(1+0.0001x)^{-1/2}$ | $0.03x(1+0.0003x)^{-1}$   |
| F | $0.04x(1+0.0001x)^{-1/2}$ | $0.016x(1+0.0003x)^{-1}$  |

Condições Urbanas

|     |                           |                            |
|-----|---------------------------|----------------------------|
| A-B | $0.32x(1+0.0004x)^{-1/2}$ | $0.24x(1+0.001x)^{1/2}$    |
| C   | $0.22x(1+0.0004x)^{-1/2}$ | $0.20x$                    |
| D   | $0.16x(1+0.0004x)^{-1/2}$ | $0.14x(1+0.0003x)^{-1/2}$  |
| E-F | $0.11x(1+0.0004x)^{-1/2}$ | $0.08x(1+0.00015x)^{-1/2}$ |

## Descrição Pormenorizada do Modelo Utilizado

O modelo utilizado neste trabalho é um modelo de dispersão tipo pluma gaussiana na horizontal e que considera a presença da superfície terrestre de modo a induzir uma dispersão não gaussiana na vertical. Pode ser utilizado para descrever a dispersão de poluentes de um complexo industrial com várias modalidades de fontes: área, volume e linha.

Combina e aprimora vários algoritmos de modelos de dispersão, com o objetivo de considerar outras fontes de poluição e não somente emissões de chaminés isoladas, como por exemplo: emissões fugitivas, efeitos aerodinâmicos em torno das chaminés, sedimentação gravitacional e deposição seca.

Ele é projetado para calcular concentrações, ou valores de deposição seca e úmida, para períodos de tempo de 1, 2, 3, 4, 6, 8, 12 e 24 horas. Pode calcular também concentrações anuais se utilizados dados sequenciais para um ano inteiro.

Calcula ainda as concentrações em cada ponto do receptor. Como tem tratamento para terreno, pode ser aplicado tanto para terrenos planos como terrenos irregulares. A figura seguinte mostra os ajustamentos feitos pelo modelo para considerar a topografia. A modificação do terreno pode ser feita através da fórmula:

$$H' = H + Z_s - Z - RHT, \quad (5)$$



onde:

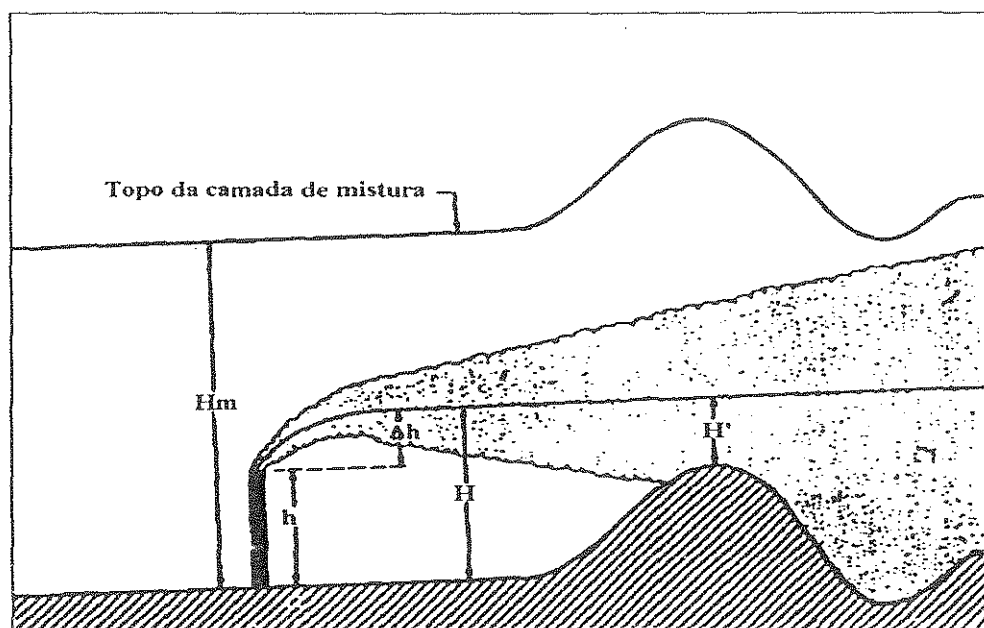
$H'$  - é a altura de estabilização da pluma;

$H$  - é a altura efetiva da chaminé;

$Z_s$  - é a altura da base da chaminé em relação ao nível do mar;

$Z$  - é a altura do terreno no receptor em relação ao nível do mar;

$RHT$  - é a altura do receptor acima da altura do terreno;



*Ilustração do comportamento da pluma num terreno complexo, assumido pelo modelo.*

Este modelo considera que a pluma é dispersada por processos homogêneos na horizontal, mas devido a presença do solo a mesma consideração não pode ser feita na vertical. Utiliza a equação diferencial da Teoria - K, a qual aceita virtualmente alguns complexos tridimensionais nos dados meteorológicos de entrada no programa.

A Teoria - K, pode ser analiticamente resolvida para duas dimensões. Simplificadamente assume-se:

- o vento horizontal  $u$  é expresso como uma lei de potência em função da altura;
- o coeficiente vertical de difusividade  $k_z$ , também é expresso como uma lei de potência em função da altura;

Baseia-se na solução de Demuth's, onde mostra a execução tridimensional considerando o estado estável da atmosfera. Seu tratamento na horizontal é feito através da formulação gaussiana, já descrito anteriormente. Considera que a altura da fonte e a altura da mistura são expressas por funções simples através do perfil vertical do vento e difusividade turbulenta.

A solução então utilizada neste trabalho é expressa da seguinte forma:

$$C(x, y, z) = \overline{C(x, z)} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_y} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \quad (6)$$

A consideração de difusão gaussiana em y determina que:

$$K = \frac{U}{2} \frac{d\sigma_y^2}{dx} \quad (7)$$

e a concentração “cross-wind integrated” é

$$\overline{C(x, z)} = \int_{-\infty}^{+\infty} C(x, y, z) dy \quad (8)$$

dada por:

$$\overline{C}(x, z) = \frac{2 Q q h_a^\alpha}{H_m^{\alpha+1} u_a} \left\{ \gamma + \left( \frac{zR}{H_m} \right)^p \sum_{i=1}^{\infty} \left[ \frac{J_{\gamma-1}(\sigma_{\gamma(i)} R^q) J_{\gamma-1}[\sigma_{\gamma(i)} (z_{H_m})^q]}{J_{\gamma-1}^2(\sigma_{\gamma(i)})} \right] \right\} \exp\left( - \frac{\sigma_{\gamma(i)}^2 q^2 k_{za} x}{H_m^\lambda h_a^r u_a} \right) \quad (9)$$

onde:

$$\lambda = \alpha - \beta + 2 \quad R = \frac{H_e}{H_m}$$

$$\gamma = \frac{(\alpha + 1)}{\lambda} \quad q = \frac{\lambda}{2}$$

e  $J_\nu$  representa a função Bessel de primeira espécie e ordem  $\nu$ , e  $\sigma_{\gamma(i)}$  as raízes de  $J_\nu$  de forma

$$\text{que } J_\gamma(\sigma_{\gamma(i)}) = 0.$$

## Valores de Entrada Para o Modelo

Os parâmetros necessários para a solução acima são os seguintes:

### 1º) estimativa de $\sigma_y$

Esse pode ser estimado tanto experimentalmente através de observações rotineiras (classe de estabilidade de Pasquill-Gifford), ou ainda através do comprimento de Monin-Obukhov ( $L$ ). O comprimento de Monin-Obukhov é uma relação entre os forçantes térmicos e mecânicos que originam a turbulência e expresso como:

$$L = - \frac{u_*^3}{\kappa \frac{g}{T_o} \overline{w\theta}} \quad (10)$$

onde  $u_*$ ,  $\kappa$ ,  $g$ ,  $T_o$ ,  $\overline{w\theta}$  são respectivamente o fluxo de momentum superficial, a constante de von Kármán, a aceleração da gravidade, a escala de temperatura e o fluxo de calor superficial.

A relação entre o comprimento de Monin-Obukhov e a classe de estabilidade é dada por

$$\frac{1}{L} = a z_o^b \quad (11)$$

e o coeficiente  $a$  e a potência  $b$  são tabeladas como:

| Classe de Estabilidade | $a$      | $b$     |
|------------------------|----------|---------|
| A                      | -0.0875  | -0.1029 |
| B                      | -0.03849 | -0.1174 |
| C                      | -0.00807 | -0.3049 |
| D                      | 0.0      | 0.0     |
| E                      | 0.00807  | -0.3049 |
| F                      | 0.03849  | -0.1714 |

### 2º) a difusividade na altura efetiva

A difusividade na altura efetiva de abandono é calculada como:

$$K_{ef} = \frac{\kappa h u_{ef}}{\Psi_m \Psi_h} \quad (12)$$

Na expressão acima  $h, u_{ef}, \Psi_m, \Psi_h$  são, respectivamente, a altura da camada limite planetária, a velocidade do vento na altura efetiva, e os fluxos de momentum e calor adimensionais.

### 3º) o expoente do perfil da velocidade do vento

A velocidade do vento não é considerada constante com a altura. Com o objetivo de considerar as forças de arrasto superficiais e o vento geostrófico, o perfil do vento médio é

$$U = U_o \left( \frac{z}{z_o} \right)^\alpha \quad (13)$$

O expoente alfa é calculado como segue:

$$\alpha = \frac{u_a(H_e) - \bar{u}}{\bar{u}} \quad (14)$$

### 4º) o expoente do perfil da difusividade

A difusividade vertical, conforme citado anteriormente, é uma função dependente da altura através de uma lei de potência. O expoente desta lei é calculado como:

$$\beta = \frac{K_{ef} - \bar{K}}{\bar{K}} \quad (15)$$

onde

$$\bar{K} = \frac{1}{h} \int_0^h u_* z \left( 1 - \frac{h_a}{h} \right) dz \quad (16)$$

## Os Dados Meteorológicos Utilizados

Os dados meteorológicos utilizados neste estudo foram coletados em uma série de campanhas de medidas efetuadas junto a Usina Termoeletrica Presidente Médici com o objetivo de modelar a Camada Limite Planetária Local. Estas campanhas, uma em cada estação do ano, tiveram a duração de duas semanas e constituem no maior acervo de dados meteorológicos para o sul do estado do Rio Grande do Sul.

Medidas de turbulência foram coletadas em uma torre micrometeorológica de 12 metros com os seguintes sensores:



| Sensor                 | Parâmetro                              | altura do sensor | freqüência |
|------------------------|----------------------------------------|------------------|------------|
| anemômetro sônico      | velocidade vertical<br>turbulenta      | 10 m             | 1-10Hz     |
| termômetro de fio fino | temperatura turbulenta                 | 10 m             | 1-10 Hz    |
| Higrômetro de Krypton  | flutuação do vapor<br>d'água           | 10 m             | 1-10 Hz    |
| anemômetro Gill        | velocidades horizontais<br>turbulentas | 11 m             | 1-10 Hz    |
| termômetro             | temperatura                            | 5 m              | 0.1 Hz     |
| higrômetro             | umidade relativa                       | 5 m              | 0.1 Hz     |
| radiômetro             | radiação solar                         | 5 m              | 0.1 Hz     |

Simultaneamente, as medidas de turbulência de ar superior foram realizadas com o auxílio de radiosonda, balão piloto e balão cativo. Estas, objetivavam obter informação de como o vento, temperatura, umidade relativa e pressão, variavam com a altura.



A tabela a seguir indica o número de sondagens realizadas em cada dia de experimento.

| Dia Juliano | B. Cativo | B. Piloto | B. Radiosonda |
|-------------|-----------|-----------|---------------|
| 38          | 2         | 4         | 1             |
| 39          |           | 8         | 1             |
| 40          | 9         | 7         |               |
| 41          |           | 7         | 1             |
| 42          | 13        | 6         |               |
| 43          |           |           |               |
| 44          |           |           |               |
| 45          |           |           |               |
| 142         |           |           | 1             |
| 143         |           | 5         | 5             |
| 144         |           | 5         | 7             |
| 145         |           | 4         | 8             |
| 146         |           | 6         | 8             |
| 147         |           | 6         | 7             |
| 148         |           | 3         | 4             |
| 149         |           | 5         | 7             |
| 150         |           | 1         | 8             |
| 151         |           | 6         | 7             |
| 152         |           | 1         | 5             |
| 153         |           |           |               |
| 199         |           | 1         | 1             |
| 200         |           | 6         | 3             |
| 201         |           | 5         | 4             |
| 202         |           | 5         | 1             |
| 203         |           | 1         | 3             |
| 204         | 14        | 4         | 3             |
| 205         | 1         | 4         | 6             |
| 206         | 5         | 3         | 1             |
| 207         | 1         | 5         | 3             |
| 208         | 11        |           | 3             |
| 310         |           | 3         | 1             |
| 311         |           | 9         | 5             |
| 312         |           | 8         | 6             |
| 313         |           | 5         | 8             |
| 314         |           | 7         | 6             |
| 315         |           | 4         | 4             |
| 316         |           | 4         | 6             |
| 317         |           | 7         | 7             |
| 318         |           | 8         | 8             |
| 319         |           | 7         | 10            |
| 320         |           |           | 7             |

Os fluxos de momentum e calor superficiais foram calculados dos dados de turbulência coletados na torre.

Cada ponto representa uma média sobre intervalos de tempo de vinte minutos.

Como cada valor de turbulência é obtido uma vez por segundo isto significa que cada ponto de input é calculado com 1200 pontos. Os dados de velocidade de vento e direção de vento são obtidos ou dos dados da torre ou das sondagens. Nos períodos onde sondagens não foram realizadas utilizam-se dados de turbulência.



Os parâmetros de estabilidade, isto é, o comprimento de Monin-Obukhov é calculado como a razão entre os fluxos.

Deve ser enfatizado que estes parâmetros são estimados para cada dia de simulação apresentada no trabalho.

### **SITUAÇÕES MICROMETEOROLÓGICAS QUE PROVOCAM O TRANSPORTE DE CONTAMINANTES A GRANDES DISTÂNCIAS: O CASO DE UMA CHAMINÉ ELEVADA QUE ABANDONA POLUENTES DE UMA MANEIRA CONTÍNUA.**

A camada limite planetária (CLP) pode tornar-se estratificada estavelmente quando a superfície da terra é mais fria do que o ar adjacente.

Esta camada limite estável forma-se com frequência a noite sobre terra firme e é conhecida como uma camada limite noturna. A camada limite estável forma-se também por advecção de ar quente sobre uma superfície fria.

O balanço dinâmico entre a geração mecânica da turbulência e o amortecimento pela estabilidade varia acentuadamente no período de um dia. Por exemplo em certas situações sinóticas o vento a noite é forte e contínuo gerando uma camada de mistura turbulenta intensa que provoca um resfriamento turbulento acentuado nas primeiras centenas de metros.

Neste caso a altura da camada de mistura turbulenta estável pode atingir 300 ou 400 metros. Quando os ventos são fracos, na presença de poucas nuvens, o resfriamento por radiação de longo comprimento de onda a noite é dominante e a altura da camada de inversão é consideravelmente mais elevada do que a altura da camada de mistura turbulenta.

Na situação de intenso resfriamento radiativo a turbulência na CLP estável é esporádica e intermitente, provocando um desacoplamento entre os forçantes superficiais e as regiões superiores da camada.

Em resumo, quando o resfriamento por radiação é acentuado a altura da inversão térmica é de várias centenas de metros enquanto a escala vertical da mistura turbulenta é da ordem de algumas dezenas de metros. No caso contrário, quando os ventos são fortes o resfriamento turbulento é intenso e as alturas da mistura turbulenta e da inversão térmica são equivalentes e atingem várias centenas de metros.

Em regiões elevadas da CLP estável (alturas da ordem de 100 metros ou mais), forçantes sinóticas e de mesoescala tornam-se importantes. Algumas vezes ocorrem oscilações inerciais no campo do vento que adicionadas ao mecanismo de desacoplamento da CLP estável geram um fenômeno conhecido como jato de baixos níveis.

Este fenômeno, que ocorre com bastante frequência, é caracterizado por ventos superficiais fracos que aumentam com a altura e atingem um valor máximo em uma região vertical estreita. Essa região vertical estreita que encerra o jato de baixo nível localiza-se normalmente nas primeiras centenas de metros.

Com base no que foi apresentado acima pode-se agora analisar o processo de dispersão turbulenta de contaminantes abandonados continuamente por uma chaminé elevada na camada limite planetária estável.

Discute-se qualitativamente os padrões de dispersão em situações micrometeorológicas que provocam o transporte de contaminantes a grandes distâncias.



O caso de ventos fracos na superfície com a altura da chaminé coincidindo com a região do jato de baixo nível é bastante interessante.

Na região do jato a magnitude da velocidade do vento varia entre 10 e 20 m/s, transportando o contaminante de uma maneira global como se este estivesse no interior de um túnel de vento.

Dentro do jato a mistura turbulenta vertical e lateral é muito limitada de modo que o contaminante pode ser transportado a dezenas de quilômetros da fonte em uma concentração bastante elevada.

A grandes distâncias da fonte a estrutura física da CLP pode alterar-se e os efeitos da turbulência transportam o contaminante no sentido da superfície.

O caso de uma mistura turbulenta próxima a superfície na CLP estável é também uma situação de transporte de poluentes a grandes distâncias da fonte. Vamos considerar o evento no qual a intensidade da turbulência diminua com a altura.

Normalmente a noite as chaminés elevadas estão situadas em alturas onde a mistura turbulenta é muito fraca. A turbulência nesses níveis é constituída por turbilhões pequenos e isotrópicos de modo que o contaminante expande-se na vertical e na lateral muito lentamente.

O transporte médio pelo vento carrega o contaminante a grandes distâncias do ponto de abandono. Devido a lenta mistura vertical é necessário um razoável tempo de viagem para que os poluentes sintam a presença mais intensa da mistura vertical nas regiões próximas a superfície.

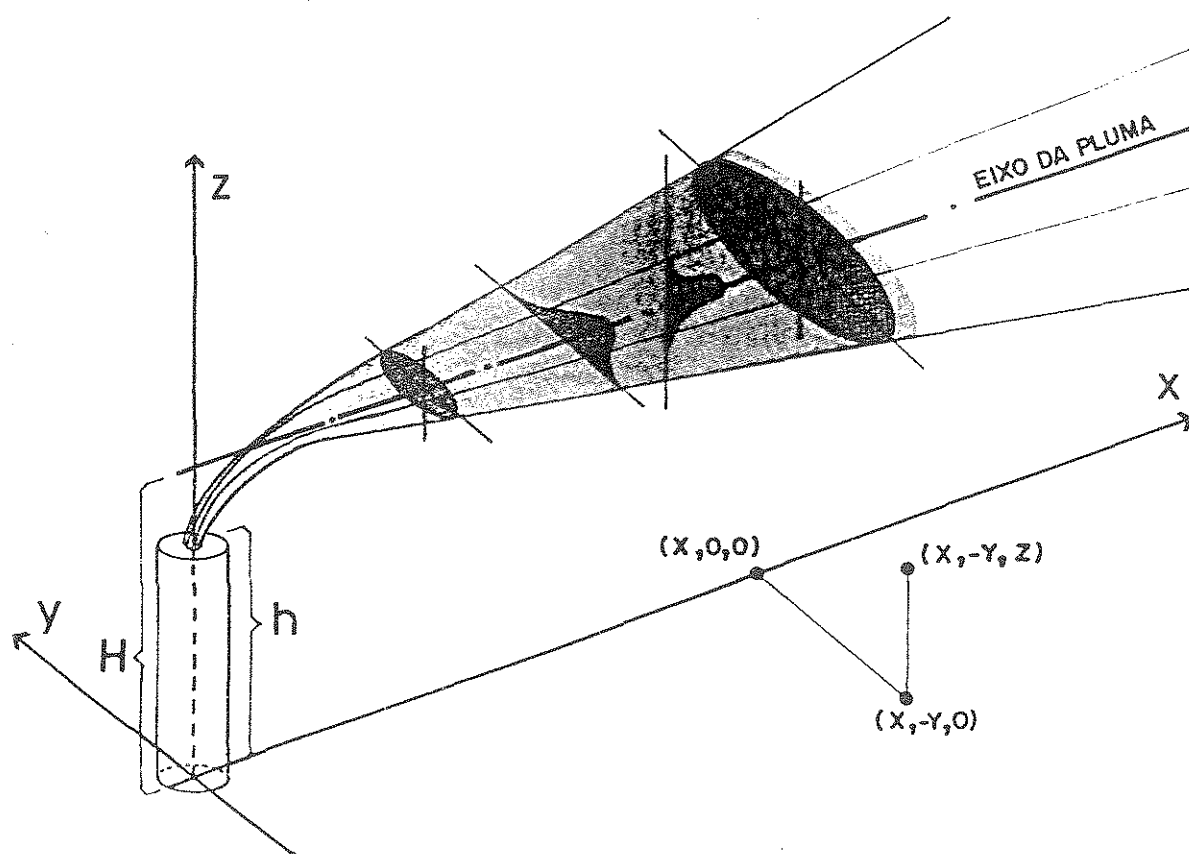
Este quadro pode ocorrer sem a presença de jato de baixo nível, em outras palavras, a advecção ocorre na presença de ventos de magnitude moderada. A grandes distâncias da fonte (20-30 Km) pode ocorrer um processo tipo fumigação, no qual o contaminante em altas concentrações afunda no sentido da superfície sob o efeito dos turbilhões presentes na camada de mistura quase neutra, vizinha à superfície.

Em ambas as situações descritas acima, as condições de dispersão de contaminantes são favoráveis para comunidades (cidades e vilas) próximas a fonte poluente.

Uma vez que as chaminés são elevadas o contaminante atingirá a superfície em regiões remotas da fonte.



FIGURA 1.29 · Distribuição gaussiana - Sistema de Coordenadas





As principais variáveis usadas nas estimativas de concentração de poluentes, via simulação matemática, podem ser divididas em:

**- RELATIVAS A CONDIÇÕES AMBIENTAIS:**

**a - velocidade do vento**

Neste caso, é sempre indicada a velocidade do vento, medida a 10 m do solo.

Para o cálculo das concentrações médias anuais, é necessário conhecer as frequências com que ocorrem as diversas velocidades de vento nas oito direções principais da rosa dos ventos ao longo do ano.

**b - estabilidade atmosférica**

A elevação da pluma é afetada pela classe de estabilidade atmosférica, sendo maior para atmosferas neutras e instáveis.

Para o cálculo das concentrações médias anuais, devem ser consideradas as frequências com que ocorrem ao longo do ano para as diversas velocidades de vento.

**c - temperatura ambiente**

O método de cálculo prevê o uso de uma única temperatura ambiente para cada simulação e para cada uma das médias diárias.

Para as médias anuais, a temperatura também é considerada constante.

No Brasil, em geral, as variações sazonais são geralmente pequenas, sendo o efeito da temperatura não significativo.

Entretanto, para a região de Candiota, que apresenta extremos de temperatura sensivelmente afastados entre o inverno e o verão, este desvio pode ter alguma significância.

Como a elevação da pluma decresce com a temperatura, geralmente utiliza-se um valor conservativo por precaução, já que a temperatura ambiente influi na elevação da pluma, pois o gradiente térmico é a força motriz que estabelece o empuxo nesta elevação.

**- RELATIVAS A CARACTERÍSTICAS DAS EMISSÕES**

**a - altura da chaminé (emissores)**

Quanto mais alta a chaminé, maior é a altura da pluma, portanto, menor a concentração dos poluentes para um observador instalado ao nível do solo.

Além disto, é levada em consideração a velocidade do vento na boca da chaminé; esta velocidade aumenta com a altura da chaminé, conforme observado no perfil vertical de velocidades.



#### **b - velocidade de saída dos gases da chaminé**

Apesar de os equipamentos operarem com certa flutuação ao longo do dia, a velocidade de saída dos gases da chaminé é, para efeito de cálculos, considerada constante e, no caso de Candiota, igual à relativa a plena carga.

#### **c - temperatura dos gases da chaminé**

Também consideramos constante a temperatura de saída dos gases. Cabe citar que esta temperatura é um fator que influi de maneira positiva no empuxo.

#### **d - vazão de poluentes emitidos**

A vazão mássica total de poluentes através de qualquer secção vertical da pluma é considerada constante e igual à emitida pela chaminé.

#### **e - localização dos pontos emissores**

Em um conjunto de diversos emissores próximos entre si, a elevação da pluma de uma chaminé é auxiliada pelas demais.

Entretanto, no caso de as fontes serem relativamente distantes entre si, como ocorre na região do empreendimento, somente as fases A e B da UTPM auxiliam-se mutuamente.

Conforme a localização, direção do vento e outros fatores, as plumas de duas (ou até mais) chaminés podem interpenetrar-se a partir de determinado ponto.

Para o caso em estudo, a cota de cada instalação industrial foi considerada constante; esta hipótese é razoável uma vez que a topografia da região é razoavelmente regular, com pequenas ondulações em torno de um valor médio.

O modelo matemático usado, fornece médias das concentrações de um dado poluente, para cada uma das oito direções da rosa dos ventos, e leva em conta as seguintes fontes localizadas:

- Usina Termelétrica Presidente Médici - Fase A
- Usina Termelétrica Presidente Médici - Fase B
- Cia. de Cimento e Mineração Bagé - CIMBAGÉ
- Cia. de Cimento Portland Gaúcho - VOTORAN

O modelo de dispersão atmosférica utilizado, foi desenvolvido a partir do modelo Gaussiano clássico, em que passou a considerar que a dispersão na horizontal é gaussiana e, ao se considerar a presença da superfície terrestre, induz uma dispersão não gaussiana na vertical, conforme antes mencionado.

Como resultado do processamento, foram obtidos os valores de concentrações de dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ), óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ) e material particulado volante (MP) ao nível do solo, causados pelas emissões regionais em um entorno de 30 km da futura Usina Candiota III.

No Quadro 1.40 estão sinteticamente apresentados, para cada fonte emissora, os dados utilizados no processamento.

QUADRO 1.40 - Dados usados no processamento

| FONTE                                  |                       | UTPM(A+B)  | CIMBAGE | VOTORAN | TOTAL  |
|----------------------------------------|-----------------------|------------|---------|---------|--------|
| ALTURA DA EMISSÃO (m)                  |                       | 150        | 42      | 62      | -      |
| RAIO                                   | (*) (m)               | 4,09       | 2,88    | 2,18    | -      |
| VAZÃO DOS<br>POLUENTES                 | SO <sub>2</sub> (g/s) | 2611,1     | 24,5    | 44,4    | 2680   |
|                                        | FRAÇÃO (%)            | 97,4       | 0,9     | 1,7     | 100    |
|                                        | MAT.PART.(g/s)        | 944,4      | 108,9   | 6600    | 7653,3 |
|                                        | FRAÇÃO (%)            | 12,3       | 1,5     | 86,2    | 100    |
|                                        | NO <sub>x</sub> (g/s) | 416        | 17      | 14      | 447    |
|                                        | FRAÇÃO (%)            | 93         | 3,8     | 3,2     | 100    |
| VAZÃO DOS GASES<br>(m <sup>3</sup> /s) |                       | 876,7      | 217,5   | 124,8   | -      |
| TEMPERATURA DOS GASES<br>(°C)          |                       | 153,5      | 169,0   | 101,6   | -      |
| OBSERVAÇÕES<br>(dutos)                 |                       | A=1<br>B=2 | 13      | 15      | -      |

Fontes: FEPAM e CEEE

Obs.: (\*) Raio equivalente

Os dados meteorológicos obtidos pela UFRGS através de seus trabalhos de campo (instalações de estações), bem como a partir de informações fornecidas pelas estações meteorológicas da CEEE e de Bagé-INEMET, foram usados, em parte, já que os elementos principais, usadas na simulação, foram gerados pelas coletas da UFSM.

Os trabalhos de campo já foram apresentados em detalhe no item referente a condições meteorológicas e comportamento climático.

As condições de estabilidade atmosférica para cada velocidade de vento (gradiente térmico na atmosfera) foram estimadas com base no grau de insolação levantado para as condições diurnas, utilizando-se o Quadro 1.41, que é chave para as categorias de estabilidade de Pasquill já vista e comentada antes, e também foram levados em consideração, as informações obtidas dos levantamentos realizados pela UFSM, com balões e sondas, bem como de estação meteorológica instalada na região.

QUADRO 1.41 - Coeficientes para modelos de dispersão

| VELOCIDADE<br>DO<br>VENTO A 10 m<br>DE<br>ALTURA (m/s) | DIA (*)                  |          |       | NOITE (*)                 |                 |
|--------------------------------------------------------|--------------------------|----------|-------|---------------------------|-----------------|
|                                                        | RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE |          |       | POUCO ENCOBERTA           |                 |
|                                                        | FORTE                    | MODERADA | FRACA | > 4/8<br>NUVENS<br>BAIXAS | < 3/8<br>NUVENS |
| < 2                                                    | A                        | A - B    | B     | -                         | -               |
| 2 - 3                                                  | A - B                    | B        | C     | E                         | E               |
| 3 - 5                                                  | B                        | B - C    | C     | D                         | E               |
| 5 - 6                                                  | C                        | C - D    | D     | D                         | D               |
| > 6                                                    | C                        | D        | D     | D                         | D               |

Fonte: Calver & Englund - Handbook of Air Pollution Technology

Obs.:(\*) A classe D, neutra, deve ser assumida para períodos encobertos de nuvens.

No trabalho desenvolvido, as condições noturnas foram incorporadas considerando que, conforme dados obtidos, 36,7% dos dias (e noites) são encobertos.

No Quadro 1.42, encontram-se as informações da distribuição percentual dos ventos segundo a origem e velocidade na Estação Meteorológica de Candiota-CEEE, relativa ao período compreendido entre 1969 e 1983.

QUADRO 1.42 - Distribuição percentual dos ventos segundo origem e velocidade

| ORIGEM<br>DO VENTO | VELOCIDADE DO VENTO (m/s) |       |      |      |      |     | TOTAL% |
|--------------------|---------------------------|-------|------|------|------|-----|--------|
|                    | 2                         | 4     | 6    | 8    | 10   | >12 |        |
| N                  | 1,03                      | 7,47  | 2,05 | 0,33 | 0    | 0   | 10,88  |
| NE                 | 1,25                      | 15,78 | 4,0  | 0,25 | 0    | 0   | 21,28  |
| E                  | 3,37                      | 16,37 | 3,05 | 0,21 | 0,42 | 0   | 23,42  |
| SE                 | 6,41                      | 7,87  | 0,80 | 0,14 | 0    | 0   | 15,22  |
| S                  | 4,51                      | 5,64  | 0,65 | 0    | 0    | 0   | 10,80  |
| SO                 | 1,47                      | 4,06  | 1,78 | 0,14 | 0    | 0   | 7,45   |
| O                  | 1,87                      | 3,40  | 1,43 | 0,31 | 0    | 0   | 7,01   |
| NO                 | 0,71                      | 1,87  | 1,15 | 0,20 | 0,01 | 0   | 3,94   |

Fonte: UFRGS

São apresentadas a seguir as estimativas das condições de estabilidade atmosférica. Estas estimativas possuem um certo grau de confiabilidade uma vez que, devido à falta de dados

nos organismos oficiais, se buscou todas as informações secundárias que possuem características indicativas das variações.

QUADRO 1.43 - Distribuição percentual anual das condições de estabilidade atmosférica - condição diurna

| VELOCIDADE<br>DO<br>VENTO(m/s) | CATEGORIA DE ESTABILIDADE ATMOSFÉRICA |       |       |       |         |
|--------------------------------|---------------------------------------|-------|-------|-------|---------|
|                                | 1 (A)                                 | 2 (B) | 3 (C) | 4 (D) | 5 (E-F) |
| 2                              | 48,38                                 | 46,78 | 4,84  | 0     | 0       |
| 4                              | 0                                     | 61,96 | 35,87 | 2,17  | 0       |
| 6                              | 0                                     | 1,92  | 67,31 | 30,77 | 0       |
| 8                              | 0                                     | 0     | 18,18 | 81,82 | 0       |
| >10                            | 0                                     | 0     | 0     | 100   | 0       |

Fonte: UFRGS

QUADRO 1.44 - Distribuição percentual anual das condições de estabilidade atmosférica - condição diurna e noturna

| VELOCIDADE<br>DO<br>VENTO(m/s) | CATEGORIA DE ESTABILIDADE ATMOSFÉRICA |       |       |       |       |    |
|--------------------------------|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|----|
|                                | 1(A)                                  | 2(B)  | 3(C)  | 4(D)  | 5(E)  | >6 |
| 2                              | 24,19                                 | 23,39 | 2,42  | 18,55 | 31,45 | 0  |
| 4                              | 0                                     | 30,98 | 17,94 | 19,56 | 31,52 | 0  |
| 6                              | 0                                     | 0,96  | 33,65 | 65,39 | 0     | 0  |
| 8                              | 0                                     | 0     | 9,09  | 90,91 | 0     | 0  |
| >10                            | 0                                     | 0     | 0     | 100   | 0     | 0  |

No Quadro 1.45 apresenta-se a distribuição mensal das temperaturas, conforme informações das Estações Meteorológicas da CEEE em Candiota e da Estação Meteorológica do INEMET em Bagé-RS.



QUADRO 1.45 - Distribuição de temperaturas

| MÊS            | MÉDIA<br>(°C) | MÉDIA DAS<br>MÁXIMAS<br>(°C) | MÉDIA DAS<br>MÍNIMAS<br>(°C) | MÁXIMAS<br>ABSOLUTAS<br>(°C) | MÍNIMAS<br>ABSOLUTAS<br>(°C) |
|----------------|---------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| JAN            | 22,8          | 28,4                         | 17,0                         | 35,9                         | 8,2                          |
| FEV            | 22,9          | 28,7                         | 17,7                         | 36,5                         | 5,0                          |
| MAR            | 20,8          | 26,8                         | 15,8                         | 39,0                         | 5,1                          |
| ABR            | 17,4          | 23,4                         | 12,9                         | 33,6                         | 2,3                          |
| MAI            | 15,2          | 20,3                         | 11,1                         | 29,8                         | -4,8                         |
| JUN            | 11,5          | 17,5                         | 7,2                          | 29,0                         | -4,0                         |
| JUL            | 12,0          | 17,4                         | 7,6                          | 30,0                         | -4,6                         |
| AGO            | 12,6          | 18,4                         | 7,9                          | 31,0                         | 0,0                          |
| SET            | 14,2          | 19,9                         | 8,9                          | 31,2                         | 0,0                          |
| OUT            | 16,9          | 22,8                         | 11,5                         | 32,6                         | 1,0                          |
| NOV            | 18,6          | 24,8                         | 12,9                         | 33,4                         | 2,0                          |
| DEZ            | 21,3          | 27,4                         | 15,3                         | 38,2                         | 1,2                          |
| MÉDIA<br>ANUAL | 17,2          | 23,0                         | 12,1                         | 33,4                         | -1,6                         |

Fonte: CEEE/INEMET

#### - Resultados das Simulações

Com as informações meteorológicas, atmosféricas e das fontes, aplicadas ao modelo matemático gaussiano, obteve-se, via simulação, os valores das médias de concentração diária e anual de material particulado,  $\text{NO}_x$  e  $\text{SO}_2$  ao nível do solo.

Estes valores estão distribuídos em malha, conforme veremos, nas oito direções da rosa dos ventos. Foram também traçadas diversas curvas de isoconcentração, ficando evidenciada a influência da predominância dos ventos e das características das fontes.

Para a média anual e diária, as simulações foram efetuadas em uma malha (rede) quadrada de 60 km de lado e está centrada no sítio destinado à Usina Candiota III junto à UTPM.

Para a definição desta malha, foram novamente consideradas as 8 direções da rosa dos ventos. No retângulo definido, o sítio reservado para Candiota III-1ª Máquina, está localizado no ponto central, e a direção SUL-NORTE é na vertical, ascendente (eixo y+).

Para efeitos de clareza, nos desenhos que representam as médias das concentrações, apenas a grade na direção que apresentou o maior valor da concentração ao nível do solo é apresentada. Isto significa que os valores nas demais direções são menores. Tais valores constam das listagens dos processamentos, incluídas neste trabalho em anexo.



Para o cálculo das concentrações médias anuais, foram consideradas as condições de velocidade do vento e condições de estabilidade atmosférica, distribuídas conforme sua ocorrência, dentro dos valores mais confiáveis.

Devido à grande abertura da malha em estudo, os valores menores resultantes da dispersão são insignificantes e não foram lançados nos desenhos, aparecendo, entretanto, nas listagens apresentadas em anexo.

É interessante destacar que nas listagens em anexo encontram-se todos os valores dos dados de entrada utilizados para cada simulação específica. Esta informação vale igualmente para o caso da avaliação de impactos relativos à implantação da Usina Candiota III.

Como resultado específico da simulação matemática, busca-se determinar as concentrações de fundo existentes de material particulado volante (MP), dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ) e óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ) válidas para a condição anterior à entrada em operação do 1ª máquina da Usina Candiota III, empreendimento objeto de estudo neste trabalho.

Com os elementos do processamento, dos trabalhos da JICA e os mapas anteriormente citados, compomos o Quadro 1.46, que contém os valores máximos encontrados para a concentração média diária de MP,  $\text{SO}_2$  e  $\text{NO}_x$  ao nível do solo por efeito das fontes emissoras UTPM-A e B, VOTORAN e CIMBAGÊ, e o Quadro 1.47, que sumariza os valores de média anual de MP,  $\text{SO}_2$  e  $\text{NO}_x$  ao nível do solo devido às mesmas fontes.

QUADRO 1.46 - Concentrações de material particulado, dióxido de enxofre e  $\text{NO}_x$  ao nível do solo - média diária

| REFERÊNCIA            | EFLUENTE ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) |               |               |
|-----------------------|---------------------------------------|---------------|---------------|
|                       | Mat. Particulado                      | $\text{SO}_2$ | $\text{NO}_x$ |
| Simulação (1)         | < 1707 (2)                            | <183 (3)      | <31,3 (4)     |
| Informação FEPAM(5)   | 25 a 35                               | 20 a 30       | n.i.(6)       |
| Legislação Brasileira | < 240                                 | < 365         | <320 (7)      |
| JICA/CEEE (8)         | 24,7                                  | 28,8          | 5,6           |

(1) Foram consideradas as maiores concentrações dentre 50 simulações, com as piores condições.

(2) Para o dia 26/07/94 - simulado - posição a 9,5 km a leste da UTPM, mostrando a grande participação da VOTORAN (maior fonte de particulados)

(3) Simulação para o dia 08/02/95 - posição a 700 metros a sudoeste da UTPM

(4) Simulação para o dia 25/07/94 - posição a 2,8 km na direção sudoeste da UTPM

(5) Conforme informação no DMA/DEA/375-87

(6) n.i. = não informado

(7) Conforme média de 1 hora (padrão primário)

(8) Estação Aeroporto de Candiota





QUADRO 1.47 - Concentrações de material particulado, SO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub> ao nível do solo - média anual

| REFERÊNCIA            | EFLUENTE (µg/m <sup>3</sup> ) |                 |                 |
|-----------------------|-------------------------------|-----------------|-----------------|
|                       | Mat.Part.                     | SO <sub>2</sub> | NO <sub>x</sub> |
| Simulação (1)         | < 50 (2)<br>300 (3)           | < 10            | < 2             |
| Informação FEPAM (4)  | 25 a 35                       | 20 a 30         | n.i. (5)        |
| Legislação Brasileira | < 80                          | < 80            | <100            |
| JICA/CEEE             | 18,74                         | 13,77           | 3,07            |

(1) Foram tomados os valores médios representativos das simulações

(2) Observar que, na simulação, o grande peso para os valores observados, é vinculado à grande emissão de material particulado pela VOTORAN

(3) Simulação a cerca de 5 km da VOTORAN, a concentração média anual máxima de material particulado atinge 300 µg/m<sup>3</sup>, na direção sul

(4) Conforme informação no DMA/DEA/375-87

(5) n.i.= não informado

Com base nos Quadros 1.46 e 1.47, obtidos a partir da simulação para as médias diária e anual de MP, NO<sub>x</sub> e SO<sub>2</sub>, e nos Mapas 1.4, 1.5 e 1.6 bem como Mapas da simulação das médias diárias, anexos no item 1.8, podemos fazer os comentários que seguem.

- Pode-se observar claramente que a VOTORAN tem grande participação na concentração média diária de MP ao nível do solo. Isto pode ser verificado no Mapa 1.4, onde se observa que a máxima concentração é devido às emissões da VOTORAN. Esta situação, que ocorre em um ponto situado a cerca de 5 km desta planta e a cerca de 9,5 km da UTPM, é explicada pela baixa altura da pluma (173m) e alta taxa de emissão de particulados (6600 g/s), que representa 86% da quantidade total de particulados nos dados de entrada da simulação. Pode-se igualmente verificar que esta concentração máxima não ocorre na direção predominante dos ventos, mas sim na direção sul.
- Observa-se também que esta elevada concentração decresce rapidamente devido à altura relativamente baixa dos pontos emissores: este fato pode ser comprovado verificando que, já a 10 km da VOTORAN, a concentração de MP cai bastante na direção sul.
- Quanto à média anual de material particulado, feita a distribuição dos ventos nas 8 direções da rosa dos ventos, verifica-se que valores maiores são registrados na direção sudoeste, mas concentrada no entorno da região compreendida entre UTPM e VOTORAN

Feitas as ponderações nas 8 direções, a simulação indica que as concentrações médias, na grande área, fica entre 18,74 µg/m<sup>3</sup> (medido pela JICA) e 50 µg/m<sup>3</sup> (simulação), estando o valor da FEPAM, intermediário.

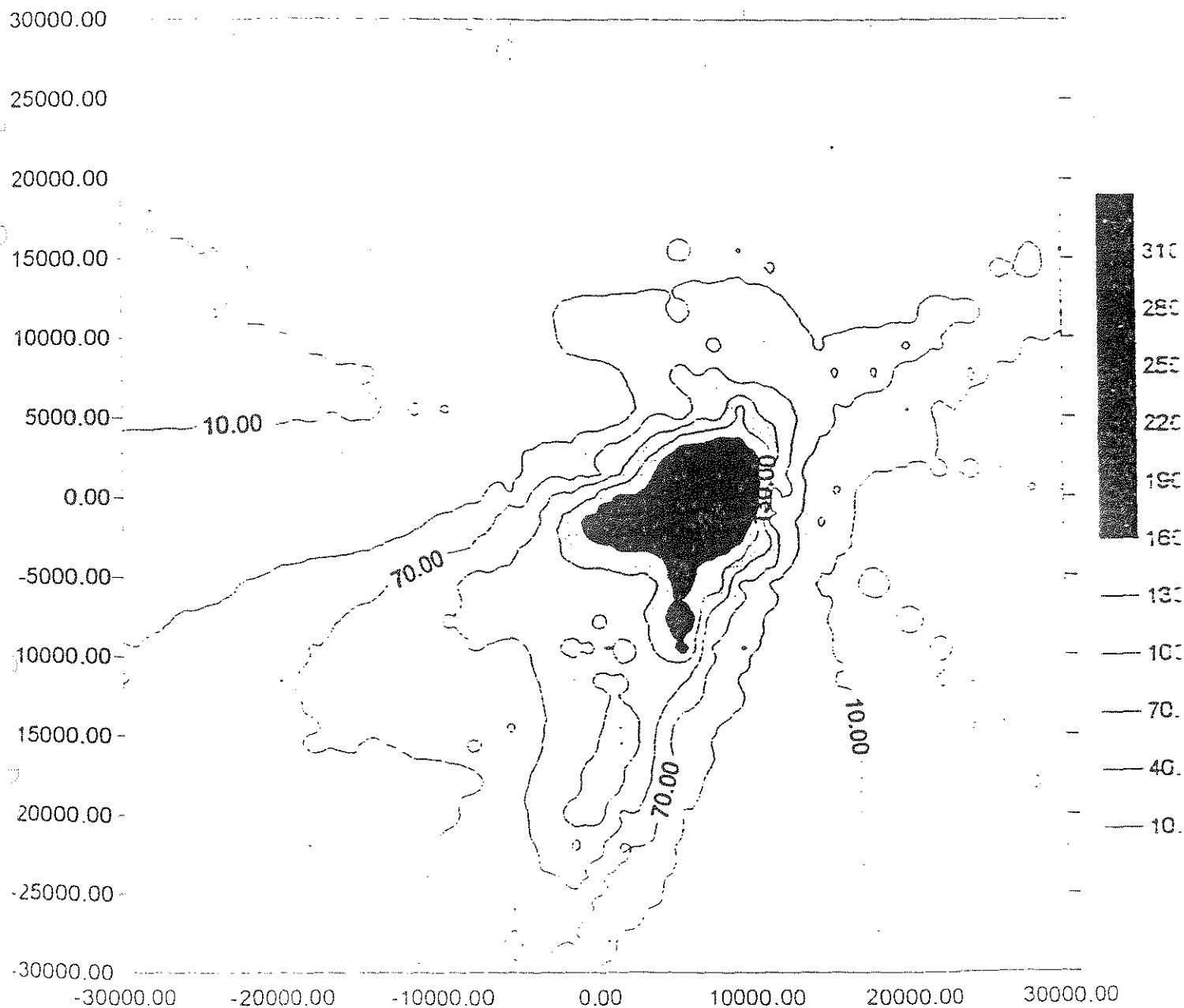
- Os resultados obtidos para SO<sub>2</sub> devem ser creditados ao maior emissor na região, qual seja a UTPM - fases A e B.



- A simulação revela valores máximos para a média diária de  $\text{SO}_2$  de  $183 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a sudoeste e próximo a UTPM, decrescendo rapidamente.
- Com relação à concentração média diária de MP, é interessante observar que agora a direção que registra o maior valor é ao sul da VOTORAN, enfatizando novamente a emissão e a baixa pluma da VOTORAN, responsáveis pelo alto valor encontrado na simulação, que nos parece exagerado frente ao medido pela JICA.
- Com relação às concentrações médias anuais de  $\text{SO}_2$ , os maiores valores ocorrem na direção sudoeste. O valor máximo de  $38,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  encontrado, foi registrado a 700 m da UTPM.
- Pode-se também observar que o menor valor encontrado para  $\text{SO}_2$  (média anual) nas 8 direções da rosa dos ventos centrada na UTPM foi de  $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Assim, a concentração de  $\text{SO}_2$  ao nível do solo varia entre 7 e  $38,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , ou seja, 0,0028 e 0,0146 ppm, estando os valores da JICA e FEPAM, situados no intervalo.
- Finalizando, observe-se que, para o caso do  $\text{NO}_x$ , o valor medido pela JICA e o encontrado na simulação, são bastante baixos e próximos entre si.

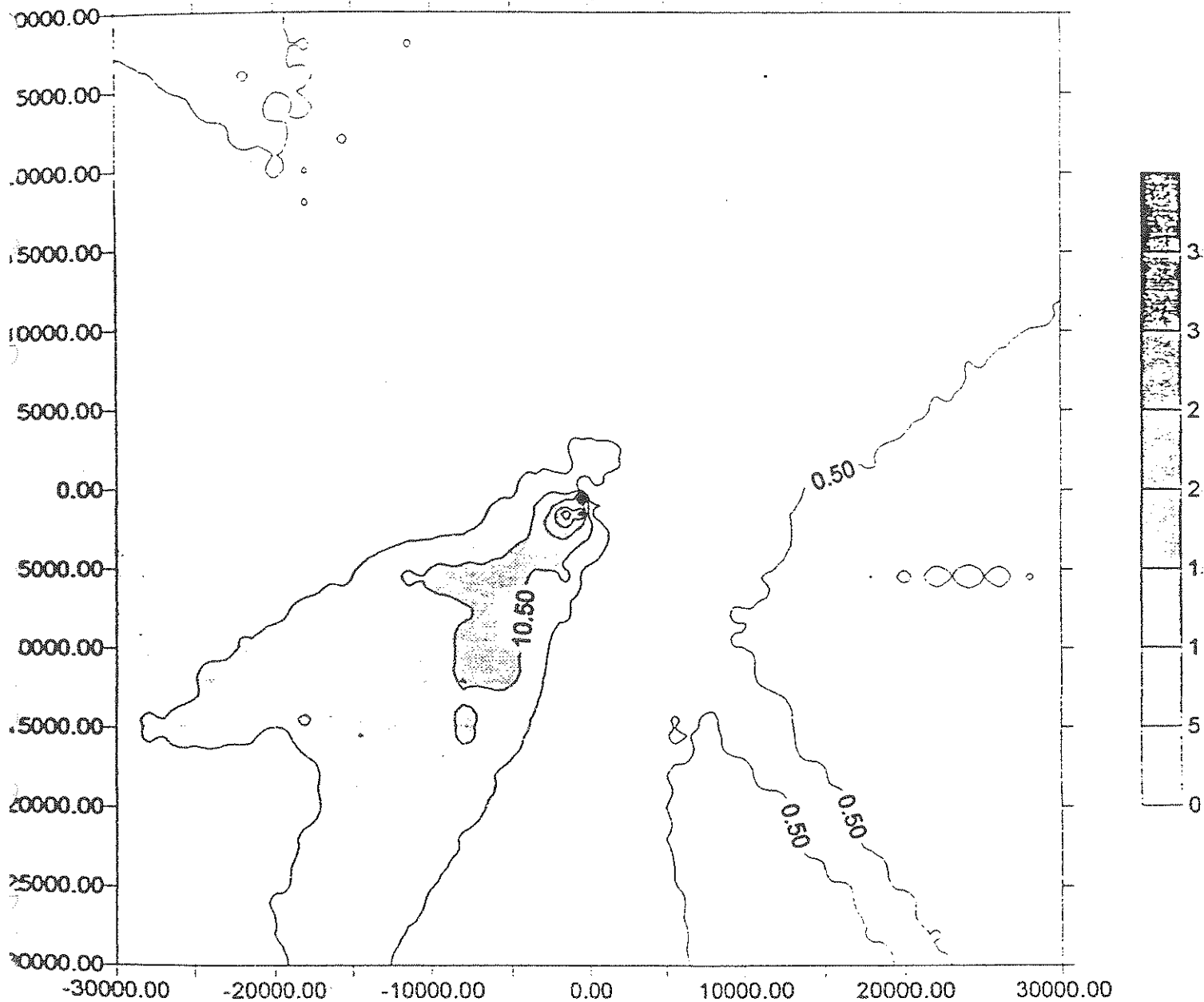
MÁPA 1.4

Concentração média anual de MP,  
ao nível do solo, para as fontes atuais.

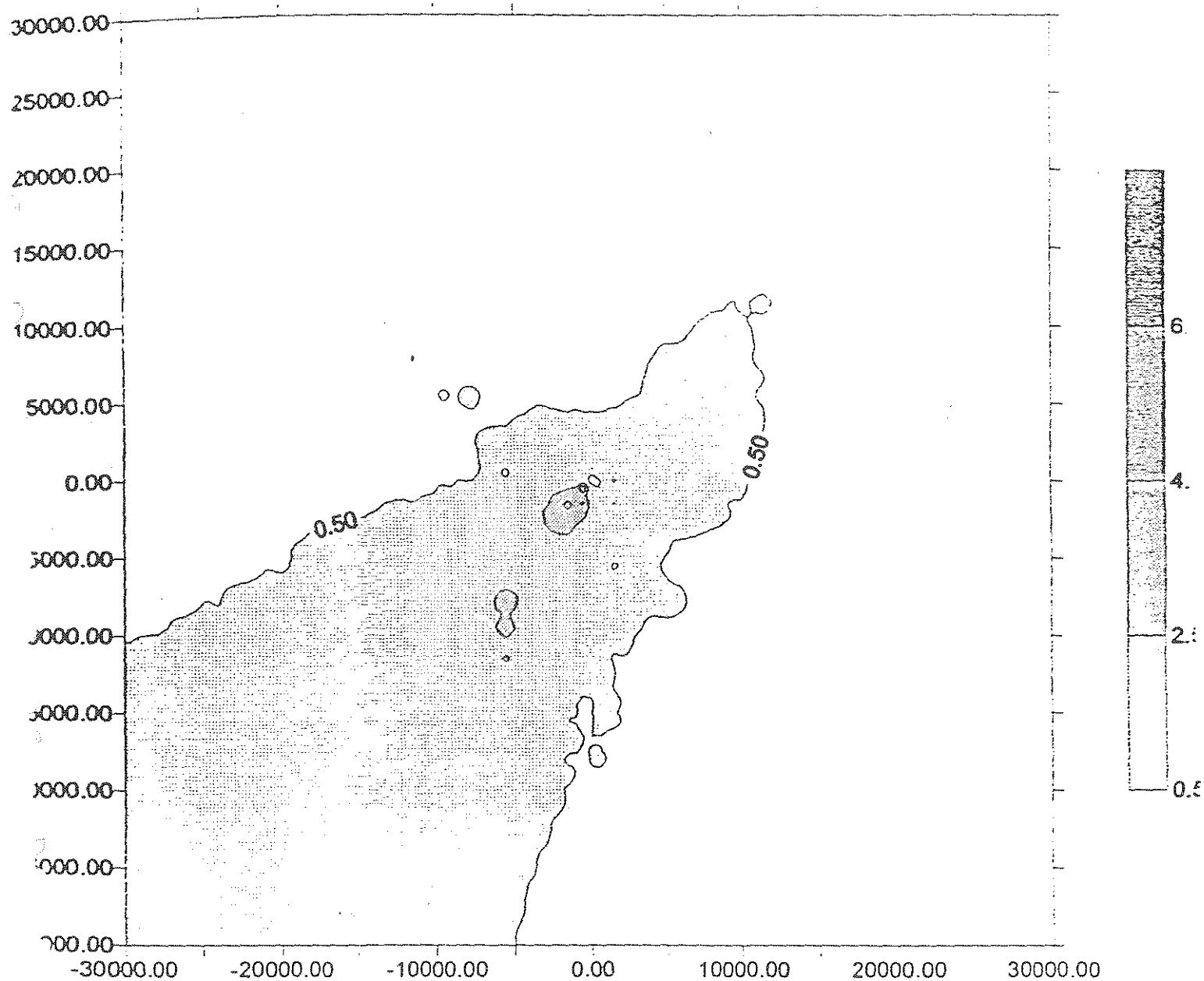


**Concentração média anual de SO<sub>2</sub>,  
ao nível do solo, para as fontes atuais.**

MAPA 1.5



MAPA 1.6      Concentração média anual de NO<sub>x</sub>,  
ao nível do solo, para as fontes atuais.



### - Resultados Comparativos Entre os Dados Levantados e a Simulação

Dentre as comparações a seguir desenvolvidas, estão as relativas a concentrações de material particulado, utilizando-se os resultados da simulação e os valores informados pela FEPAM/SSMA e os levantados pela JICA/CEEE.

São também comparados os valores de concentração de dióxido de enxofre obtidos pela simulação com os valores informados pela FEPAM/SSMA, método da placa de sulfatação (SAM) e bioindicação. Vale lembrar que estes 2 últimos ensaios foram realizados pelo Centro de Ecologia da UFRGS. Também serão comparados os valores de  $\text{NO}_x$ , simulados e levantados pela JICA/CEEE.

### - Material Particulado

Conforme comentado anteriormente, nunca foi efetuado na região de Candiota um levantamento real, de longo prazo, da concentração de material particulado no ar, ao nível do solo. Isto se deve a diversas razões, dentre as quais destacamos as seguintes:

- em princípio, a obtenção e divulgação de dados de condições atmosféricas (temperatura, velocidade de ventos, umidade relativa, insolação, etc) tem sido da competência do poder público e encontram-se à disposição de interessados. Portanto, os dados das condições ambientais (concentrações de material particulado, gases em geral, qualidade do ar, etc) também deveriam ser de responsabilidade do poder público competente, e estas informações, estarem à disposição dos usuários. Isto em parte também já é feito, mas as informações referem-se a locais muito específicos não extrapoláveis, tendo sido custeadas algumas vezes pela iniciativa privada;
- a legislação federal é recente (IBAMA, CONAMA) e os órgãos ambientais estaduais e municipais, a exemplo de tantos outros órgãos do poder público, carecendo de recursos materiais, financeiros e humanos, diante desta recente criação, ainda não puderam construir bancos de informações baseados em dados reais, extraídos do monitoramento ambiental por período de tempo que afiance os resultados, estatisticamente, e dê confiabilidade a estas informações tão importantes e necessárias a um bom trabalho de diagnóstico ambiental ou outro relacionado com o meio ambiente.

Desta forma, e lamentando não haver informações melhores e confiáveis, comparamos no Quadro 1.48 as concentrações de material particulado presente na atmosfera devido ao lançamento pelos emissores. Para efeito de limites, é admitido que a área de influência é um quadrado de 60 x 60 km centrado no sítio da UTC III, junto à UTPM.

QUADRO 1.48 - Comparação das concentrações de material particulado ao nível do solo

| VALORES<br>( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) | INFORME<br>FEPAM/SSMA | JICA/CEEE | SIMULAÇÃO (4) |
|-----------------------------------------|-----------------------|-----------|---------------|
| MÍNIMO                                  | 25 a 35               | 8,29      | < 50          |
| MÁXIMO                                  |                       | 44,5      | 300 (2)       |
| MÉDIO                                   | 30                    | 18,74     | 10 - 100 (3)  |



Obs.:

- (1) mais de 50% da área em estudo, apresenta concentrações abaixo de  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , conforme simulação;
- (2) simulação a cerca de 5 km da VOTORAN, a concentração atinge este valor, na direção sul, decrescendo rapidamente, em função da grande carga advinda desta unidade;
- (3) conforme já visto e comentado, o valor médio, na grande parte da área, fica entre 0,5 e  $10,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ;
- (4) admitindo, para fins de comparação, que o valor médio anual seja equivalente ao valor de concentração de fundo.

No Quadro 1.48, verificamos que, dentro da área de influência direta, os valores de concentração variam entre 8,29 e  $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (influência significativa da VOTORAN)

De uma maneira ampla, dentro da malha simulada, o valor da concentração está compreendido entre 0,5 e  $44,50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Pela simples observação da distribuição das concentrações de material particulado ao longo das oito direções da rosa dos ventos (vide Mapas anexos no item 1.8), verifica-se que, em quase todas as direções, os valores das concentrações são baixos. Somente na direção mais predominante é que os valores são mais significativos (sudoeste, partindo da VOTORAN, mostrando a influência).

Como o valor da concentração média diária não tem relação direta com a concentração de fundo, só colocaremos que os valores lá encontrados correspondem à pior situação fornecida pela simulação, e as conclusões encontram-se no item anterior.

Para concluir as comparações, observando-se os Mapas anexos no item 1.8.1, verifica-se que a pluma da VOTORAN (coordenadas 4.200N/11.650E) é contribuidora significativa, impondo, inclusive, o aparecimento de duas regiões de densidades distintas (uma da UTPM e outra da VOTORAN).

#### **- Dióxido de Enxofre**

Também para o caso das concentrações de dióxido de enxofre, valem praticamente todas as observações iniciais feitas para material particulado no item anterior, no que se refere à disponibilidade de informações ambientais reais, estatisticamente confiáveis.

Cabe talvez só comentar que, apesar de todos os esforços, tanto por parte dos órgãos ambientais, como da comunidade científica e iniciativas privadas, um longo tempo transcorrerá até que realmente tenhamos estas informações e, até lá, muito esforço deverá ser realizado e muitos recursos mobilizados pois, em caso contrário, os dados ainda durante um razoável período de tempo serão apenas indicativos e não conclusivos, sem embasamento científico e de validade restrita.

No que tange às emissões de dióxido de enxofre, apresentamos o trabalho de simulação (Mapa 1.6 e Mapas anexos no item 1.8).

E com os valores de concentração média anual como sendo representativos da concentração de fundo - qualidade ambiental - para efeitos de comparação com as outras informações.

Da informação da FEPAM, usamos o dado de que a concentração atual de  $\text{SO}_2$  está situada entre 20 e  $30\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Dos trabalhos realizados pelo Centro de Ecologia da UFRGS (placas de sulfatação total e bioindicação), também apanhamos os valores encontrados de concentração de compostos de enxofre presentes na atmosfera ao nível do solo.

Dos trabalhos da JICA, passamos a comparar os resultados.

O Quadro 1.49 sumariza os resultados retirados de quadros anteriores.

QUADRO 1.49 - Valores de concentração de compostos de enxofre (base dióxido de enxofre), como concentração de fundo, na Região de Candiota

| VALORES | FONTE DA INFORMAÇÃO                                      |                                                                                    |                                                                          |                                      |                                           |
|---------|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------|
|         | INFORMAÇÃO<br>FEPAM/SSMA<br>( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) | TAXA DE<br>SULFATAÇÃO<br>(PLACAS<br>ALCALINAS)<br>( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (1) | BIOINDICAÇÃO<br>AZEVÉM<br>(Acumulação de S)<br>(% S da Mat. Seca)<br>(3) | JICA<br>( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) | SIMULAÇÃO<br>( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) |
| Mínimo  | 20 a 30                                                  | 11,7                                                                               | 0,96                                                                     | 3,13                                 | 5                                         |
| Máximo  |                                                          | 25,7                                                                               | 1,53                                                                     | 35,97                                | 38,5                                      |
| Média   | 25                                                       | 18,4                                                                               | 1,24                                                                     | 13,77                                | < 15 (2)                                  |

Obs.:

- (1) obtidos por conversão à  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  dos resultados originais, expressos em  $\text{mg SO}_3/\text{dm}^2/\text{dia}$
- (2) estimado a partir dos dados da simulação;
- (3) os dados levantados não permitem relacionar diariamente a taxa de acumulação de enxofre com a concentração atmosférica de  $\text{SO}_2$  em  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Antes de iniciar a comparação entre os resultados, cabe salientar que as informações obtidas através do método de acumulação de enxofre por cultura de azevém são expressas em percentagem de enxofre em relação ao peso seco da amostra.

Também cabe informar que o resultado da acumulação progressiva observada pode ser resultante do enriquecimento em enxofre no sistema radicular, oriundo do solo do vaso e da água do reservatório.

É interessante repetir que não foi obtida uma relação satisfatória entre o fator de enriquecimento do enxofre e a concentração de  $\text{SO}_2$  presente no ar, uma vez que os fatores biológicos de acumulação dependem também das condições meteorológicas (insolação, temperatura, ventos, umidade relativa, etc) e estas relações não são bem conhecidas.





Assim sendo, o método de bioindicação por acumulação de enxofre é usado apenas como indicativo das zonas de maior ou menor concentração do enxofre (e suas formas organicamente assimiláveis) em termos relativos e não absolutos.

Desta forma, para o escopo do trabalho, não considerando de momento o método da bioindicação, passou-se a trabalhar com as 4 outras informações, quais sejam, simulação, taxa de sulfatação (placas alcalinas), informação da FEPAM e resultados da JICA.

A primeira vista, observando o Quadro 1.49 anterior, notamos que o valor obtido pelo método da placa alcalina é razoavelmente próximo ao menor valor informado pela FEPAM, considerado conservativo já para material particulado.

No entanto, dentre os valores obtidos pela simulação, placas alcalinas, JICA e a FEPAM, as diferenças são bem mais pronunciadas, por exemplo, o maior valor de  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  inferido pela FEPAM é próximo ao máximo de  $38,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  obtido pela simulação, e dos  $35,97 \mu\text{g}/\text{m}^3$  obtidos analiticamente pela JICA.

A obra "Handbook of Air Pollution Technology" de Seymour Calvert & Harold M. Englund (John Wiley Sons, 1984), em seu capítulo 34, cita que a precisão do modelo é função principalmente da fidelidade dos dados meteorológicos e das fontes emissoras, bem como da adequação das classes de estabilidade e método de cálculo da altura efetiva da chaminé.

Isto implica dizer que, mesmo com a precariedade dos dados de entrada na simulação, os valores obtidos não são discrepantes.

Assim, considerando as premissas já estabelecidas, é possível supor que na região de influência de Candiota os valores de concentração de  $\text{SO}_2$  estejam compreendidos entre os seguintes limites:

- mínimo de  $3,13 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (JICA)
- máximo de  $38,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (SIMULAÇÃO)
- média: entre  $13,77 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e  $25,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (JICA e FEPAM)

É interessante observar que os valores obtidos pelo método de placas alcalinas e os medidos pela JICA, estão situados dentro da faixa de valores acima (foram obtidos de trabalho de campo).

Para dióxido de enxofre, conforme Mapa 1.5, verifica-se que o valor máximo de concentração média anual, encontrado pela simulação, está localizado na direção sudoeste, a cerca de 13 km do centro focal, que é a UTPM. O menor valor, por sua vez, está localizado próximo à UTPM, na direção leste.

Nos limites de 60 x 60 km da área em estudo, o máximo valor de concentração média anual de  $\text{SO}_2$  obtido na simulação é de  $4,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (sudoeste), o menor é de  $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (sudeste), e os valores intermediários estão situados entre 1,0 e  $2,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

#### - Óxidos de Nitrogênio

Para o caso de óxidos de nitrogênio presentes na atmosfera, as informações disponíveis são mais escassas ainda que para  $\text{SO}_2$  ou MP e apenas temos, para comparar, os valores obtidos pelos trabalhos de campo da JICA e os simulados pelo modelo matemático.

O quadro seguinte resume os resultados até aqui obtidos.

Valores de concentração de fundo de  $\text{NO}_x$  em Candiota

|                | FONTE DE INFORMAÇÃO |           |
|----------------|---------------------|-----------|
|                | JICA                | SIMULAÇÃO |
| VALORES MÉDIOS | 3,07                | < 2       |

(1)vide Mapa 1.6

#### - Comentários Gerais

Como comentários gerais, em adendo aos já feitos ao longo do trabalho, iniciamos apresentando as limitações a que estão sujeitas as simulações, como a aqui realizada.

As limitações do modelo gaussiano modificado de simulação encontram-se descritas em detalhes na publicação "Gaussian Dispersion Models Applicable to Refinery Emissions" - API Publication 952 - October 1977, bem como no "Workbook on Atmospheric Dispersion Estimates", - D. Turner, EPA - 1970 e na obra "Diffusion Estimates for Small Emissions", E. R. L. Report - ATDL - 106, 1973.

Para a avaliação das classes de estabilidade, foi consultado: "Atmospheric Diffusion", Pasquill, F. - Van Nostrand - 1962.

Outros fenômenos também não são vislumbrados pelo modelo, tais como:

- fumigação ("fumigation");
- influência de construções (vórtices, etc);
- penetração da pluma em camada de inversão;
- transporte da pluma sob influência significativa do terreno;
- transformações químicas na pluma;
- processos de remoção úmidos e secos;
- deposição no solo (reflexão).

Sobre a qualidade das informações meteorológicas, temos que os dados meteorológicos utilizados são relativamente precisos para as informações de distribuição dos ventos segundo a origem e a velocidade tomados a 10 m de altura e temperatura ambiente; as classes de estabilidade atmosférica (gradiente térmico da atmosfera) para cada velocidade de vento foram estimadas com base no grau de insolação, ventos em altitude (Instituto Nacional de Pesquisas Especiais - INPE) e informações da literatura especializada, bem como de campanhas com balões e radiosondagem, e a variação de temperatura e velocidade de vento com a altitude foram estudadas a partir de informações obtidas junto ao INPE e com dados coletados em uma série de campanhas de medidas efetuadas pela UFSM, junto à UTPM com o objetivo de modelar a camada limite planetária local.

Estas campanhas, uma em cada estação do ano, tiveram a duração de duas semanas e constituem o maior acervo de dados meteorológicos para o sul do Estado do RGS.

Sobre a qualidade dos dados das fontes emissoras, temos que os dados dos principais emissores são bastante precisos para a Usina Termelétrica Presidente Médici; para as fábricas de cimento, foram obtidos junto a FEPAM em 1989, e, face à não disponibilidade de alguns dados, foram adotadas hipóteses simplificadoras.



A principal hipótese foi supor que a velocidade dos gases/partículas emitidos pelas fábricas de cimento é 50% da velocidade dos gases emitidos pelo 1ª máquina da UTC III, o que pode até ser exagerado.

Por outro lado, foi suposto que os particulados emitidos tanto pelas usinas termelétricas como pelas fábricas de cimento tivessem características de transporte similares às de moléculas de gás (isto é, diâmetro inferior a 10  $\mu\text{m}$  ou 0,01 mm).

Esta suposição é aproximadamente válida para as emissões das termelétricas, mas poderá não ser completamente válida para as das fábricas de cimento.

Também não foram consideradas outras fontes fixas ou móveis, eventualmente de grande influência, tais como a geração de poeiras no transporte e por ocasião da disposição de cinzas leves abatidas pelo precipitador eletrostático da UTPM e grandes queimadas observadas na região em estudo.

Sobre a qualidade dos resultados obtidos na simulação, temos a colocar o que segue.

Com relação a material particulado, os resultados apresentados são provavelmente excessivos para grandes distâncias e pequenos para distâncias próximas da fonte, principalmente no caso das fábricas de cimento.

Devido à impossibilidade de simular simultaneamente outras fontes emissoras, como é o caso de todo o complexo de mineração/britagem/deposição de cinzas e queimadas, os resultados obtidos podem ser um pouco inferiores aos reais, principalmente para as regiões próximas às ocorrências.

Com relação a dióxido de enxofre, os valores merecem relativa confiabilidade face à precisão dos dados dos emissores.

Provavelmente serão mais altos em regiões mais próximas e mais baixos em regiões mais afastadas, devido à desconsideração dos efeitos de remoção e reação na atmosfera.

As concentrações calculadas para grandes distâncias devem ser encaradas com reserva.

Ainda a título de estimativas de emissões, discorreremos brevemente sobre a ordem de grandeza estimada das emissões de monóxido de carbono e hidrocarbonetos.

Da obra "Handbook of Air Pollution Technology" - Seymour & Englund, capítulo 15(da EPA), retiramos fatores de emissão para processos sem equipamentos de controle que serão utilizados em estimativas.

Para carvão betuminoso, caldeira de grande porte, os fatores de emissão para monóxido de carbono, hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio são respectivamente 1, 0,3 e 30 libras por tonelada de combustível queimado.

O índice 30 é superior ao esperado para as caldeiras da UTPM-B, que possuem sistema de queima tangencial pulverizada, o que reduz sensivelmente a geração de óxidos de nitrogênio pela distribuição mais uniforme da temperatura no interior da câmara de combustão.

Para o caso geral, o fator de emissão de óxidos de nitrogênio é 18.



Assim, faremos a seguinte suposição: a UTPM-A possui índice 30 e a UTPM-B possui índice 18 e, ponderando conforme a geração de energia, teremos o índice composto da UTPM(A+B) de 21,7 libras por tonelada de combustível.

Calcado nestes índices, os valores estimados serão os constantes do Quadro 1.50.

QUADRO 1.50 - Estimativa da emissão da UTPM para combustão de carvão com fator de carga de 100% de capacidade

| EMIÇÃO<br>(300 d/a) | POLUENTE               |                      |
|---------------------|------------------------|----------------------|
|                     | MONÓXIDO DE<br>CARBONO | HIDROCAR-<br>BONETOS |
| lb/t                | 1,0                    | 0,3                  |
| lb/a                | 2.259.250              | 677.775              |
| t/a                 | 1.024,8                | 307,4                |
| t/d                 | 3,4                    | 1,0                  |

Como o fator de carga operacional normal é menor que 100% (no entorno de 67%), e para se ter idéia mais real das emissões, os valores do Quadro 1.50 deverão ser afetados dos índices de 0,67, para emissões anuais e 0,81 para emissão diária.

## 1.6 - O Resultado do Diagnóstico Atmosférico

Após a discussão dos elementos do clima da região de Candiota, sobre a avaliação dos parâmetros meteorológicos, definição das atividades poluidoras, quantificação dos poluentes emitidos (principalmente material particulado, óxidos de nitrogênio e dióxido de enxofre) e a realização de experimentos de campo em Candiota pela UFRGS e UFSM e simulação matemática das emissões, podemos finalmente, embasados nos elementos avaliados, apresentar o diagnóstico atmosférico.

Este diagnóstico, conforme já explicado, em linhas gerais implica dar um contorno definido e, dentro dele, definir o estado geral de saúde ambiental ou qualidade do ambiente.

### a - Quanto a Material Particulado Presente na Atmosfera:

-Mesmo baseando-se na informação dada pela FEPAM de concentração de "fundo" entre 25 e 35  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , consideramos este valor baixo frente ao que a legislação brasileira coloca como padrões, indicando bom estado da qualidade do ar na região de estudo.

-Se o prisma fosse o resultado da simulação (vide Quadro 1.48 - concentração de material particulado e  $\text{SO}_2$ , ao nível do solo - média anual), a qualidade ambiental ainda estaria boa, dentro dos limites previstos.

-É importantíssimo salientar que a participação da VOTORAN é majoritária e os dados fornecidos pela FEPAM sobre a empresa são de 1989, podendo, de lá para



hoje, ter alterado seu processo produtivo, ter instalado equipamentos de abatimento de material particulado e a realidade ser bem mais suave do que a inferida pela simulação, já que o complexo UTPM (A+B) responde, no modelo simulado, com 12,3% da carga total de material particulado emitido pelas fontes atuais.

-Ao observar-se o conjunto de informações colhidas pela JICA, comparando com as demais remetidas, verificamos que estes valores (mais consistentes e realistas, pois são dados de coleta de campo), apresentam valores que indicam que o ambiente ou a qualidade do ar é boa, mesmo se considerarmos o valor máximo observado (puntual) de  $44,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de material particulado.

#### b - Quanto a Dióxido de Enxofre Presente na Atmosfera:

-A informação da FEPAM diz que a concentração de fundo de  $\text{SO}_2$  é de 20 a  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Mesmo que esta informação fosse absolutamente confiável, mais uma vez podemos afiançar que a qualidade do ar é boa.

Quando consideramos os resultados da simulação, verificamos serem 2 vezes inferiores ao informado pela FEPAM.

-Os resultados analíticos obtidos pela JICA, informam que o valor médio de fundo é de  $13,77 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , cerca de metade do informado pela FEPAM, novamente mostrando boa qualidade do ar na região.

Sob este enfoque, e consideradas as ponderações feitas sobre a qualidade dos resultados de  $\text{SO}_2$  obtidos na simulação, podemos dizer que a qualidade do ar é boa.

Só para efeito de comparação, traduzimos no Quadro 1.51 (reproduzido de "Influence of  $\text{SO}_2$  concentration" - Mitsubishi Heavy Industries Ltd. - Japan - com aval do Órgão de Saúde Pública Federal do Japão).

QUADRO 1.51 - Efeitos do  $\text{SO}_2$  sobre a saúde humana

| CONCENTRAÇÃO $\text{SO}_2$ (ppm) (1) | INFLUÊNCIA                                              |
|--------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| 0,0085                               | - ninguém sente indisposição<br>- condição de ar normal |
| 0,0300                               | - algumas pessoas sentem-se indispostas                 |
| 0,0400                               | - início para diretrizes de controle ambiental          |
| 0,1000                               | - todos sentem-se indispostos                           |

Obs.: (1)  $1 \text{ ppm } \text{SO}_2 = 2620 \mu\text{g}/\text{m}^3$

O limite máximo -  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  - informado pela FEPAM corresponde a 0,0110 ppm e, portanto, praticamente às condições de ar normal.

Vale observar que este nível de concentração é 3 vezes inferior ao nível em que algumas pessoas sob exposição contínua poderiam sentir-se indispostas.



O maior valor -  $4,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  - fornecido pela simulação corresponde a 0,0016 ppm, ou seja, condição de normalidade do ar.

Finalmente, comparando com o resultado obtido pelo método de placas alcalinas (SAM), o valor médio de  $0,20 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{dm}^3$  dia equivale a  $18,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , ou ainda, 0,0070 ppm, que também indica condições de ar normal, afiançando todas as conclusões anteriores.

#### c - Quanto a Óxidos de Nitrogênio Presentes na Atmosfera

- O resultado da simulação, no Mapa 1.6 mostra que os óxidos de nitrogênio tem baixa concentração pela participação das unidades da VOTORAN, CIMBAGE e UTPM, e a influência maior fica no entorno da UTPM, num raio relativamente pequeno e que na maior parte da área, na pior direção (sudoeste), a media anual decresce rapidamente, indo a patamares da ordem de  $1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  no limite da área de estudo, denotando-se boa qualidade ambiental. É de se notar que o máximo valor encontrado, na direção sudoeste (pior condição), alcança a concentração de apenas  $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

- Quanto aos levantamentos realizados pela JICA, igualmente observa-se que a concentração de  $\text{NO}_x$  de  $3,07 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , valor este situado entre os valores máximo e mínimo, resultante da simulação, de certa forma, afiançando a simulação conferindo-lhe credibilidade. Este valor, pouco acima do simulado, é explicado pela impossibilidade de se fazer a simulação de todas as fontes, ao passo que a JICA realizou leitura real de concentração, que mostra ser bastante baixa, demonstrando boa qualidade ambiental.

#### 1.7 - Conclusões

Cabe aqui a síntese do Diagnóstico, que conclui que a qualidade do ar na região de Candiota é boa, tendo-se como área de estudo um quadrado de 60 x 60 km no entorno da Usina Termelétrica Presidente Médici.

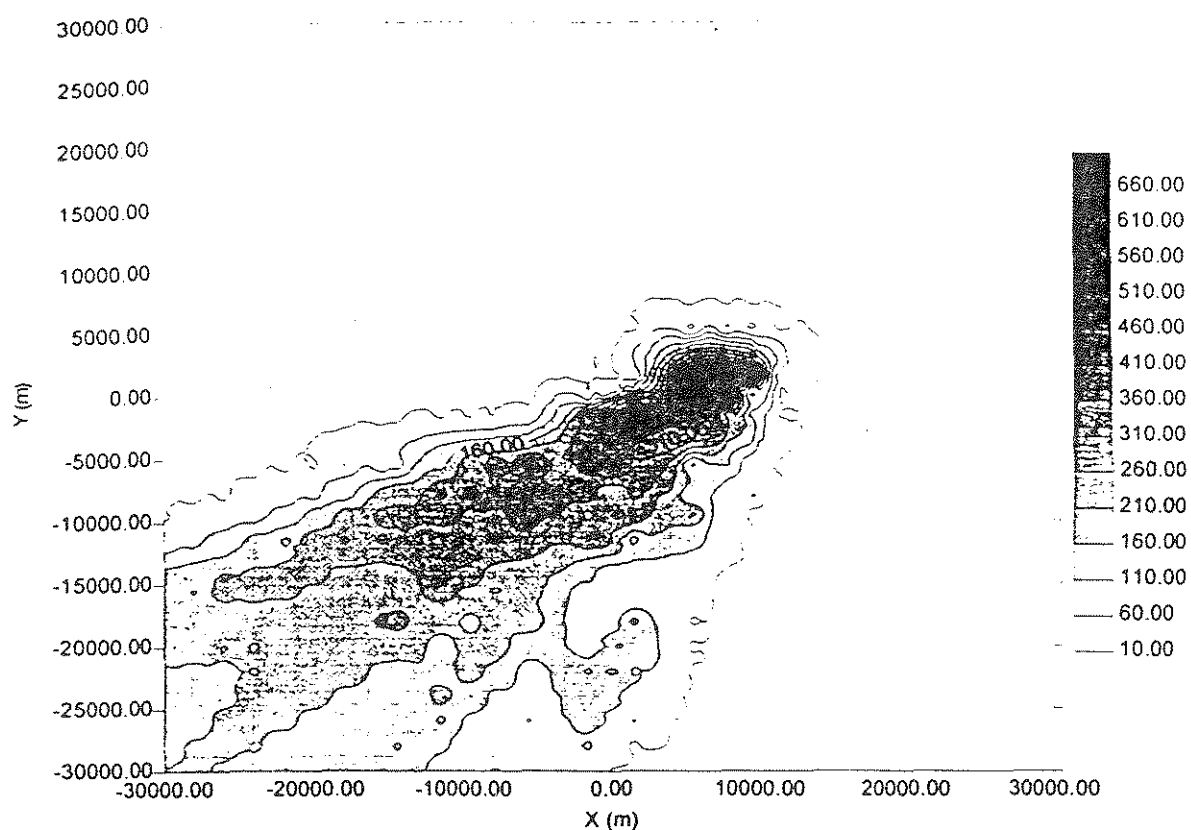
Como última colocação, vale ainda comentar que, até o presente momento, em nenhum ponto foi abordada a capacidade depurativa da própria natureza, pois os resultados obtidos, conclusivos ou indicativos, foram considerados sem a influência dos agentes naturais (químicos, físicos, biológicos, etc) capazes de absorver e depurar parte da carga poluidora nela gerada.

## 1.8 - Anexos

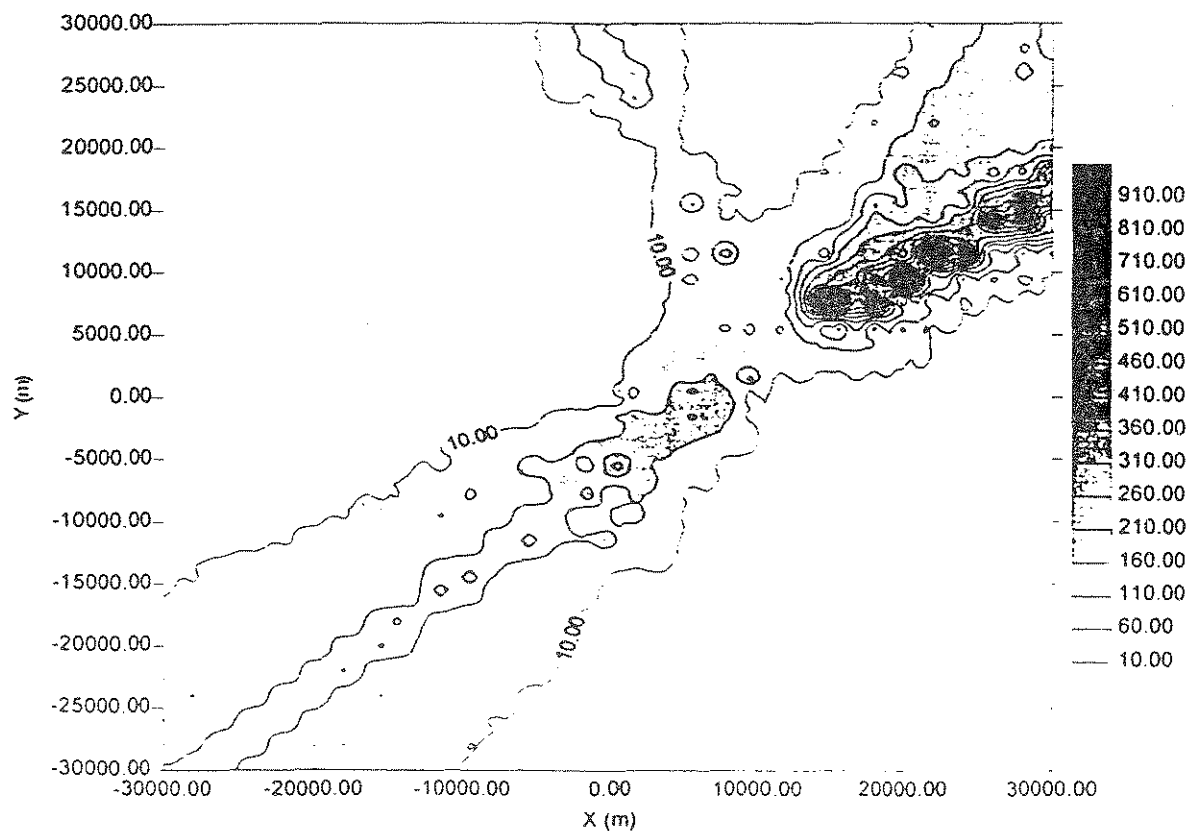


### 1.8.1 - Mapas das Simulações das Médias Diárias de Material Particulado

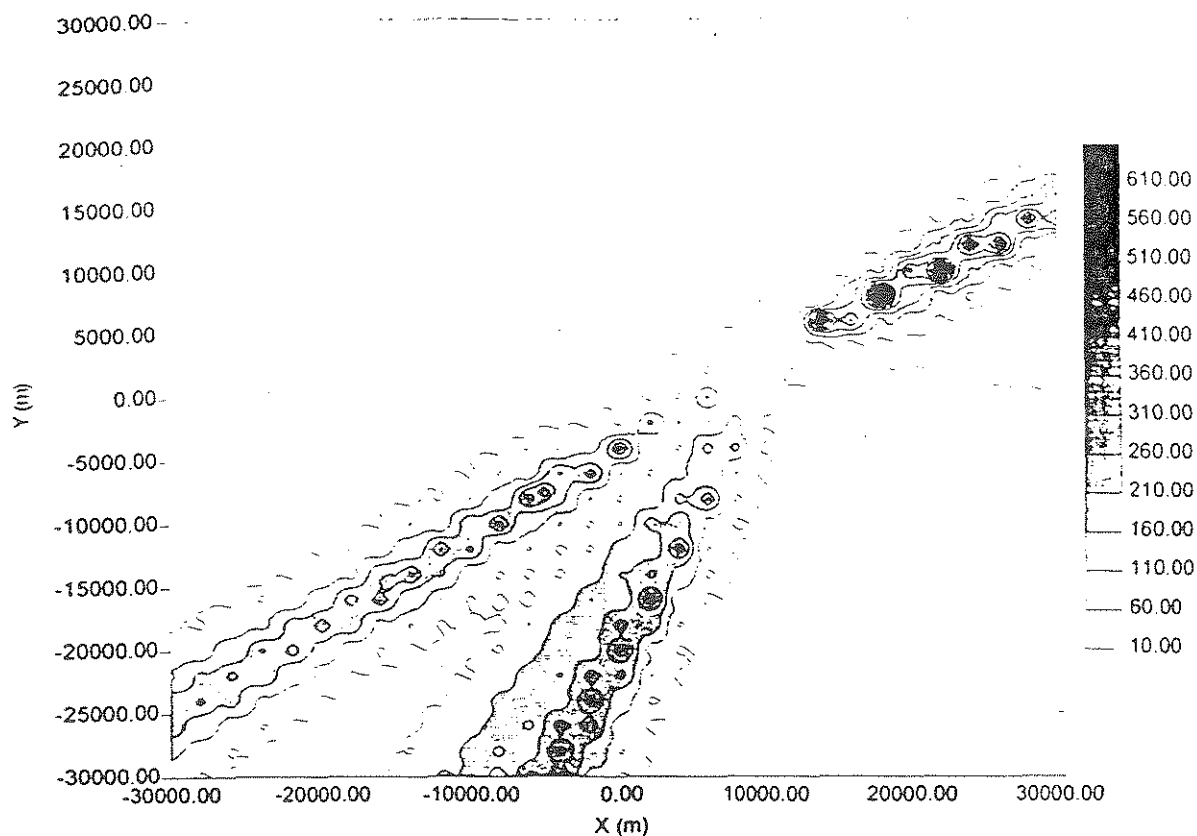




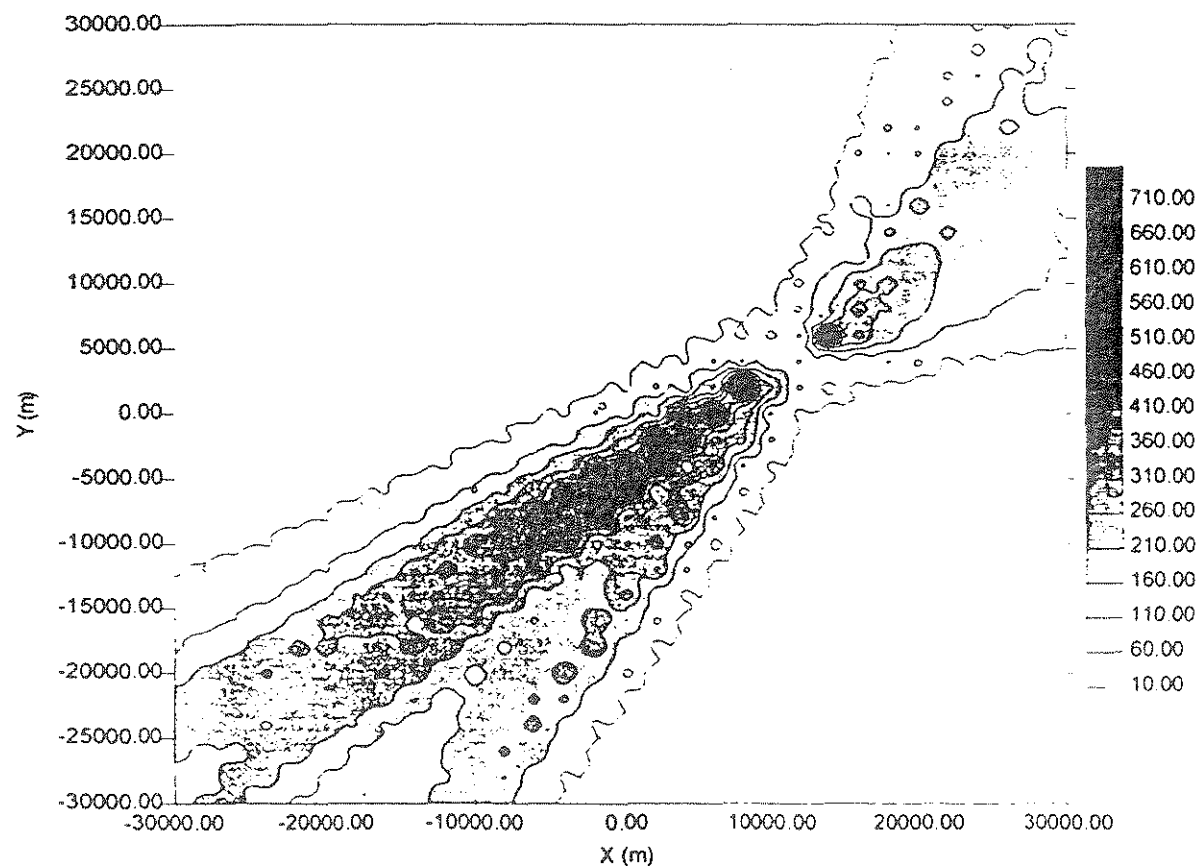
**MATERIAL PARTICULADO, DIA 21/07/94**



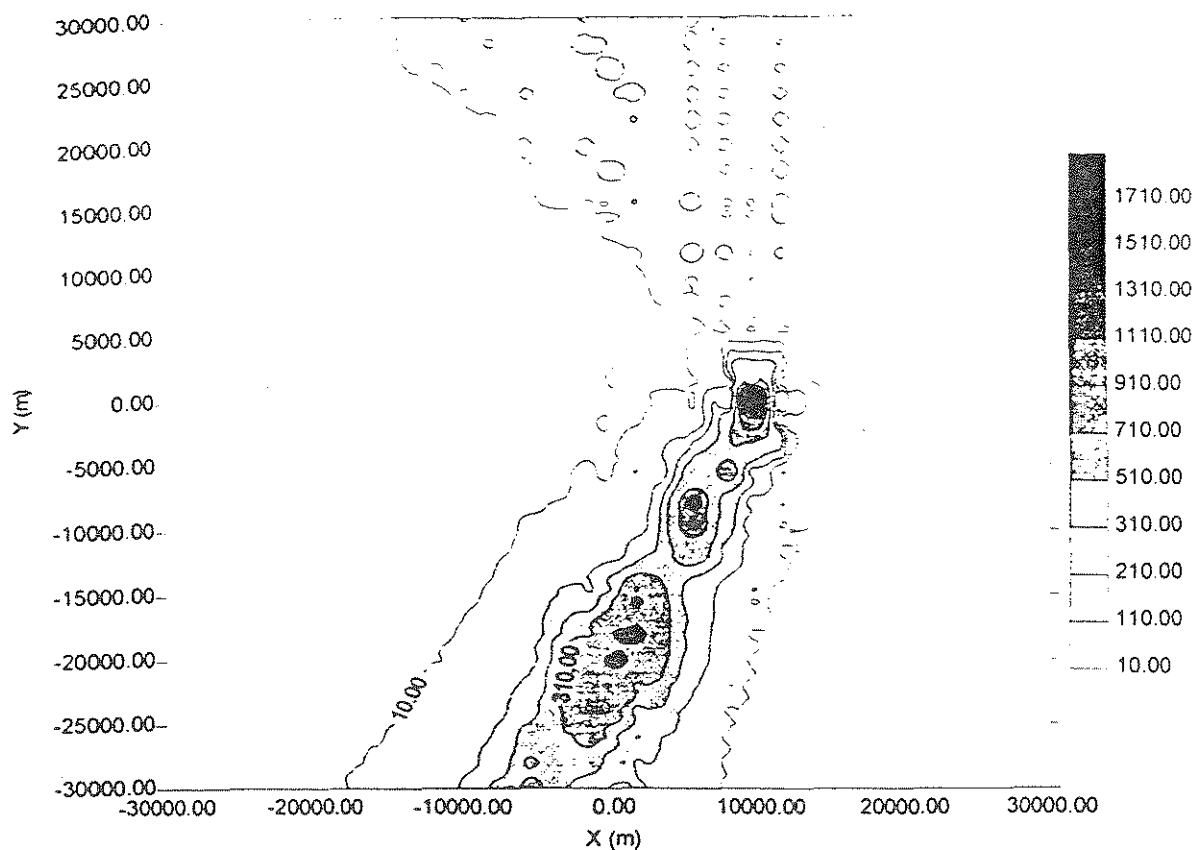
**MATERIAL PARTICULADO, DIA 22/07/94**



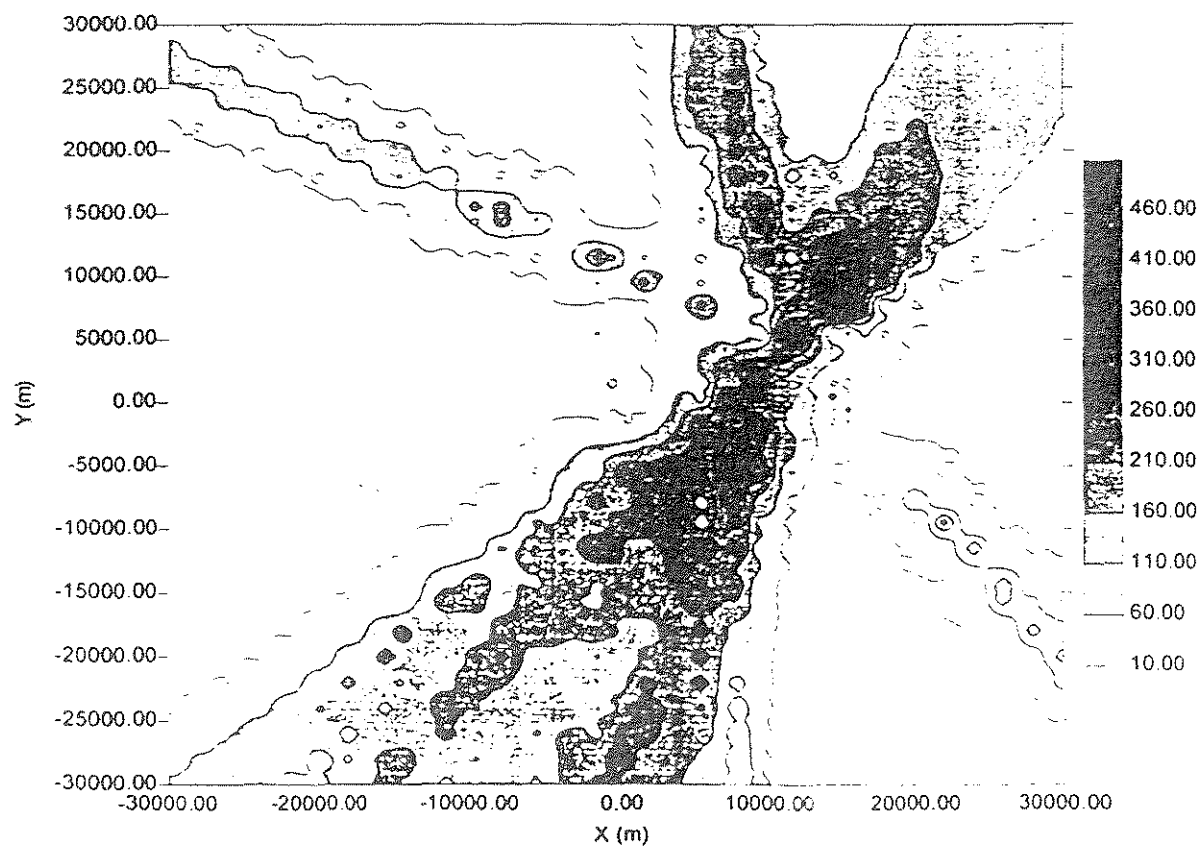
**MATERIAL PARTICULADO, DIA 23/07/94**



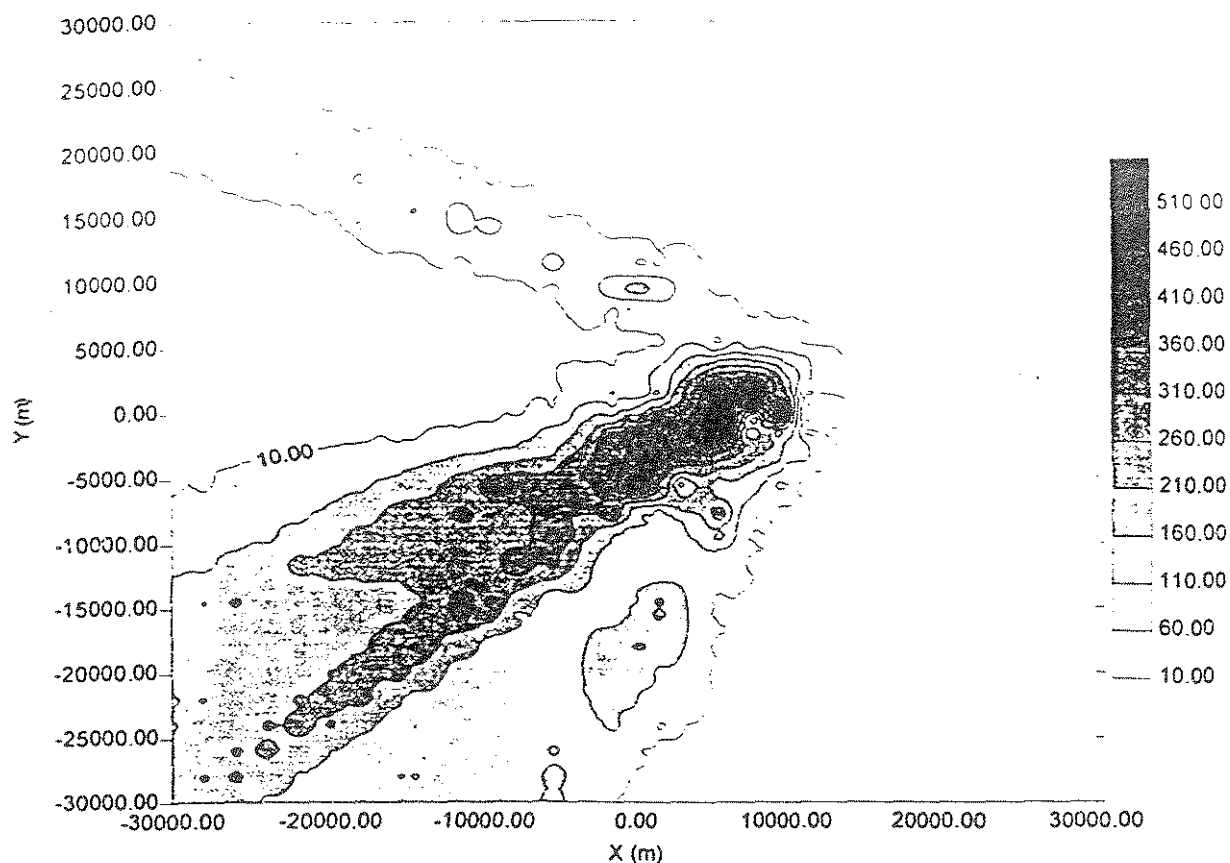
**MATERIAL PARTICULADO, DIA 25/07/94**



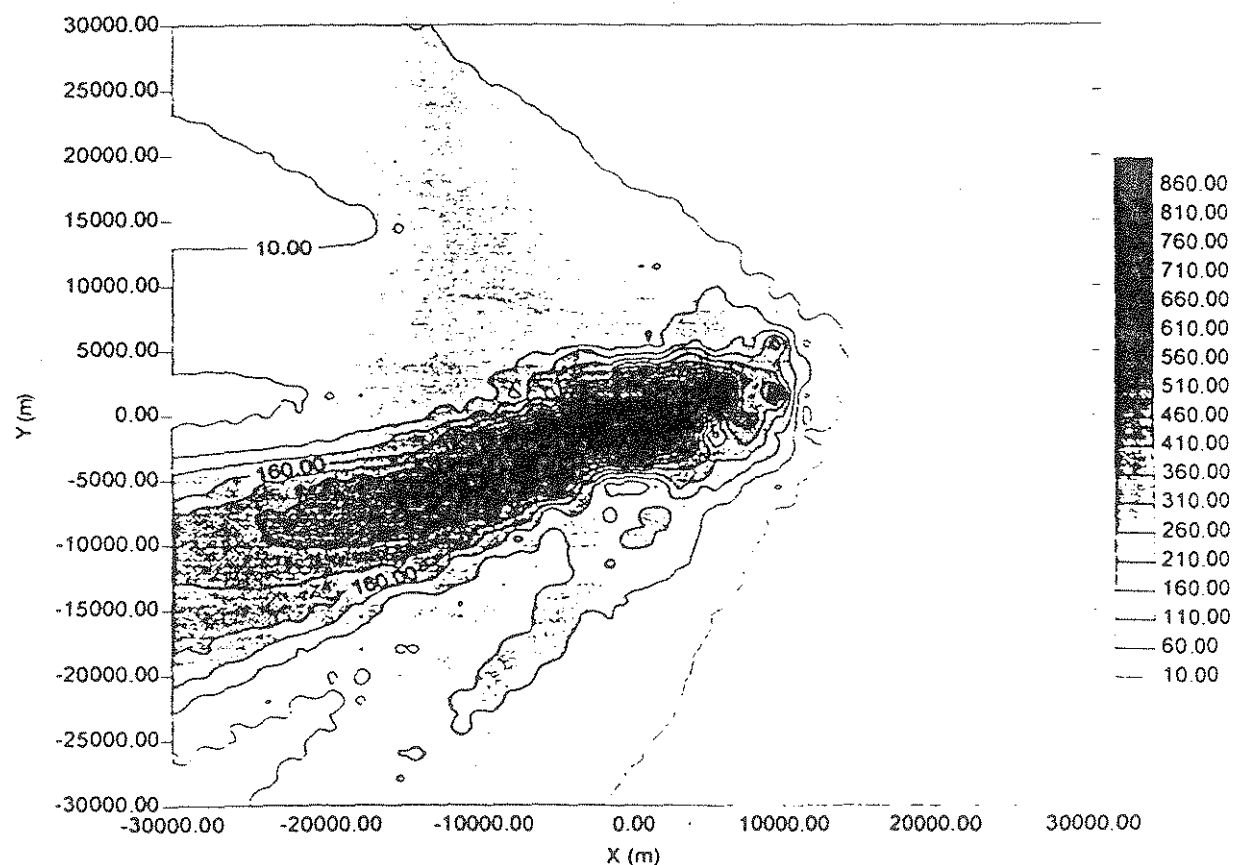
**MATERIAL PARTICULADO, DIA 26/07/94**



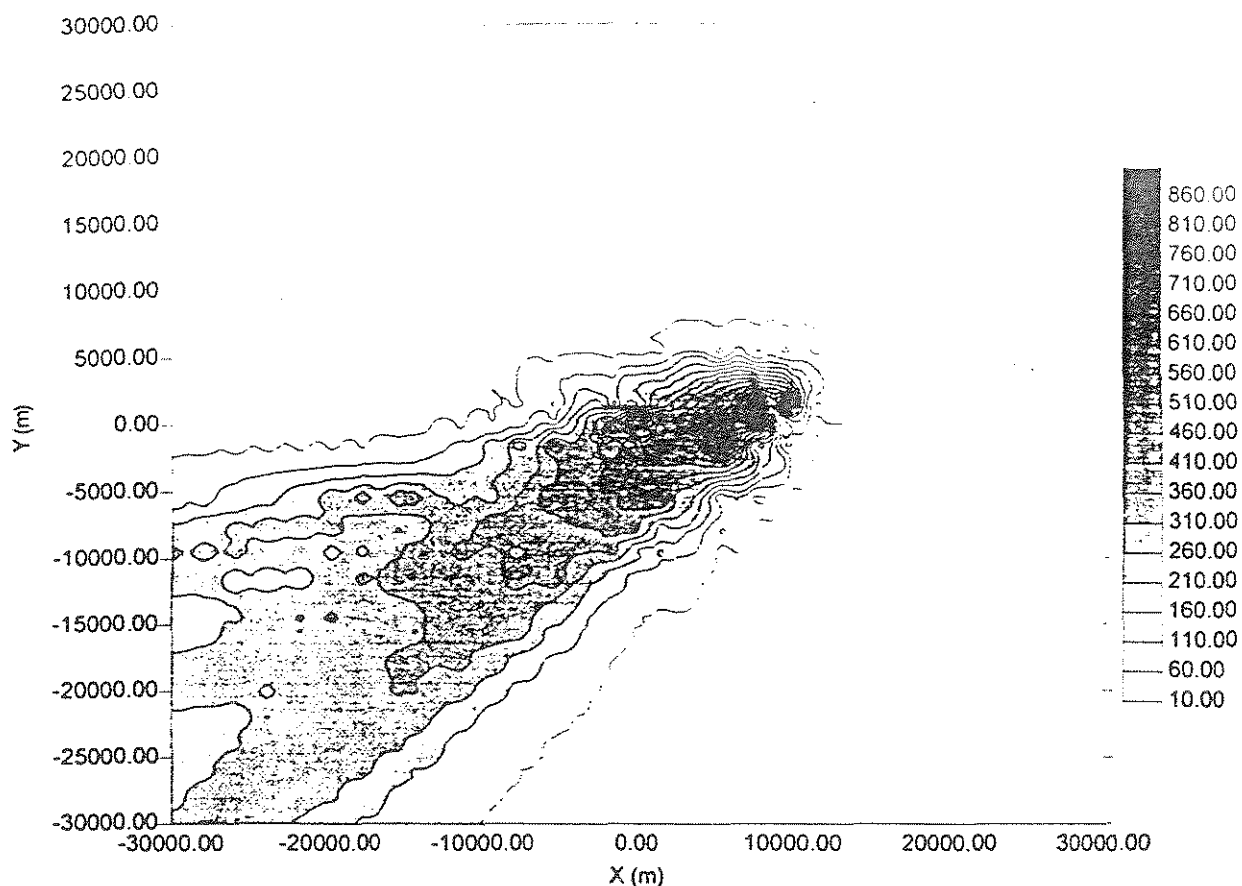
**MATERIAL PARTICULADO, DIA 27/07/94**



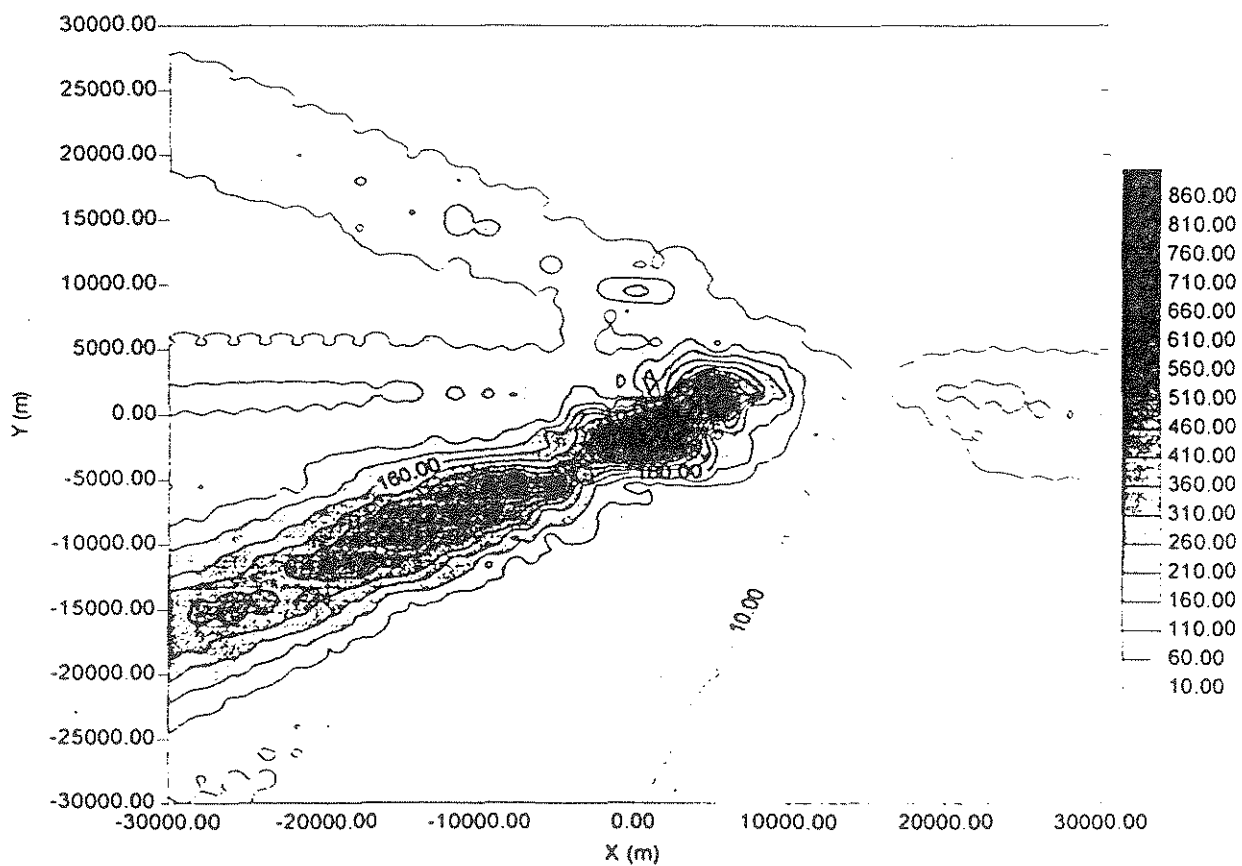
**MATERIAL PARTICULADO, DIA 08/02/95**



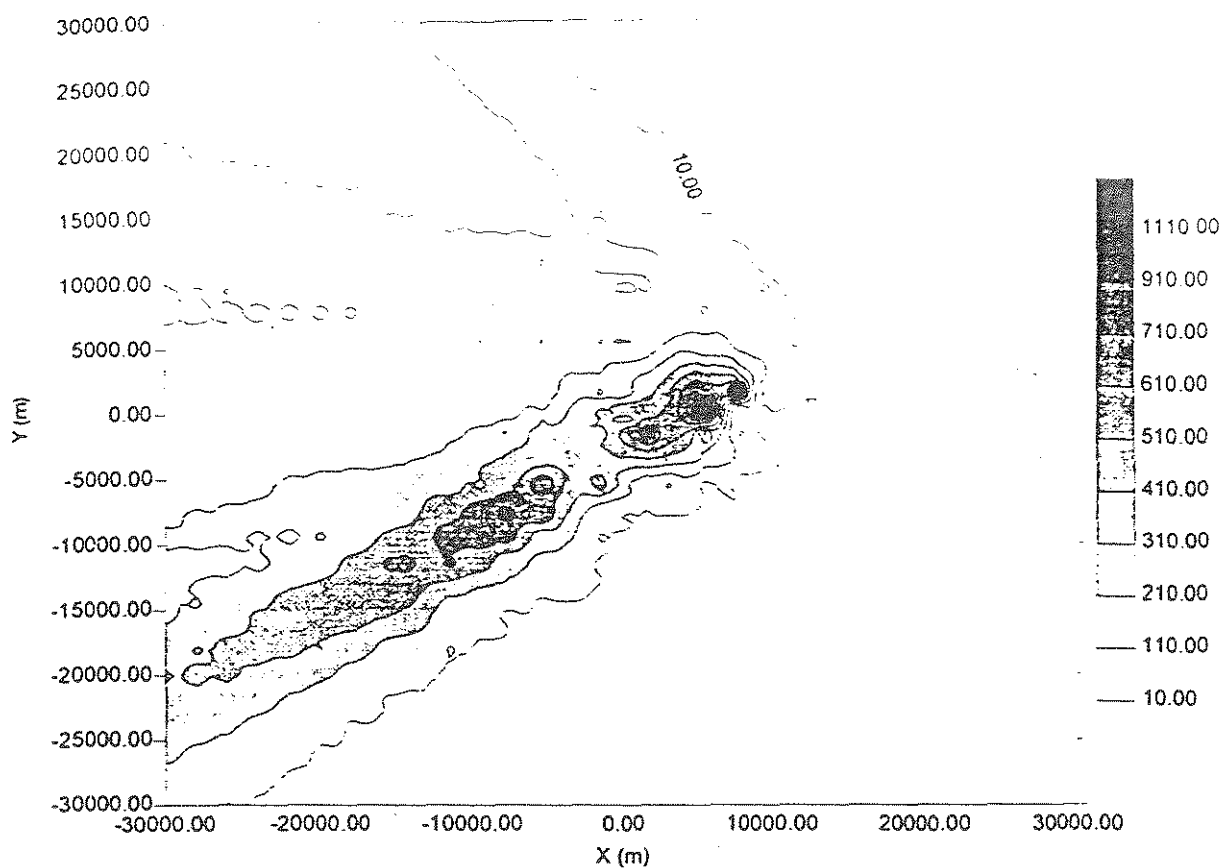
**MATERIAL PARTICULADO, DIA 09/02/95**



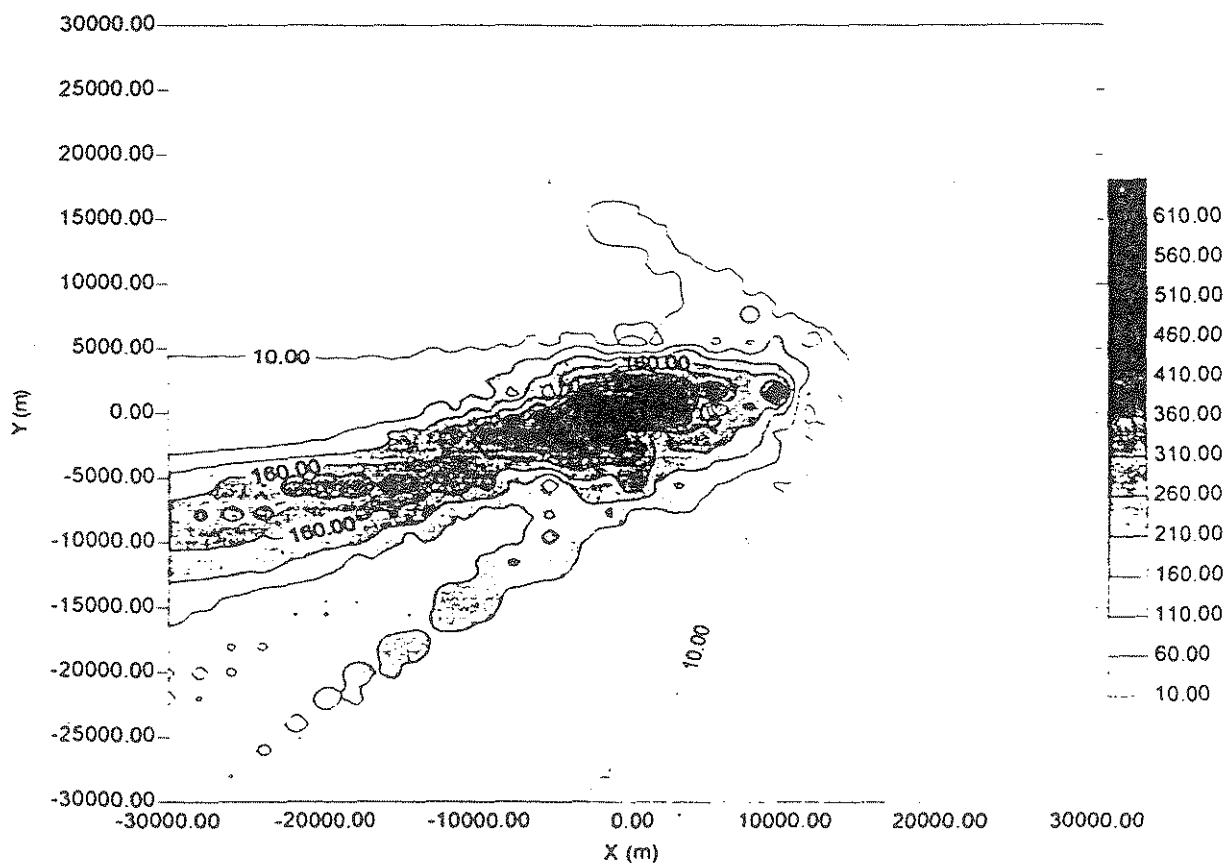
**MATERIAL PARTICULADO, DIA 10/02/95**



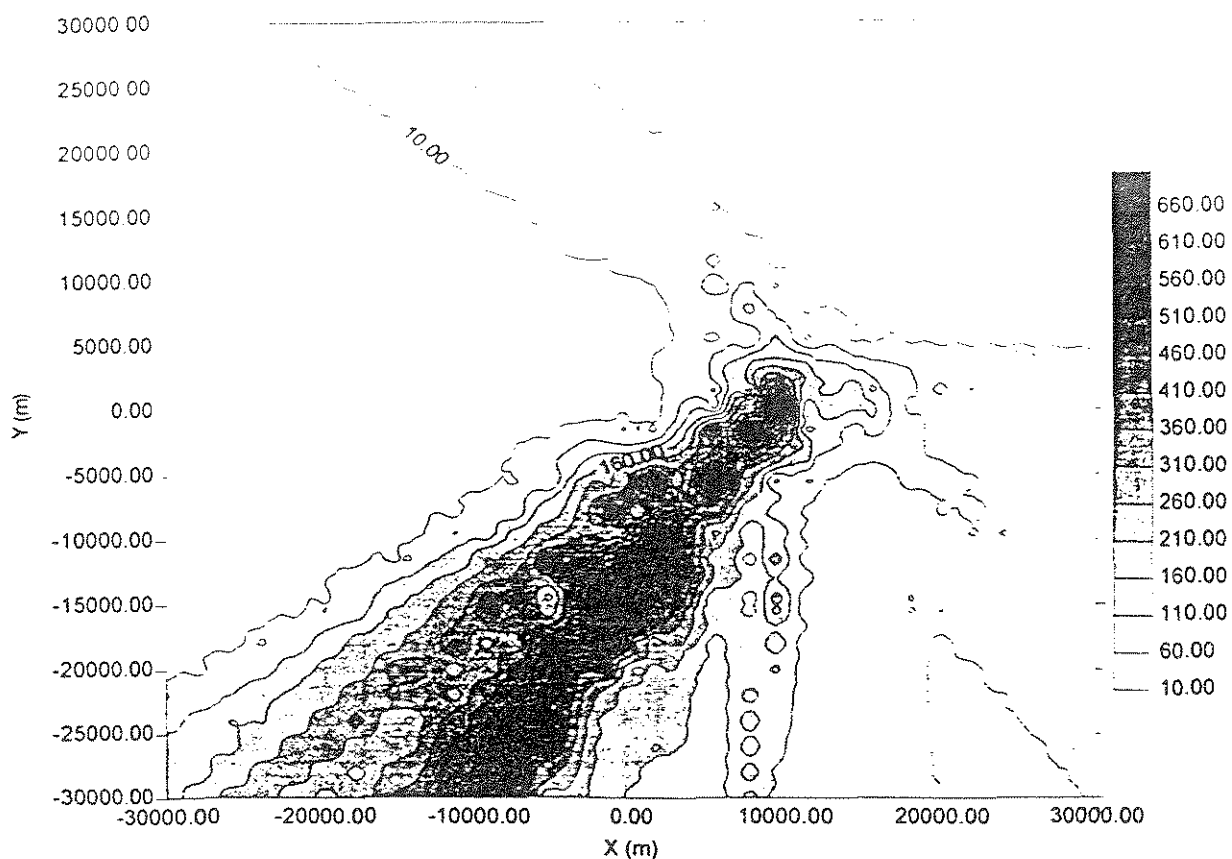
**MATERIAL PARTICULADO, DIA 11/02/95**



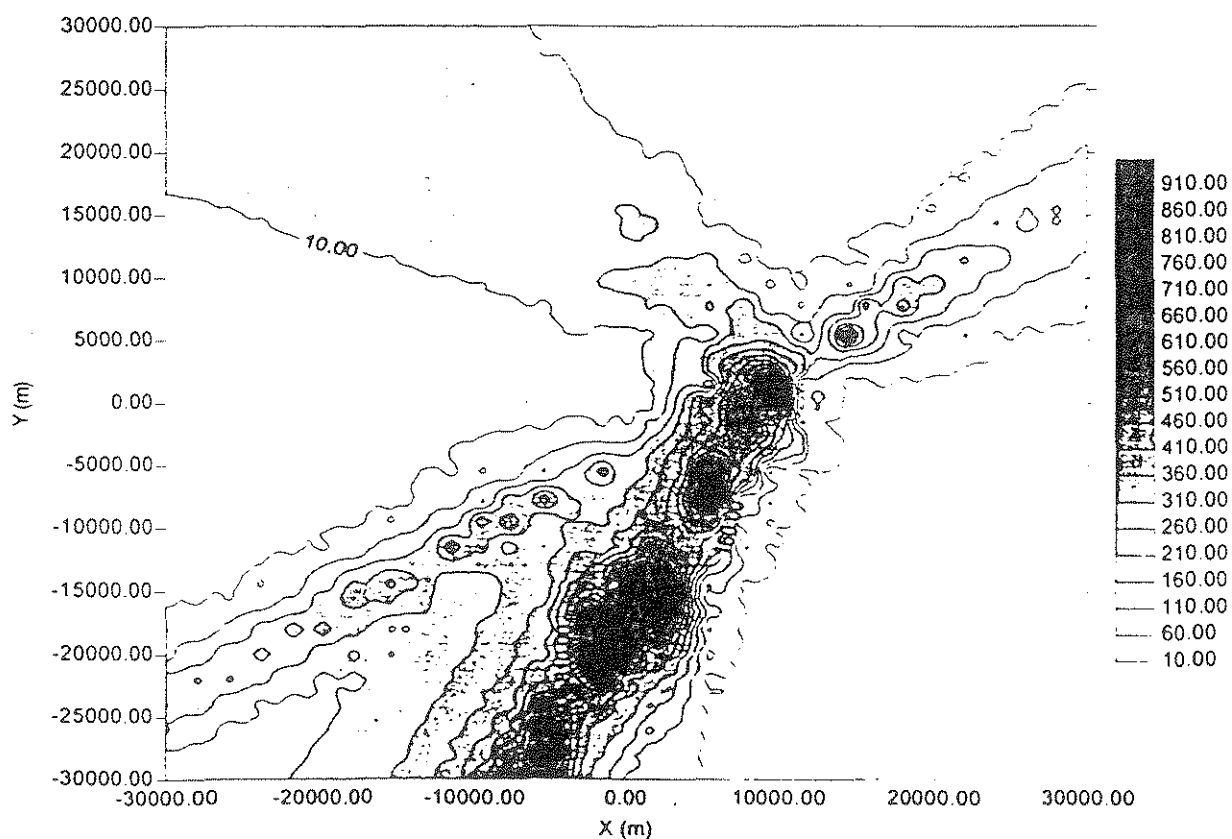
**MATERIAL PARTICULADO, DIA 12/02/95**



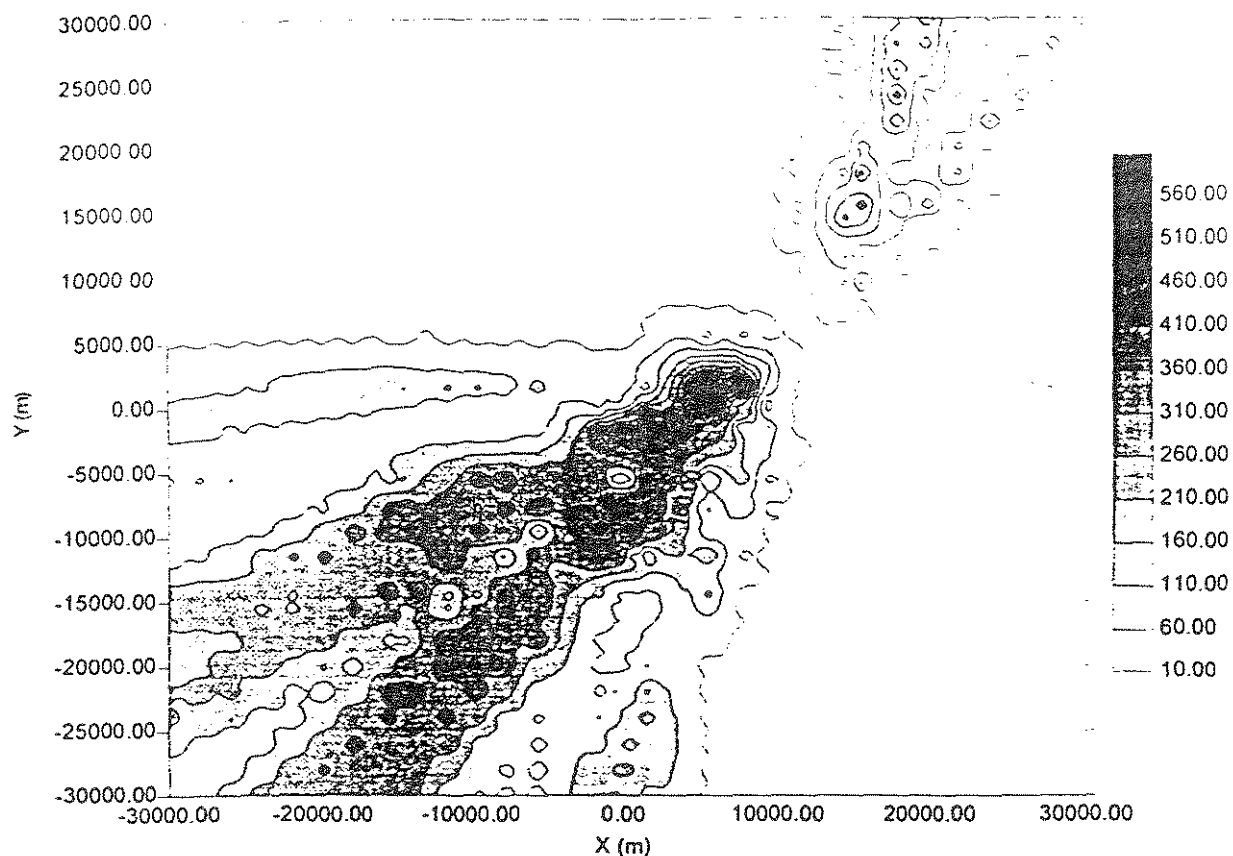
**MATERIAL PARTICULADO, DIA 13/02/95**



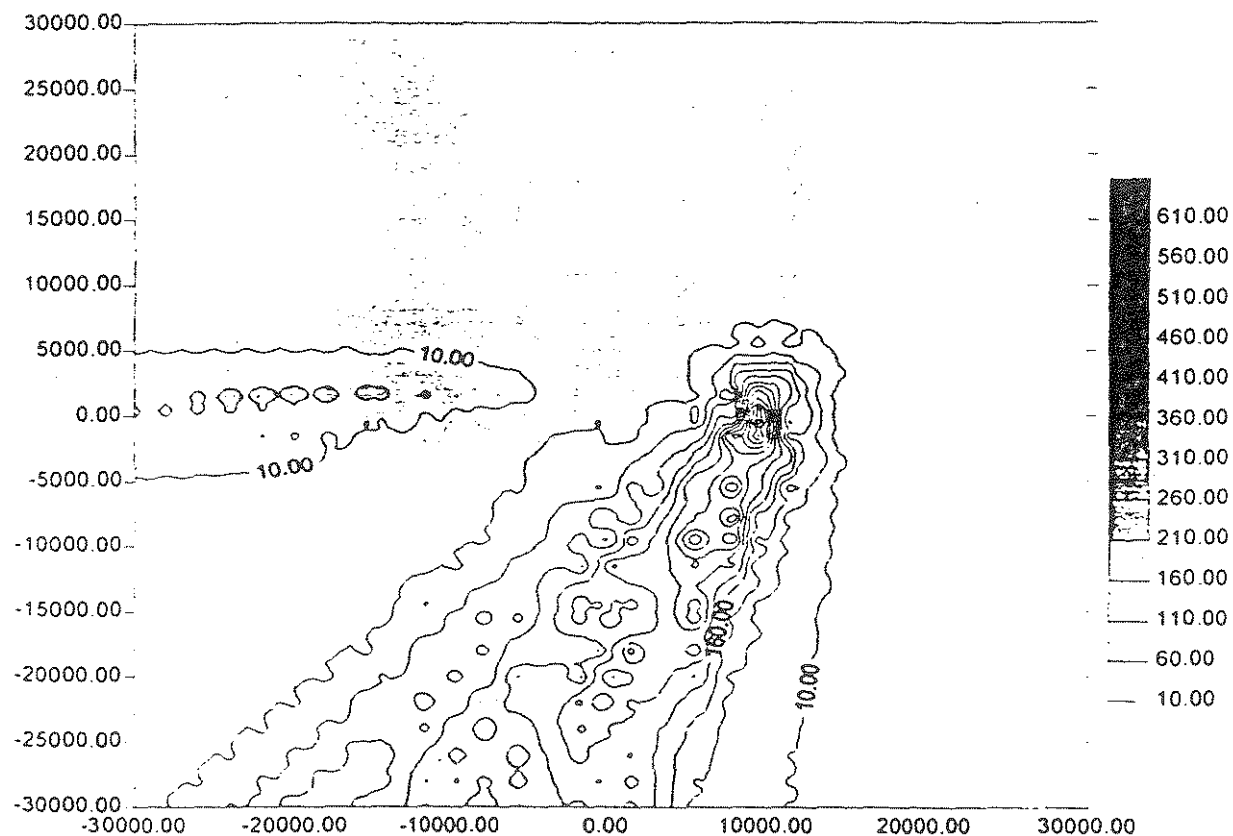
**MATERIAL PARTICULADO, DIA 23/05/95**



**MATERIAL PARTICULADO, DIA 24/05/95**

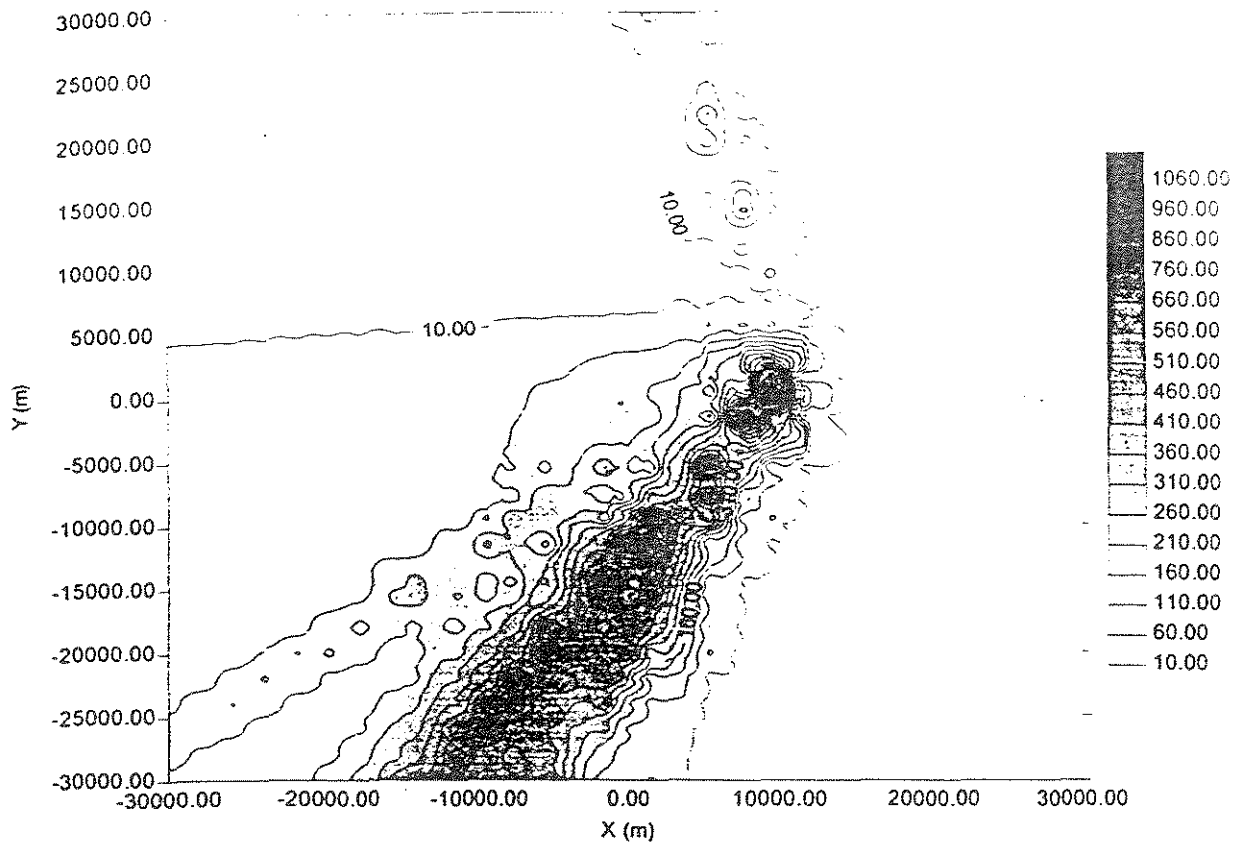


**MATERIAL PARTICULADO, DIA 25/05/95**

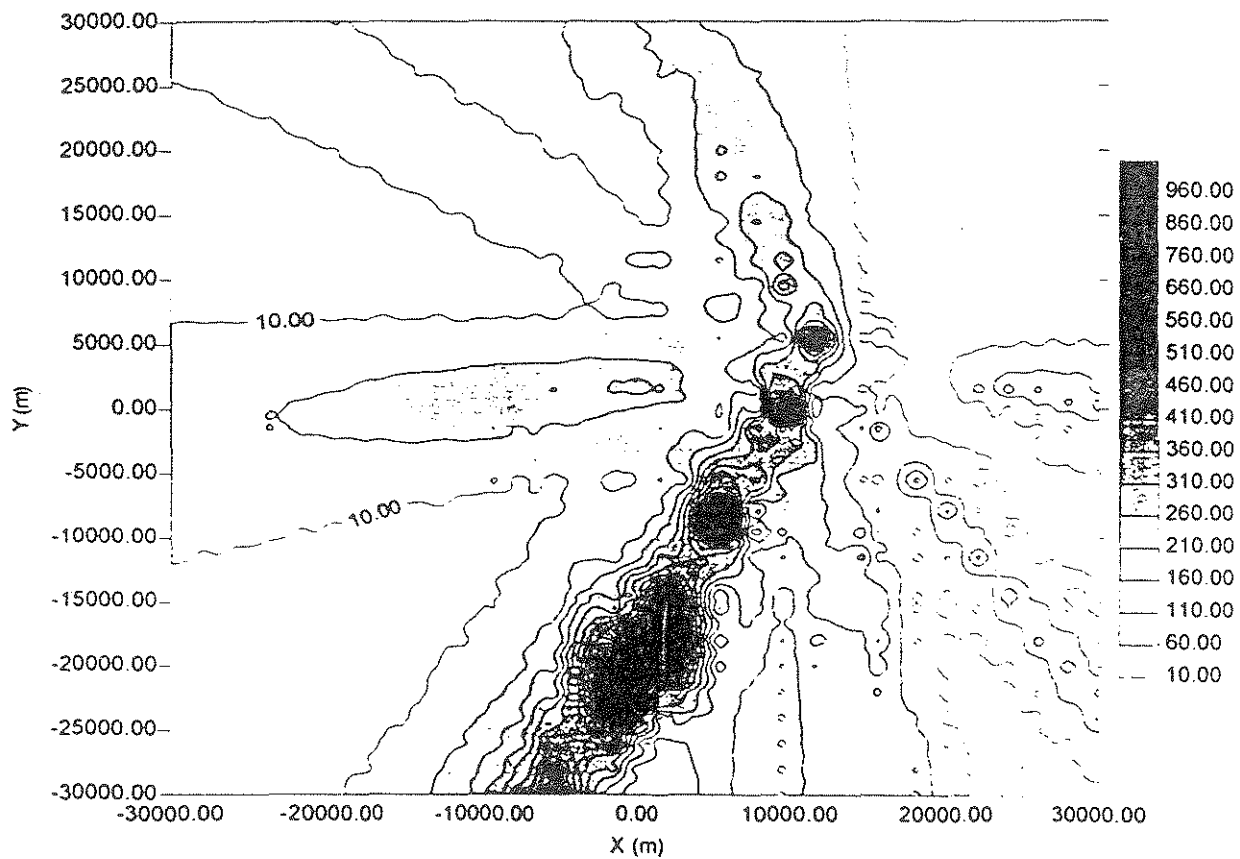


**MATERIAL PARTICULADO, DIA 26/05/95**

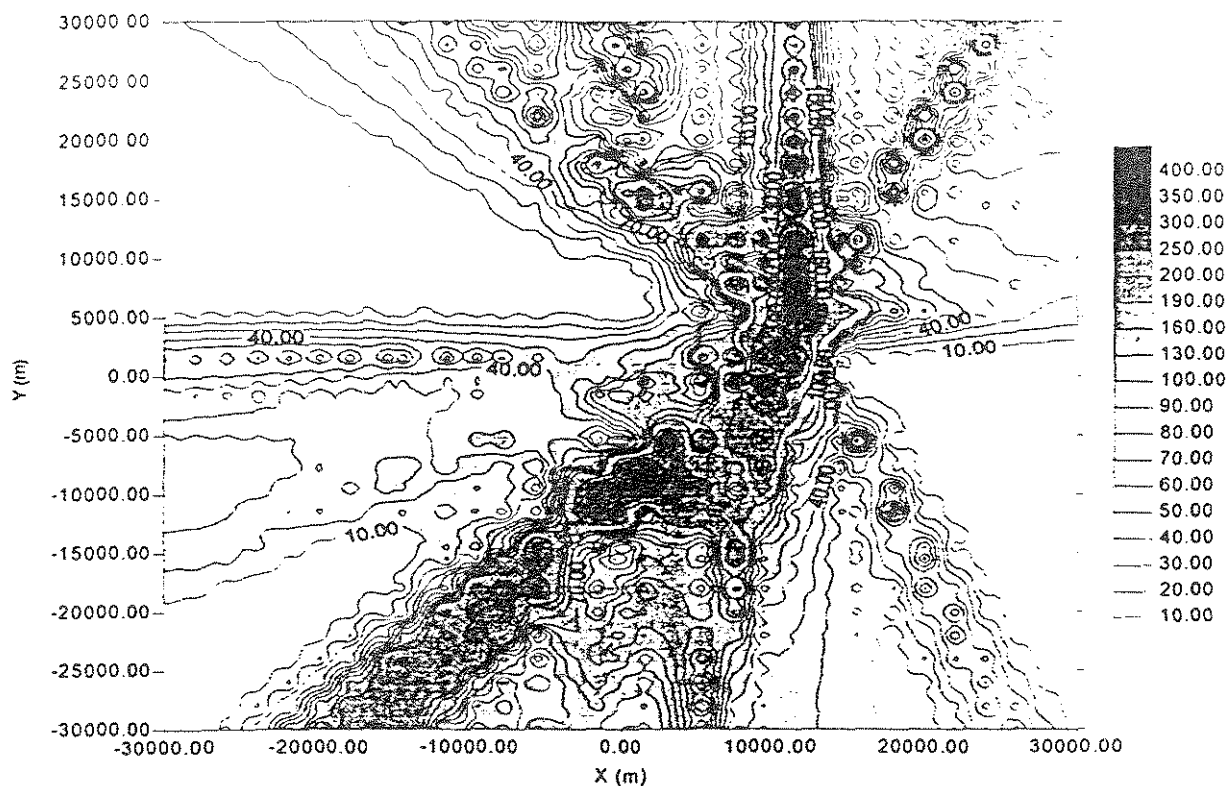




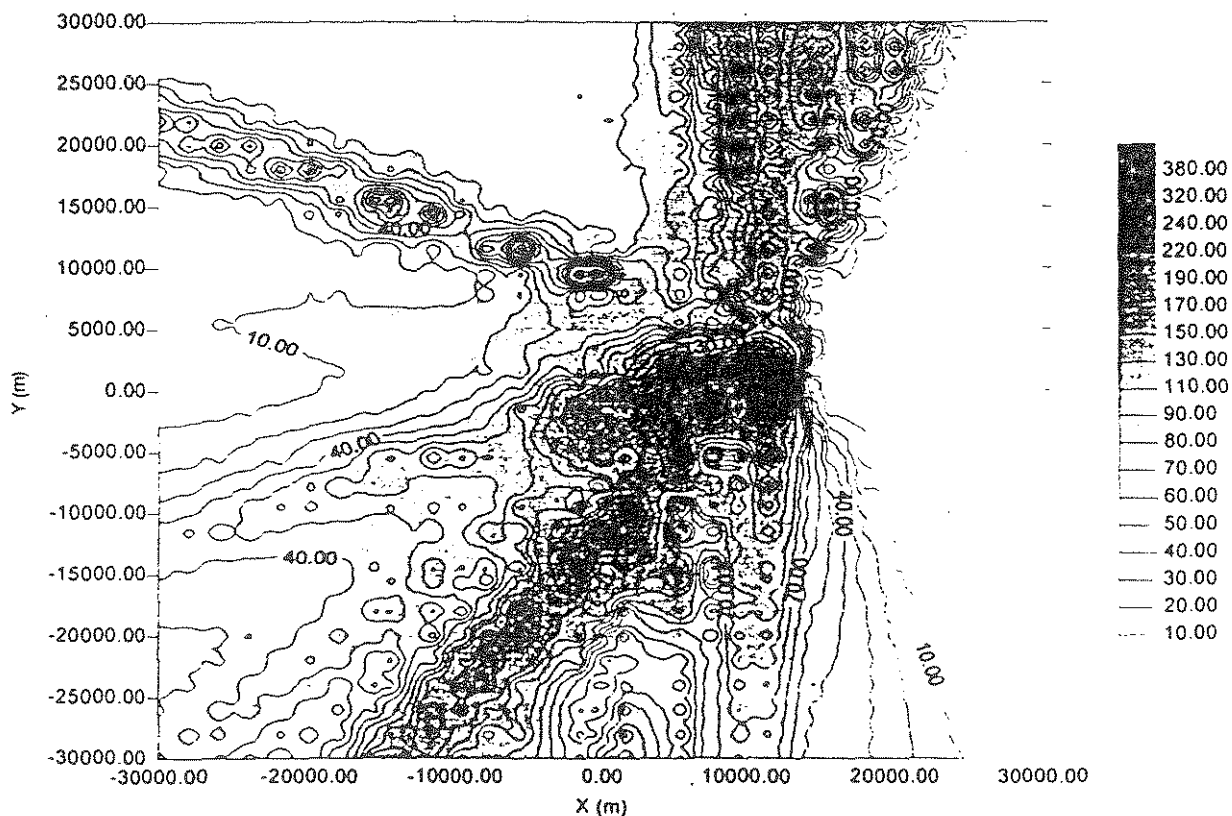
**MATERIAL PARTICULADO, DIA 27/05/95**



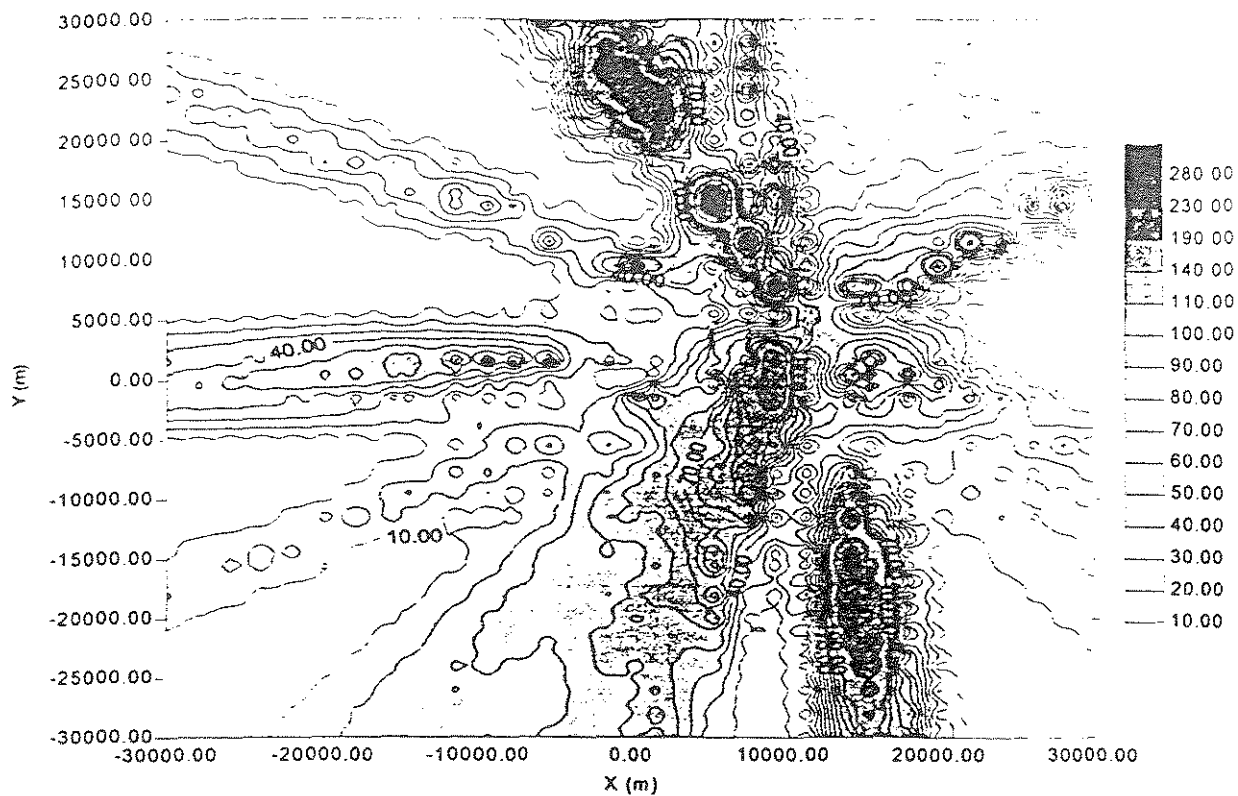
**MATERIAL PARTICULADO, DIA 28/05/95**



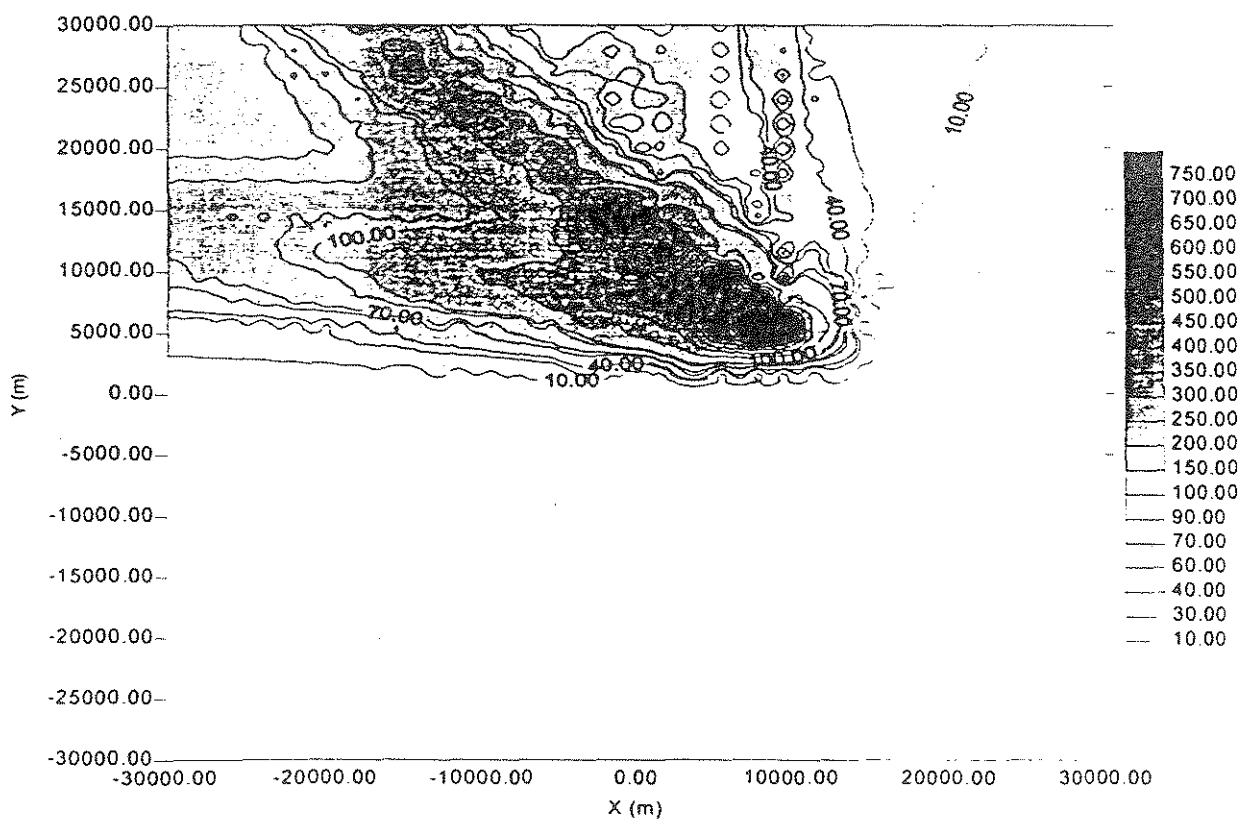
**MATERIAL PARTICULADO, DIA 08/11/95**



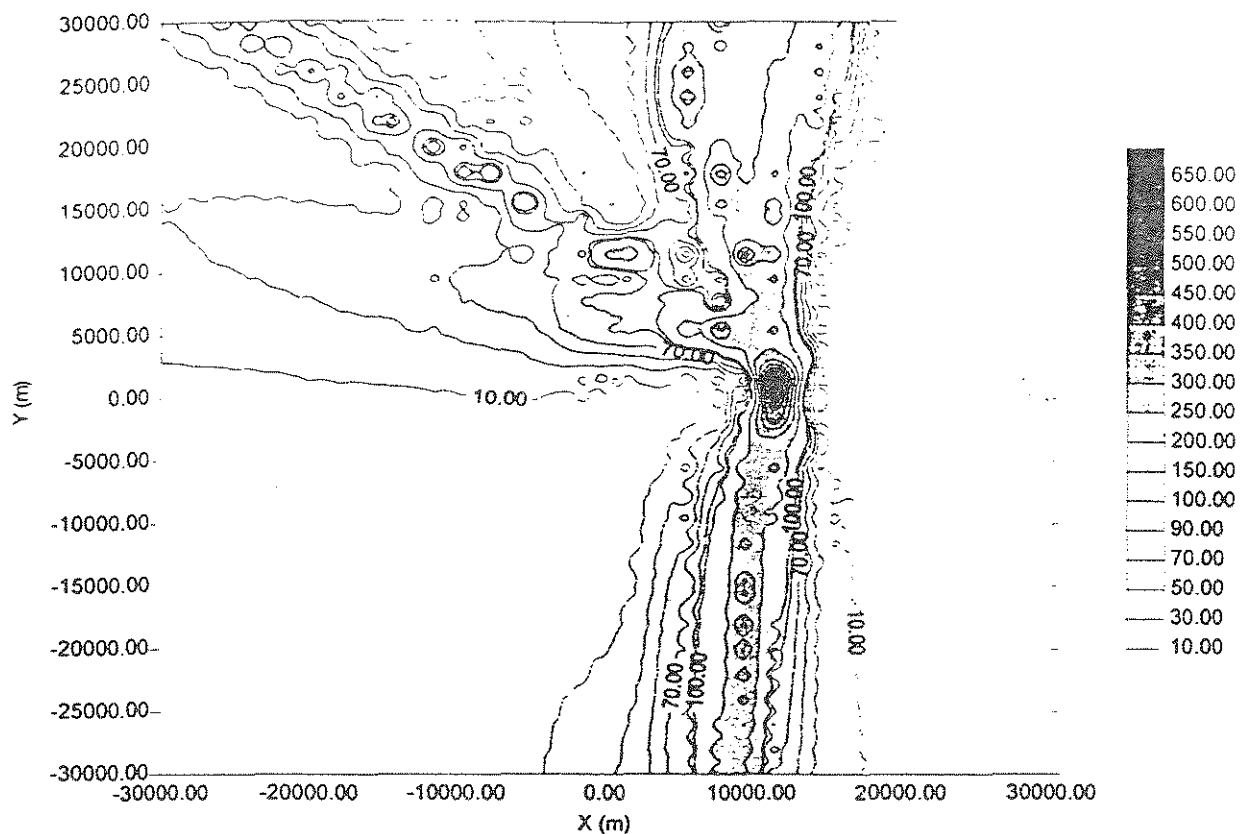
**MATERIAL PARTICULADO, DIA 09/11/95**



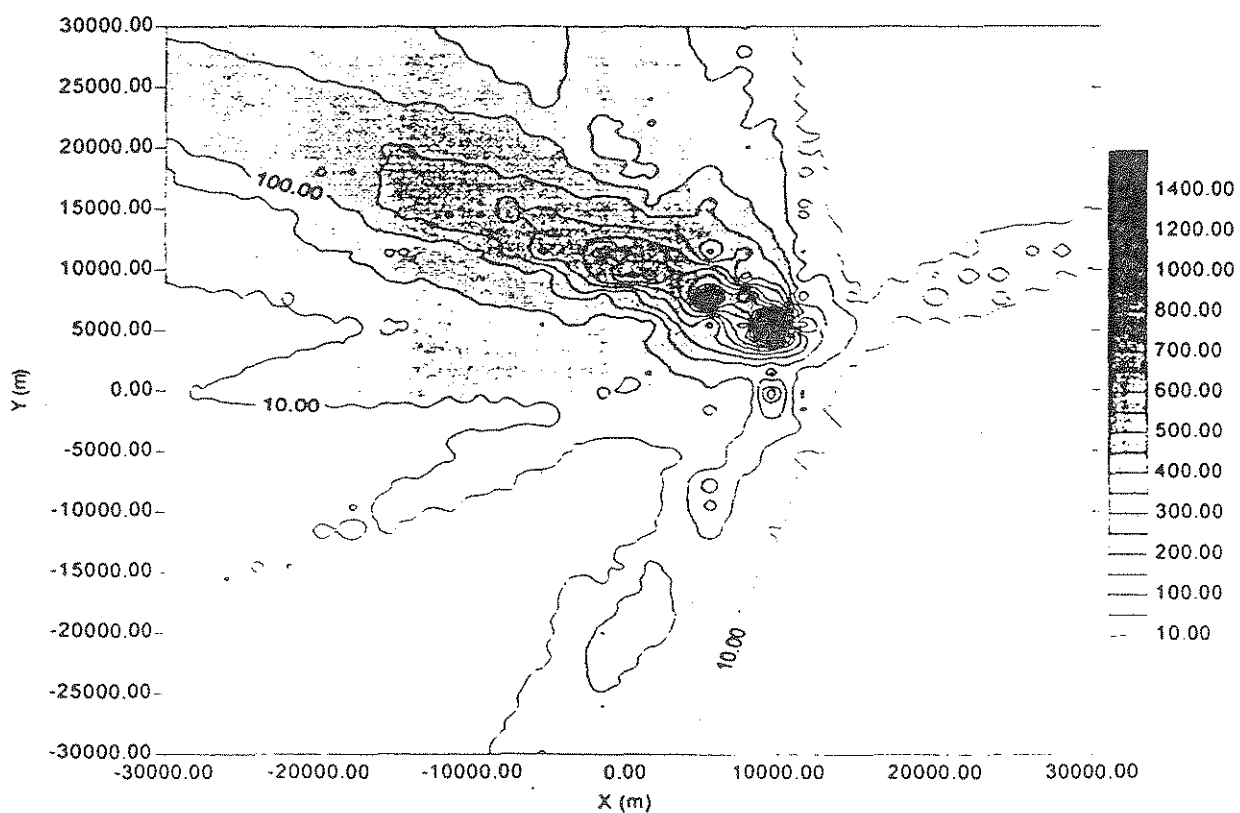
**MATERIAL PARTICULADO, DIA 10/11/95**



**MATERIAL PARTICULADO, DIA 11/11/95**

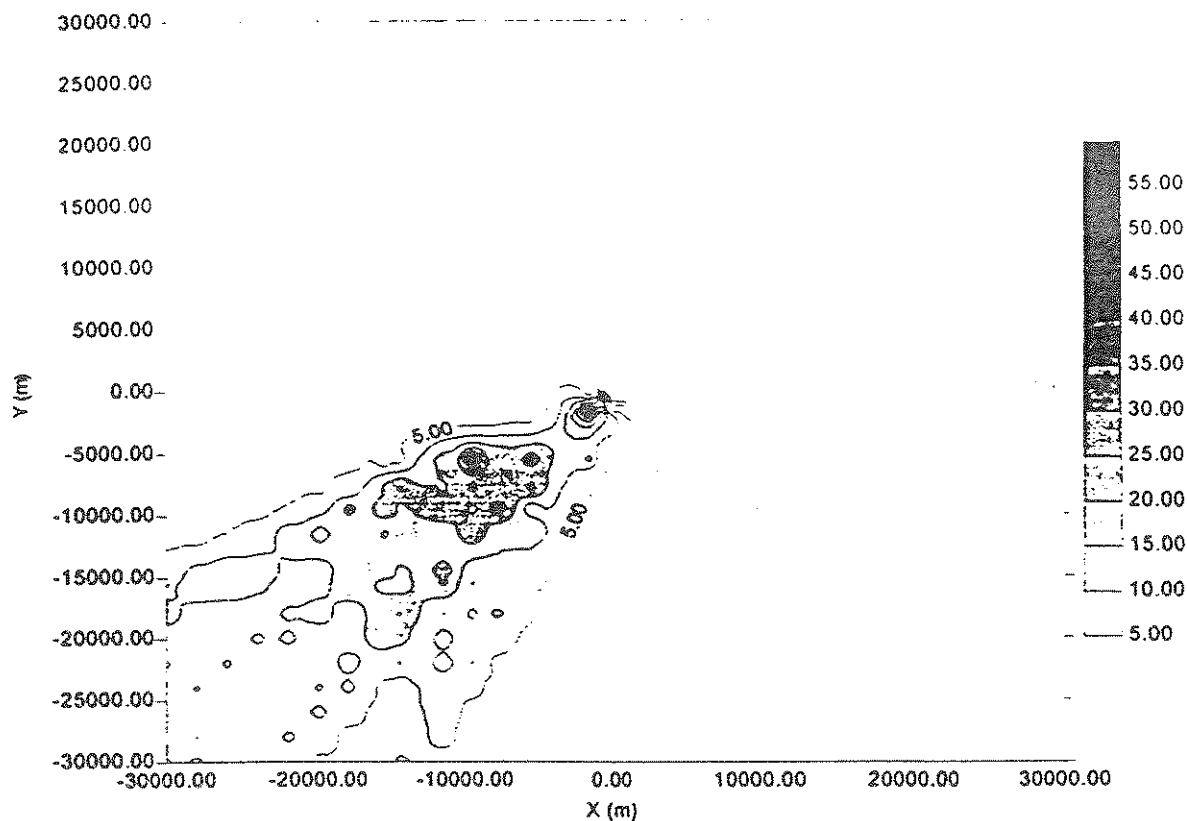


**MATERIAL PARTICULADO, DIA 12/11/95**

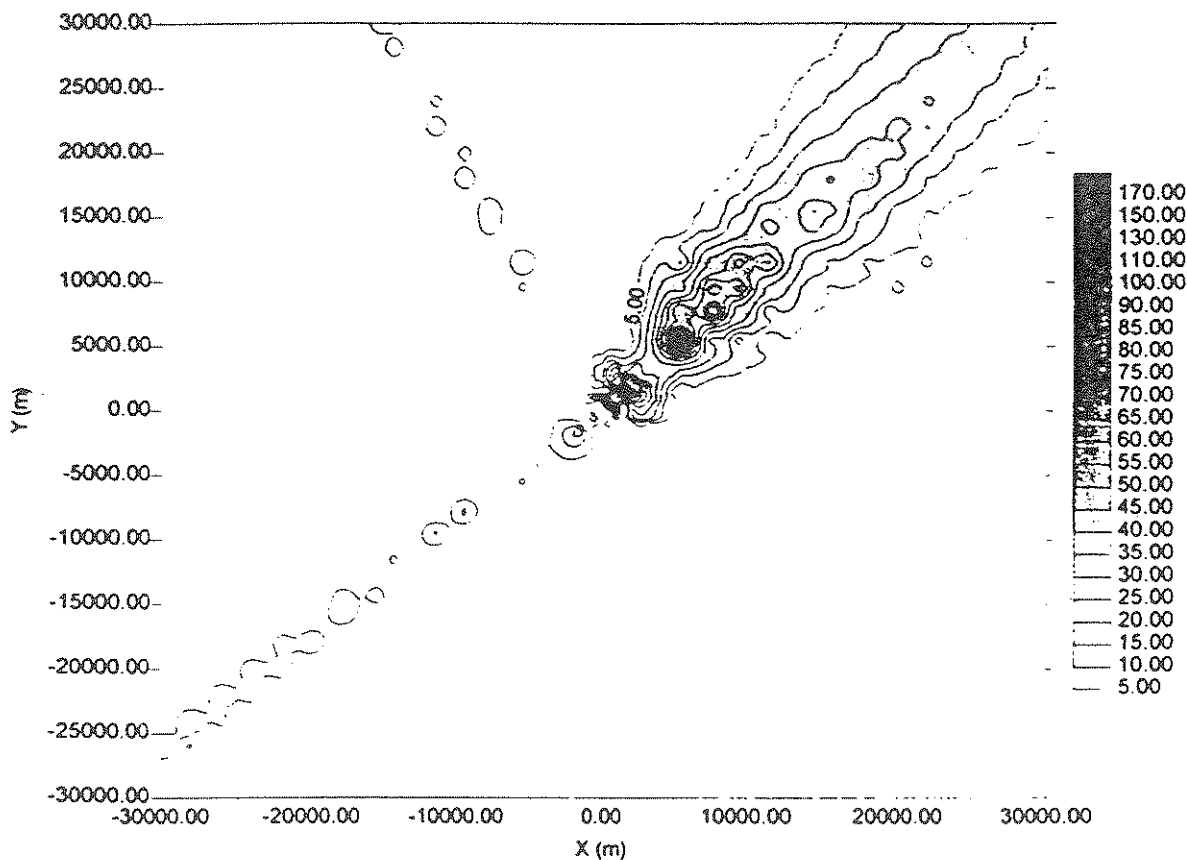


**MATERIAL PARTICULADO, DIA 13/02/95**

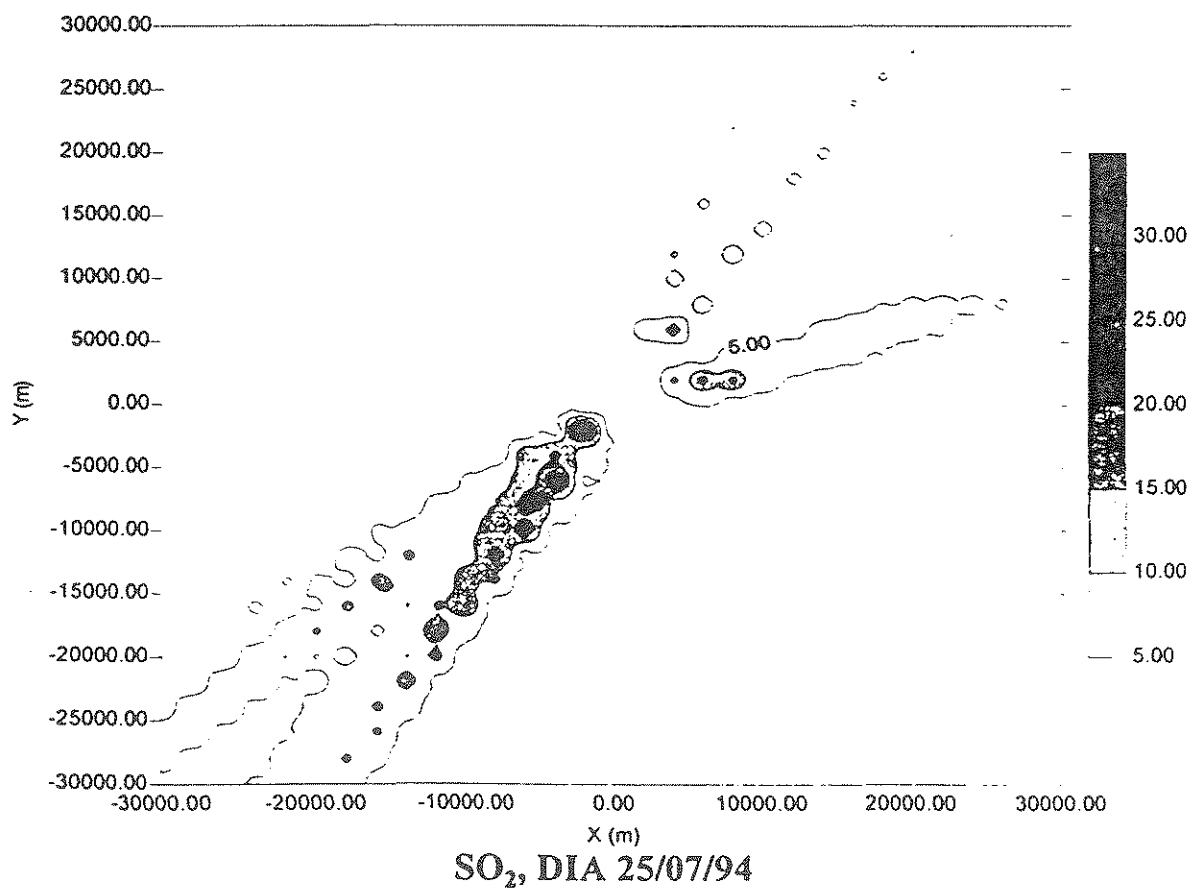
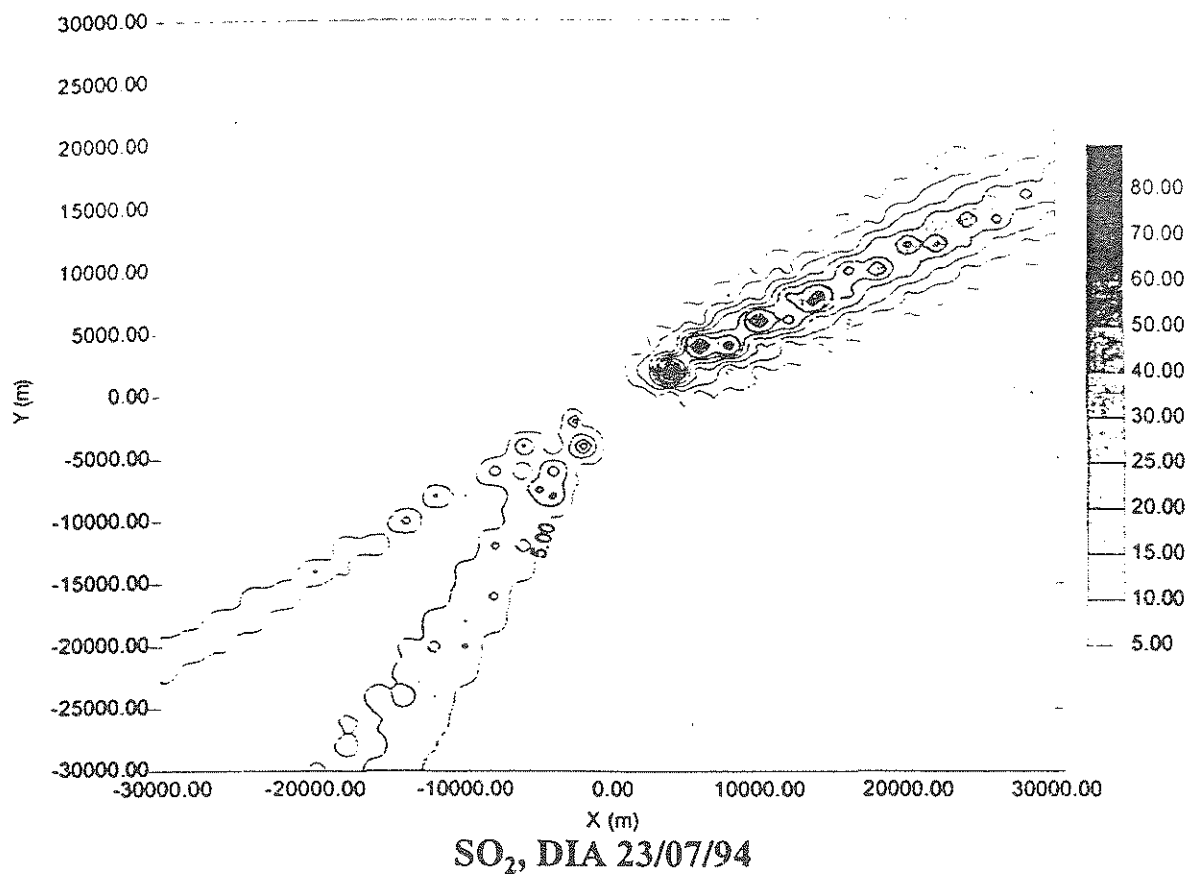
### 1.8.2 - Mapas das Simulações das Médias Diárias de Dióxido de Enxofre

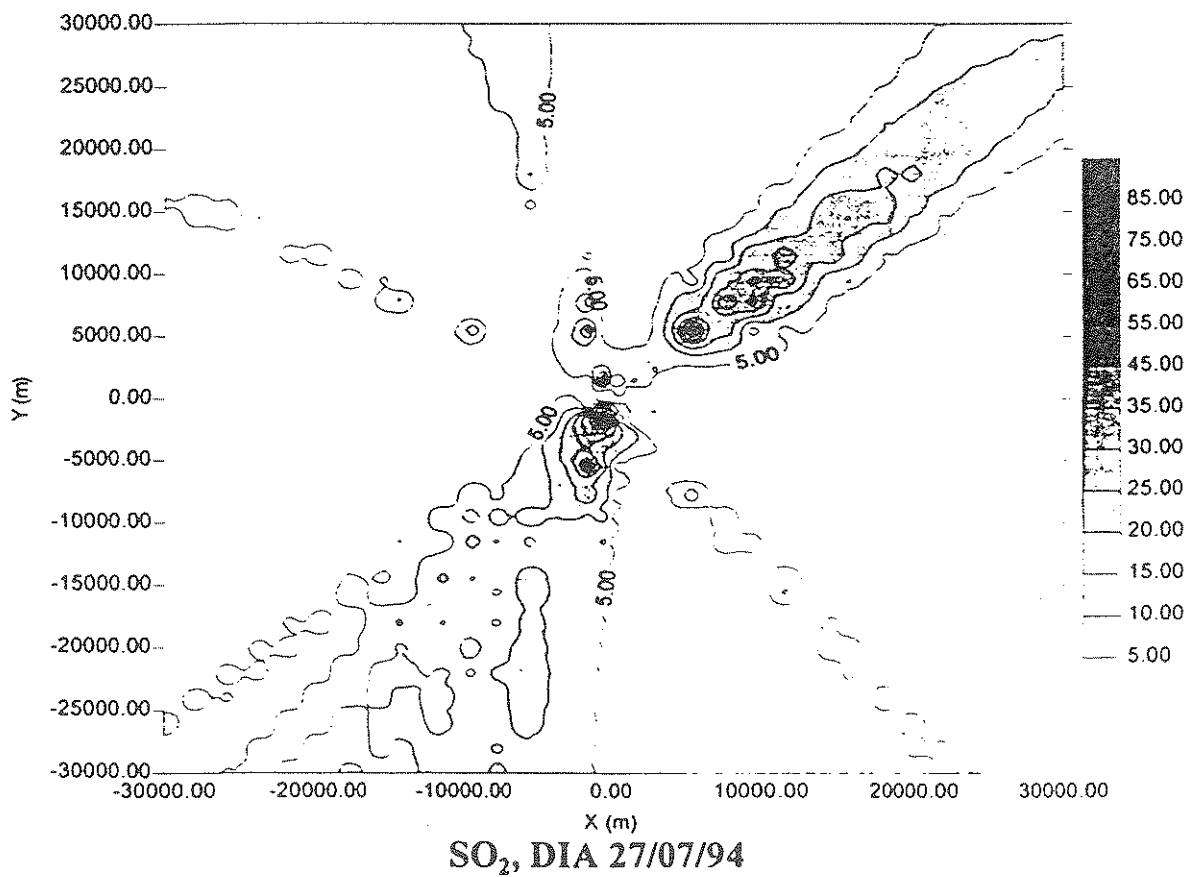
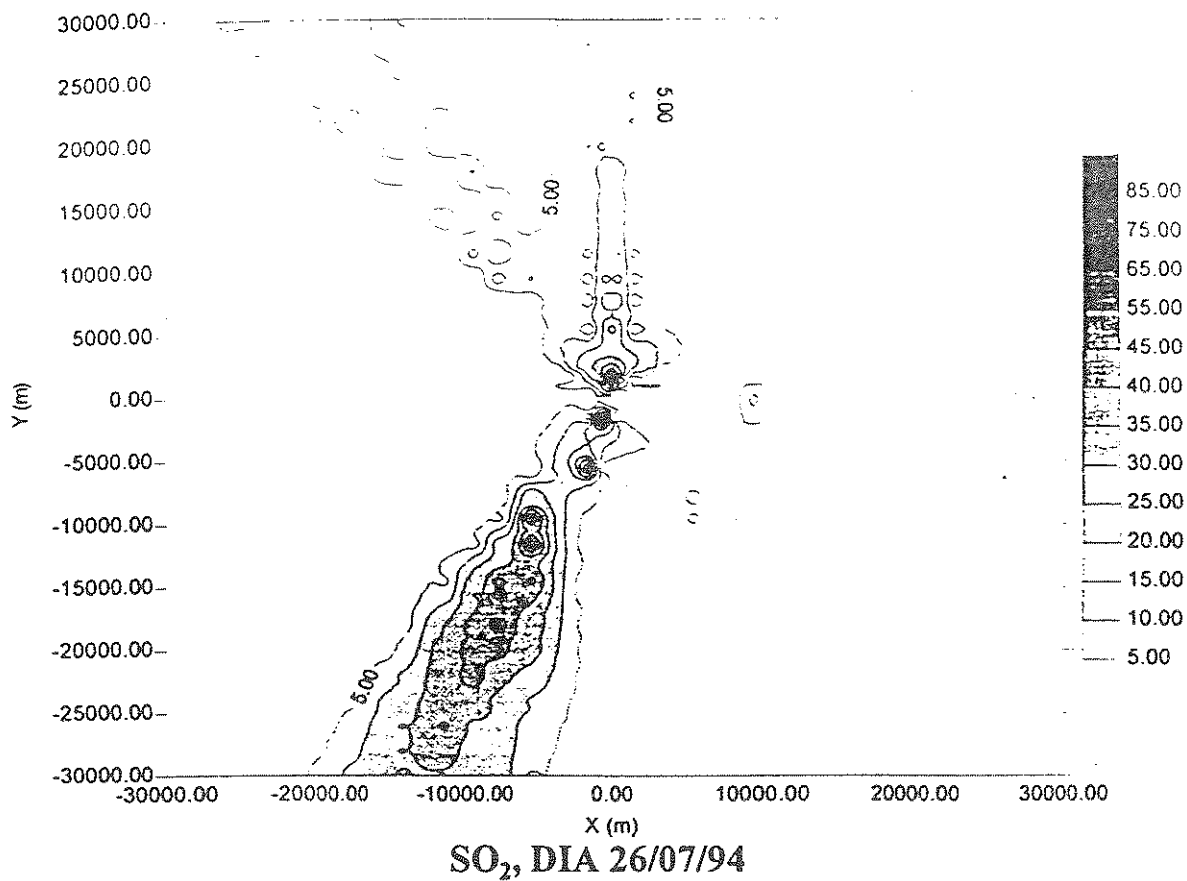


**SO<sub>2</sub>, DIA 21/07/94**

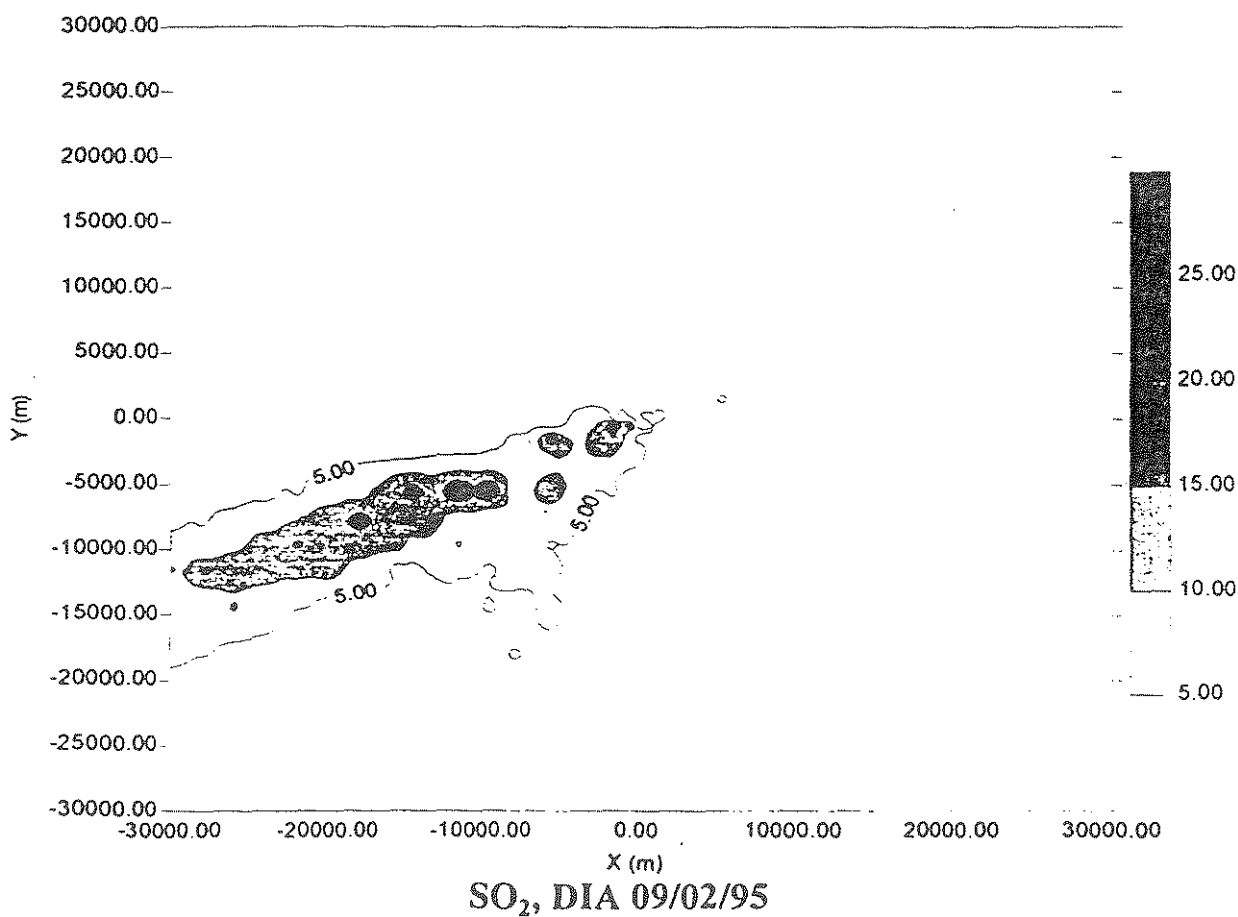
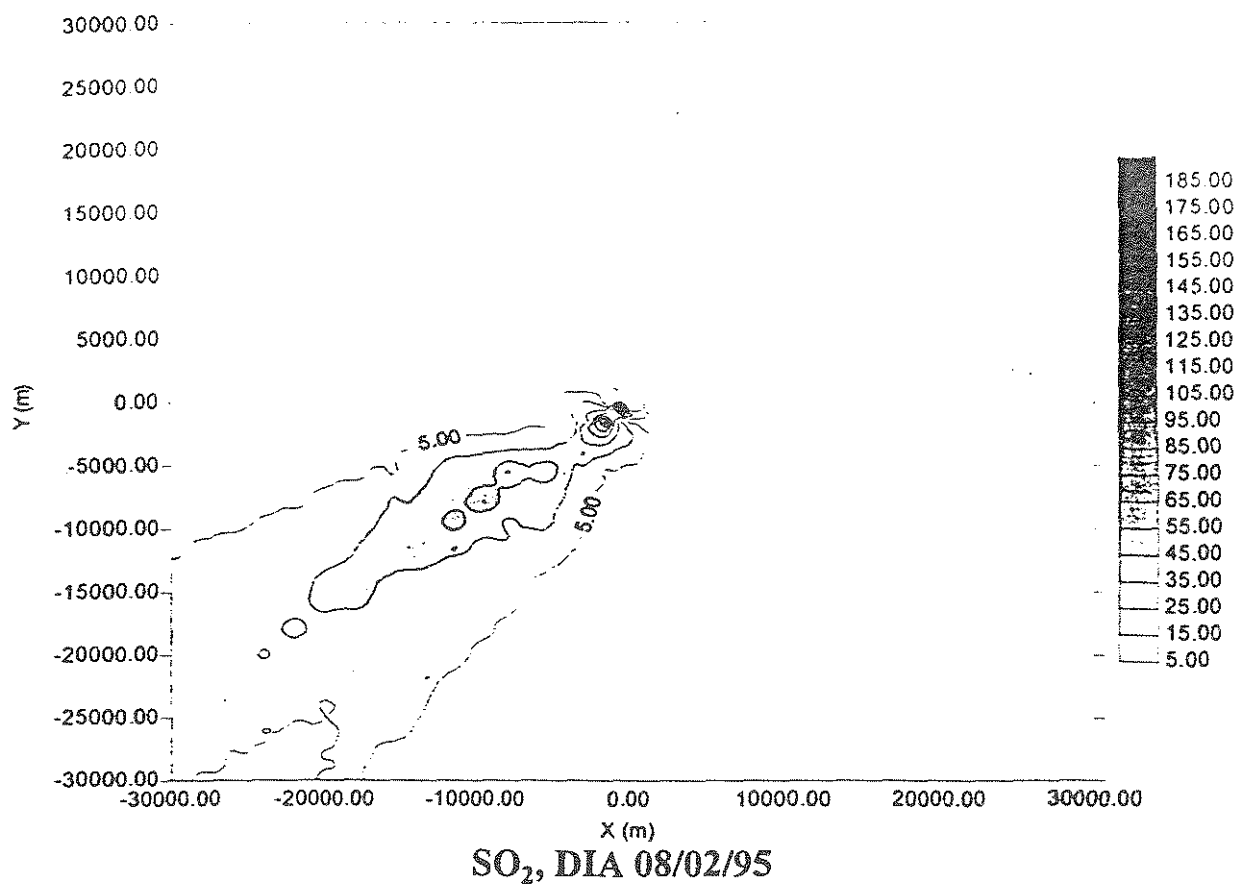


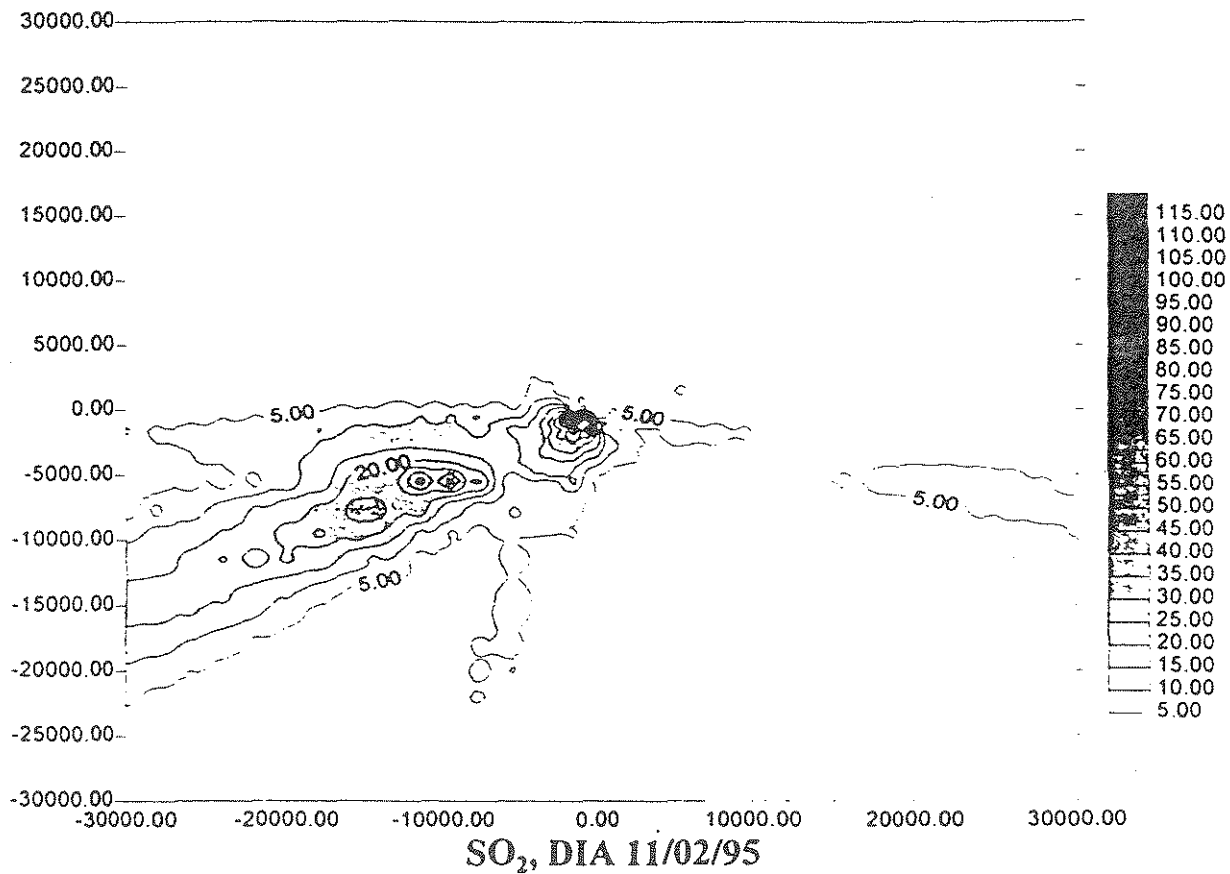
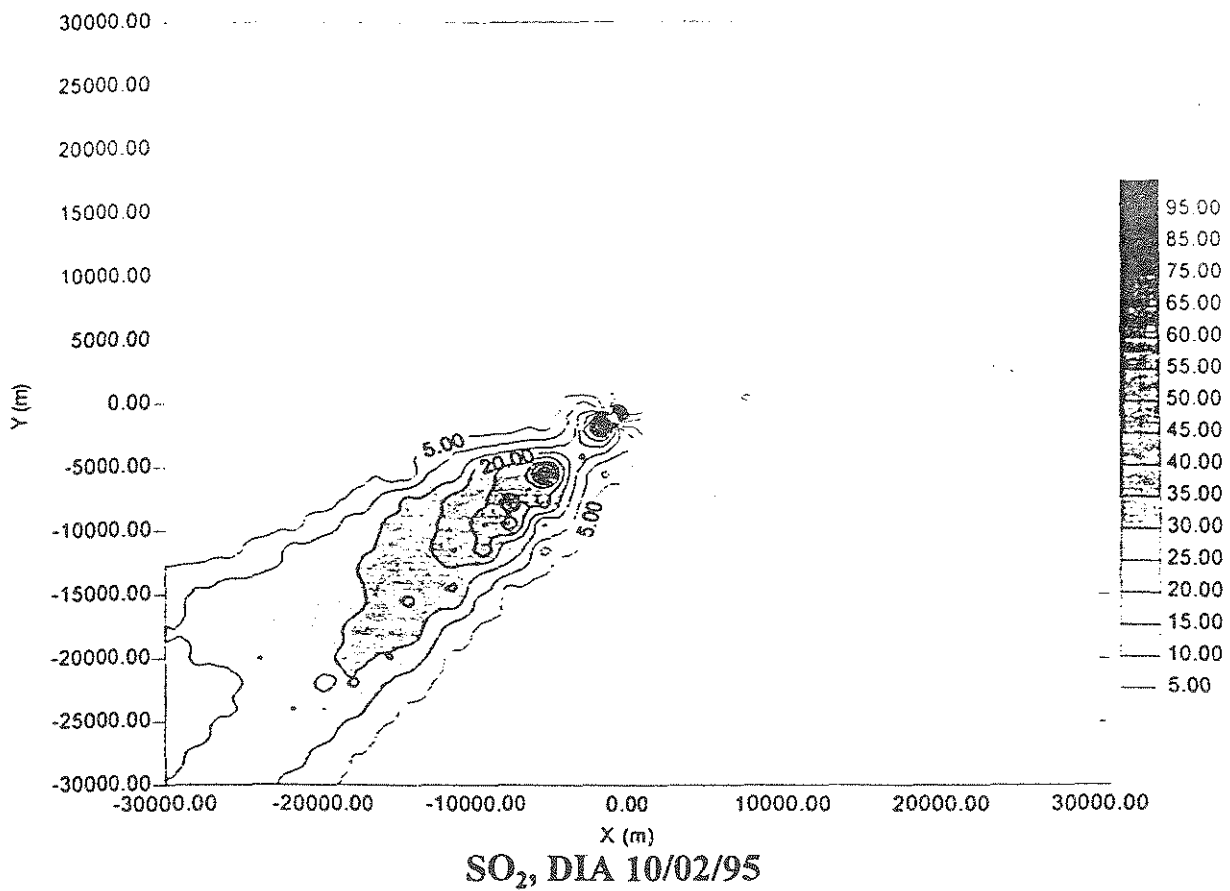
**SO<sub>2</sub>, DIA 22/07/94**

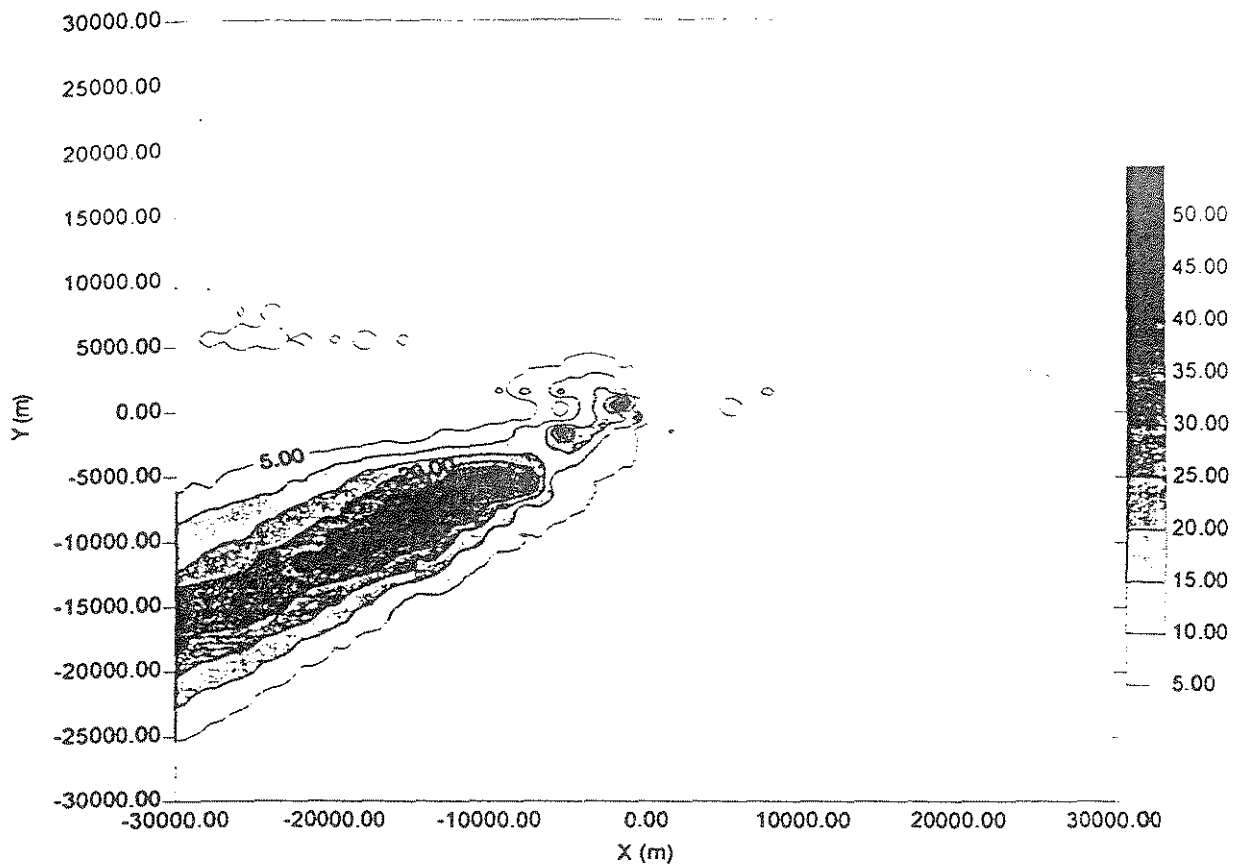




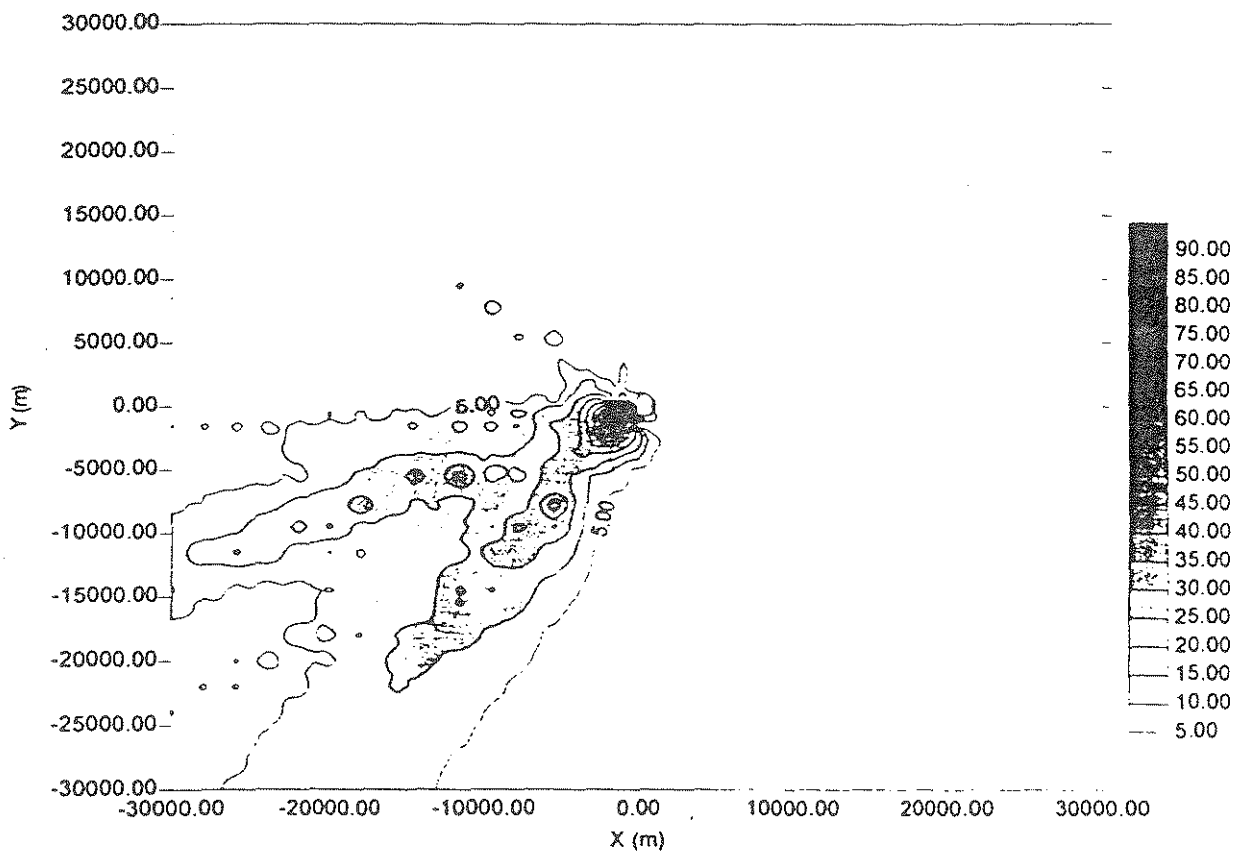




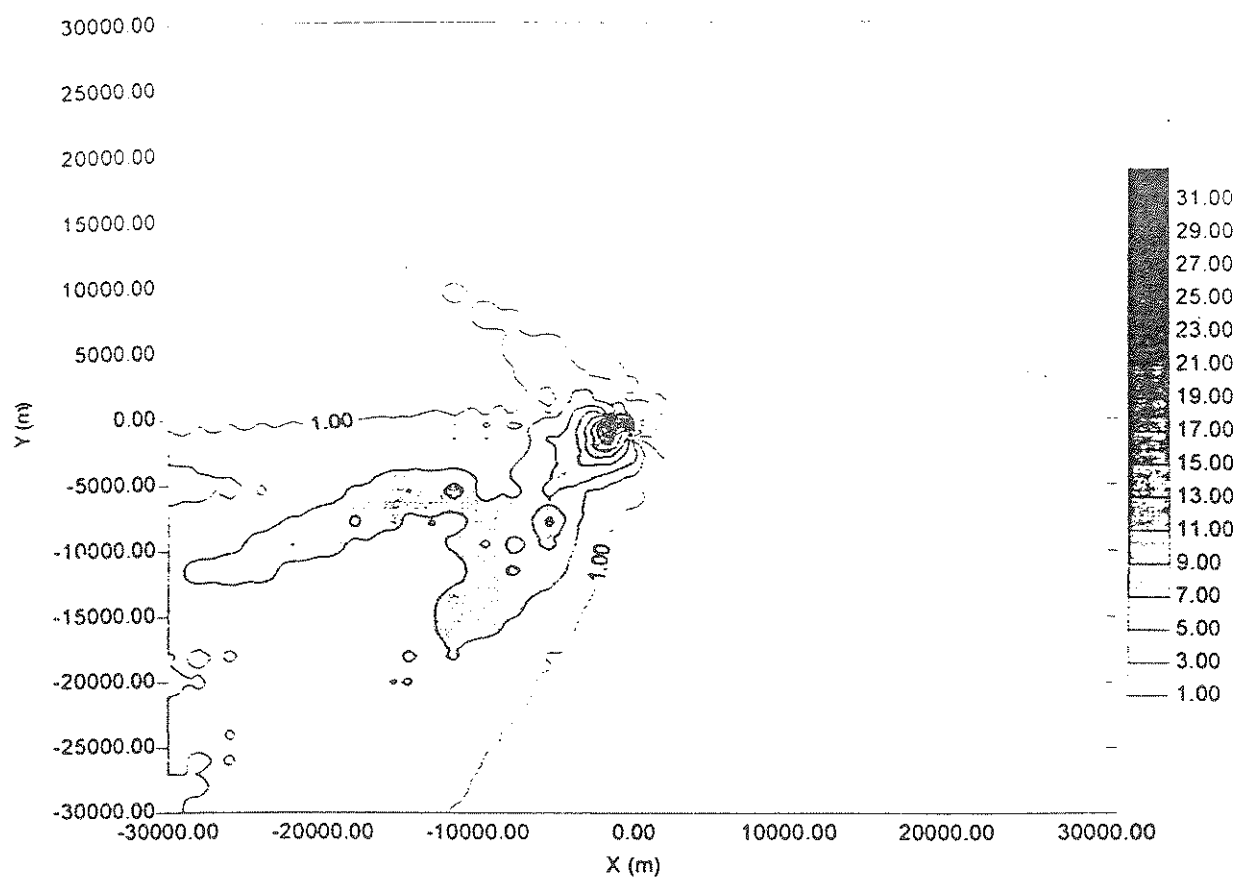




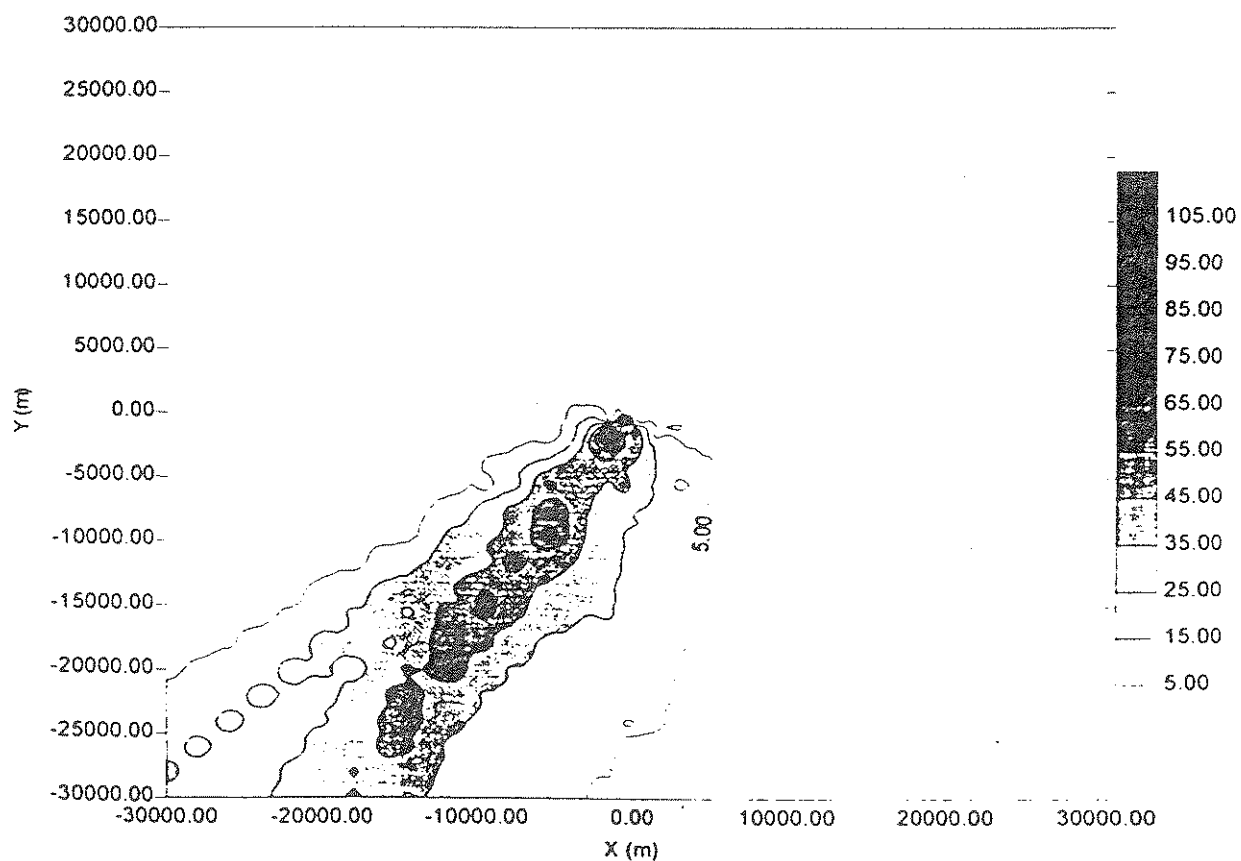
**SO<sub>2</sub>, DIA 12/02/95**



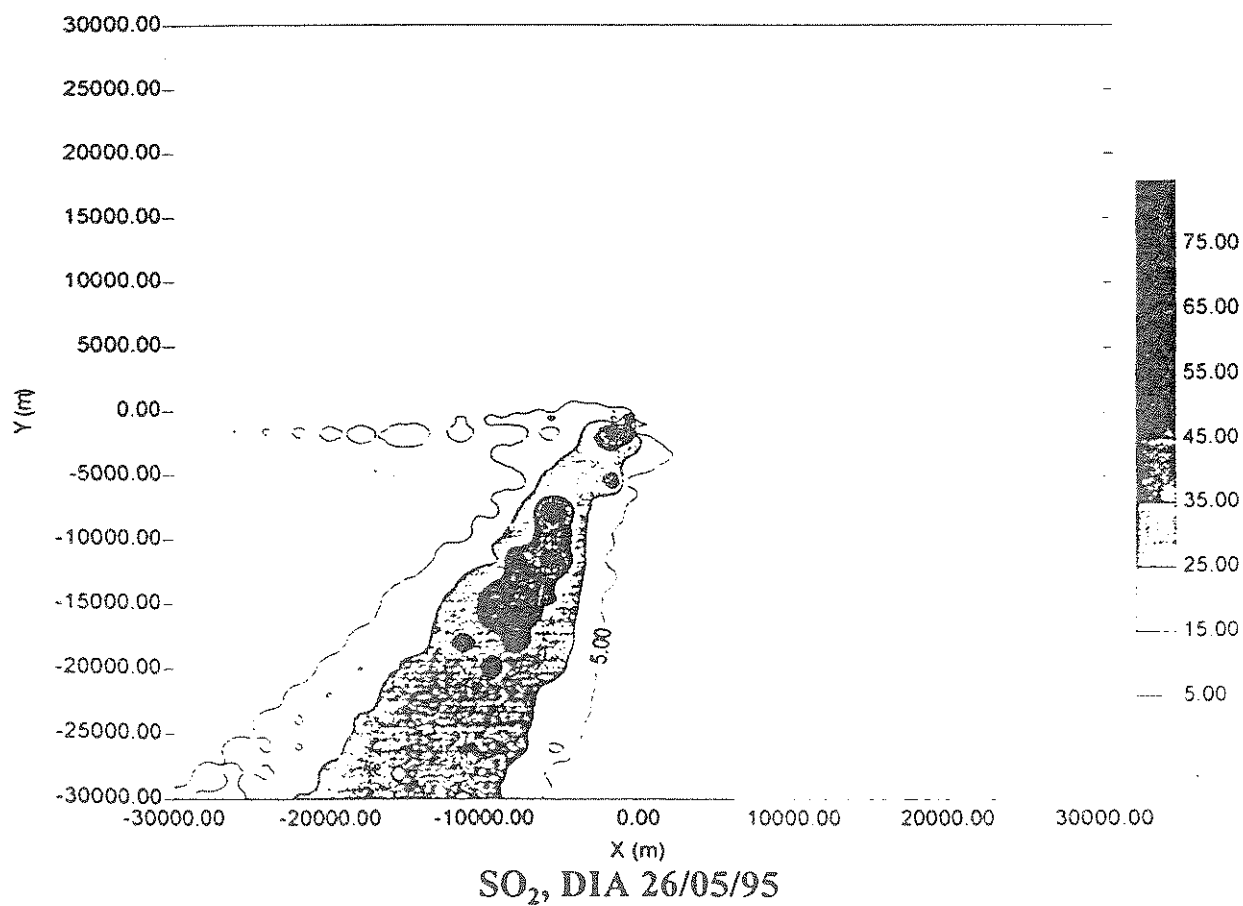
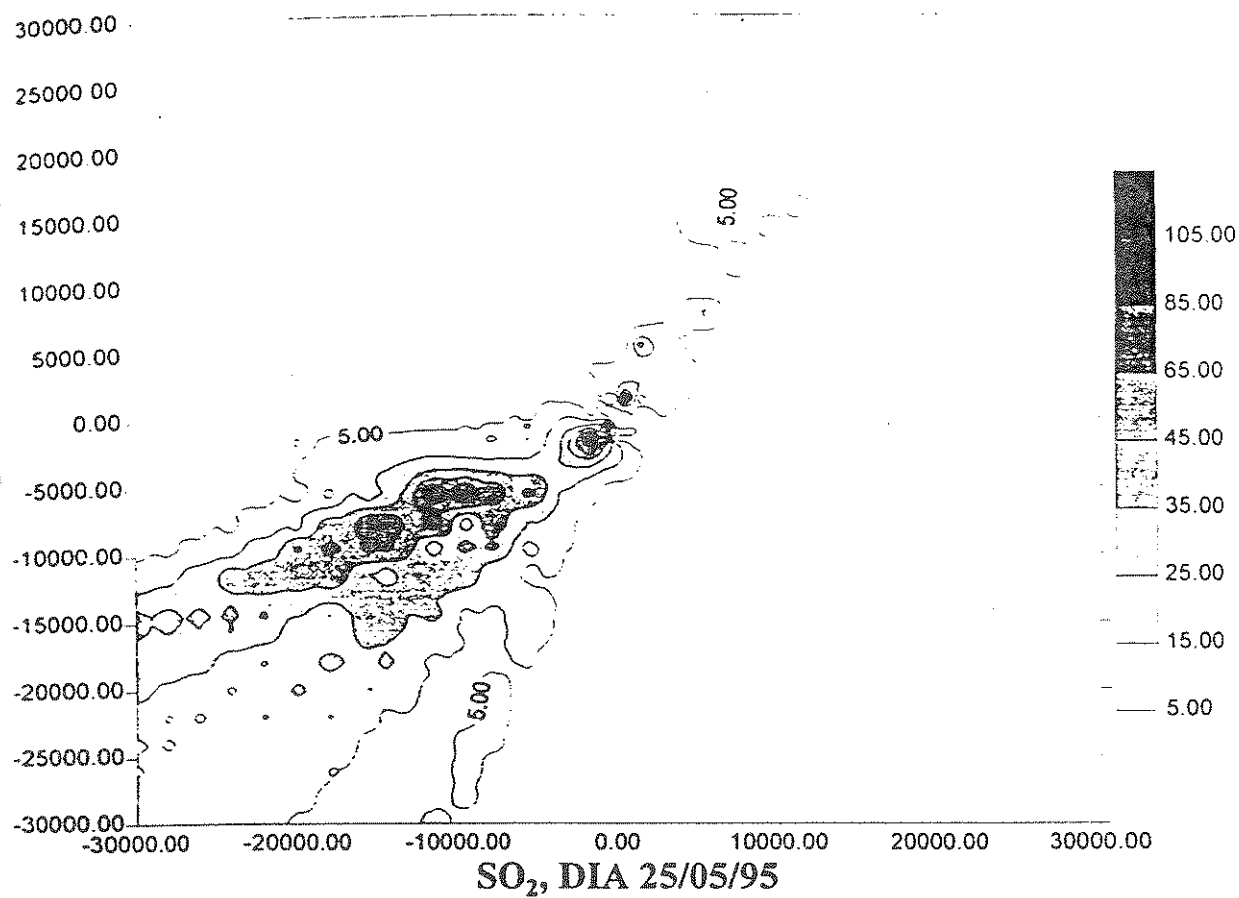
**SO<sub>2</sub>, DIA 13/02/95**

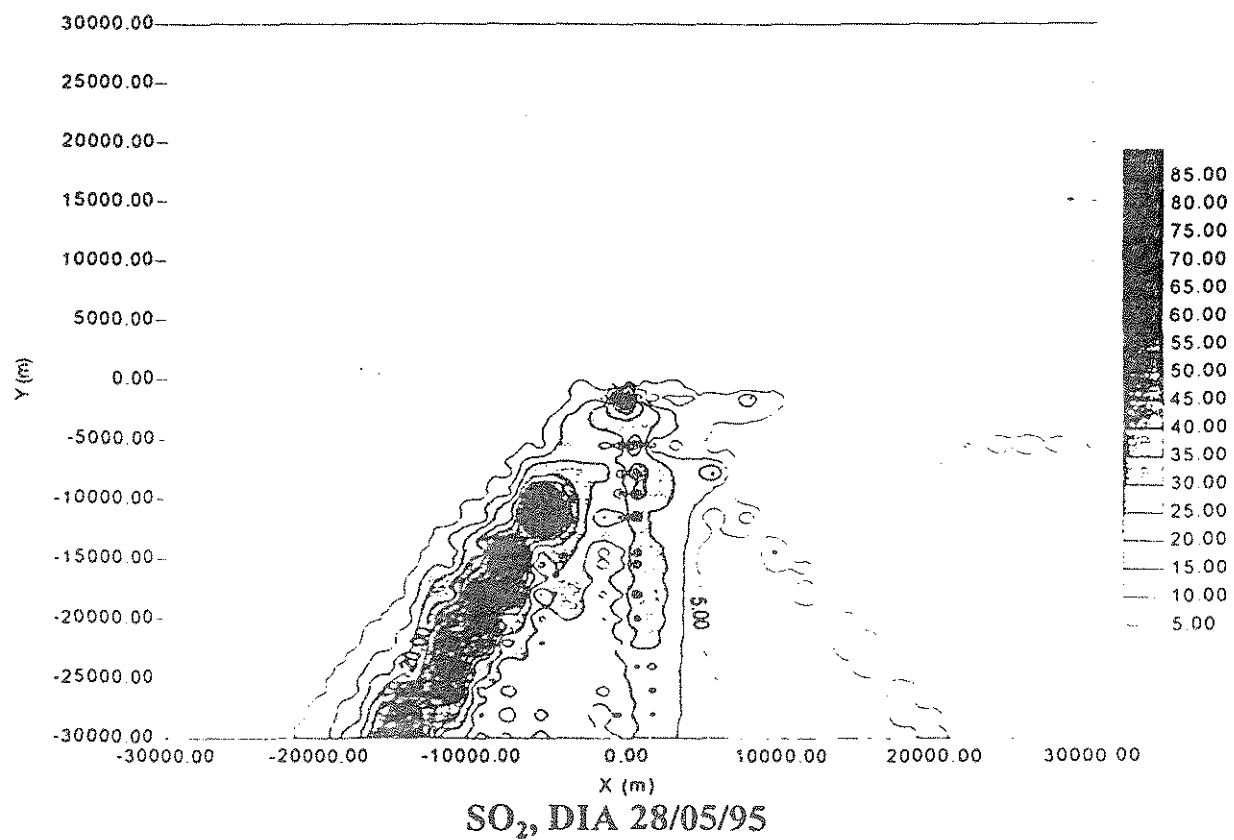
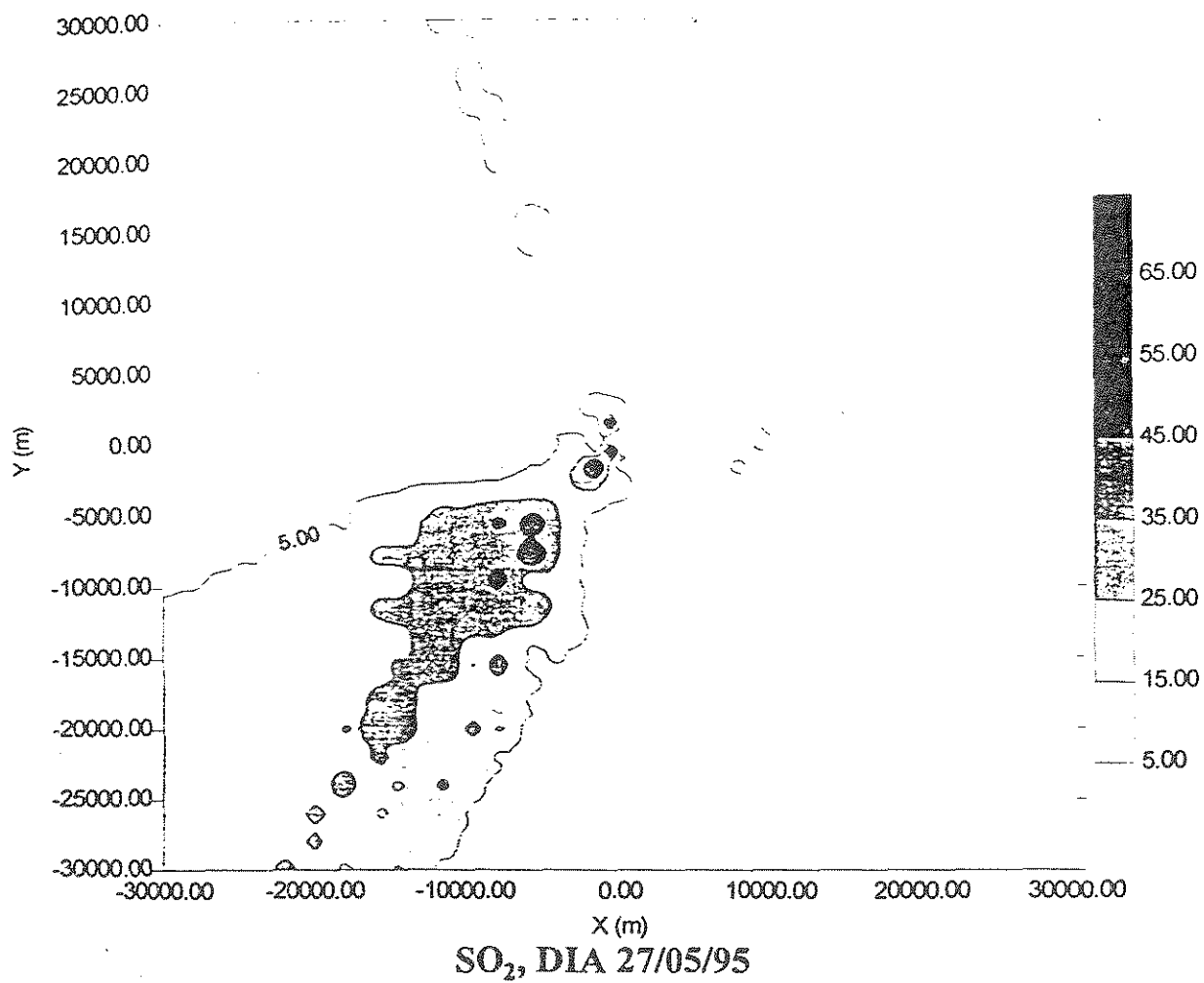


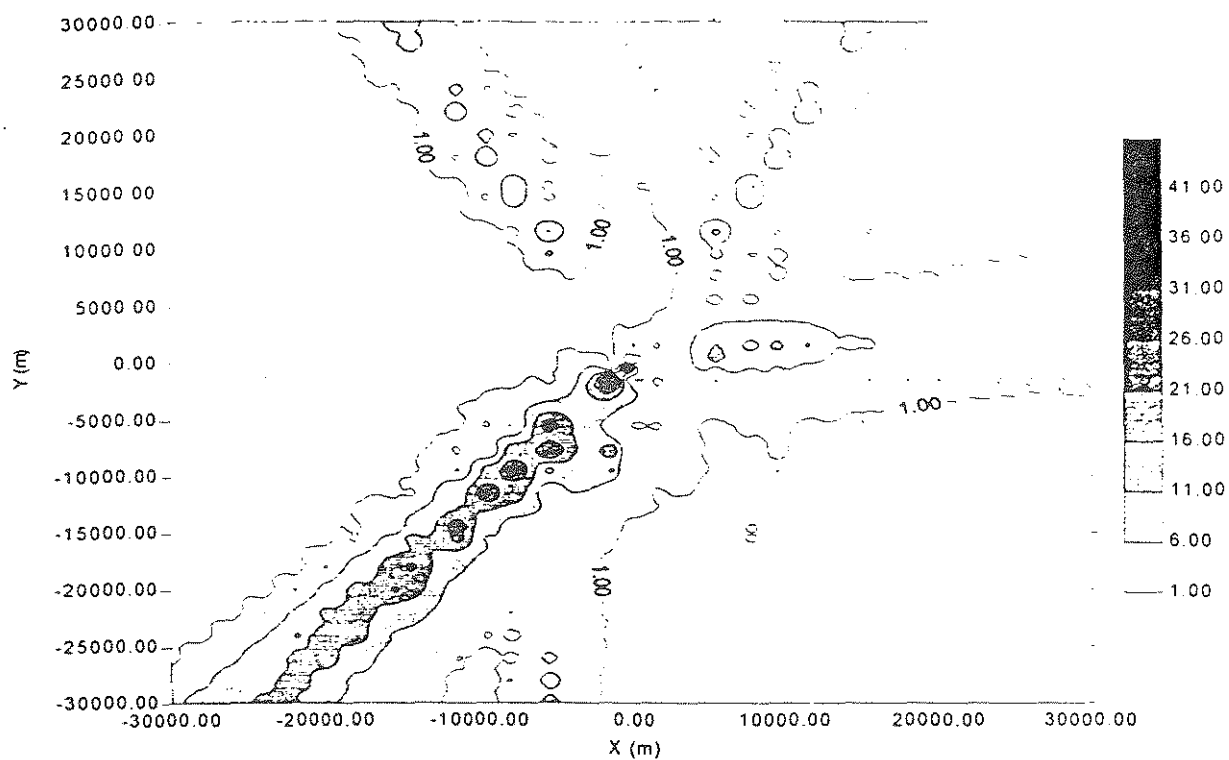
**SO<sub>2</sub>, DIA 23/05/95**



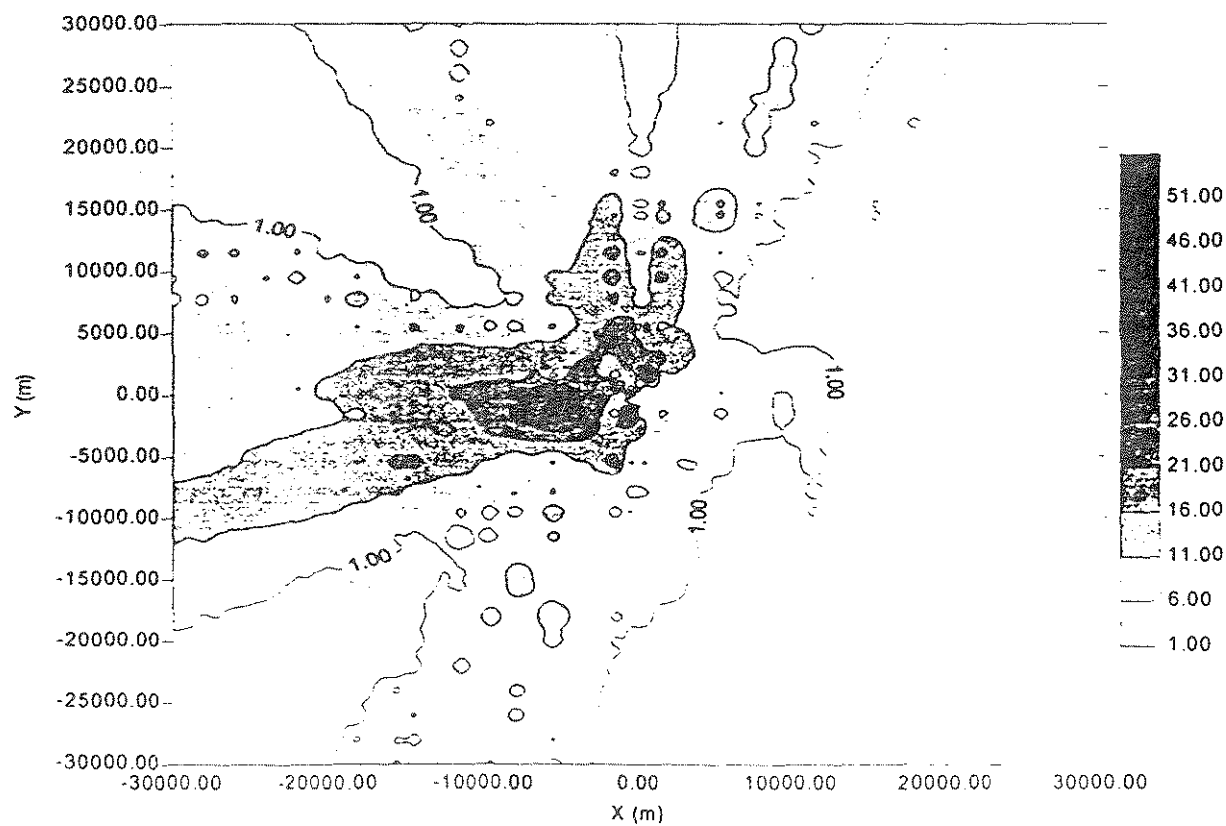
**SO<sub>2</sub>, DIA 24/05/95**



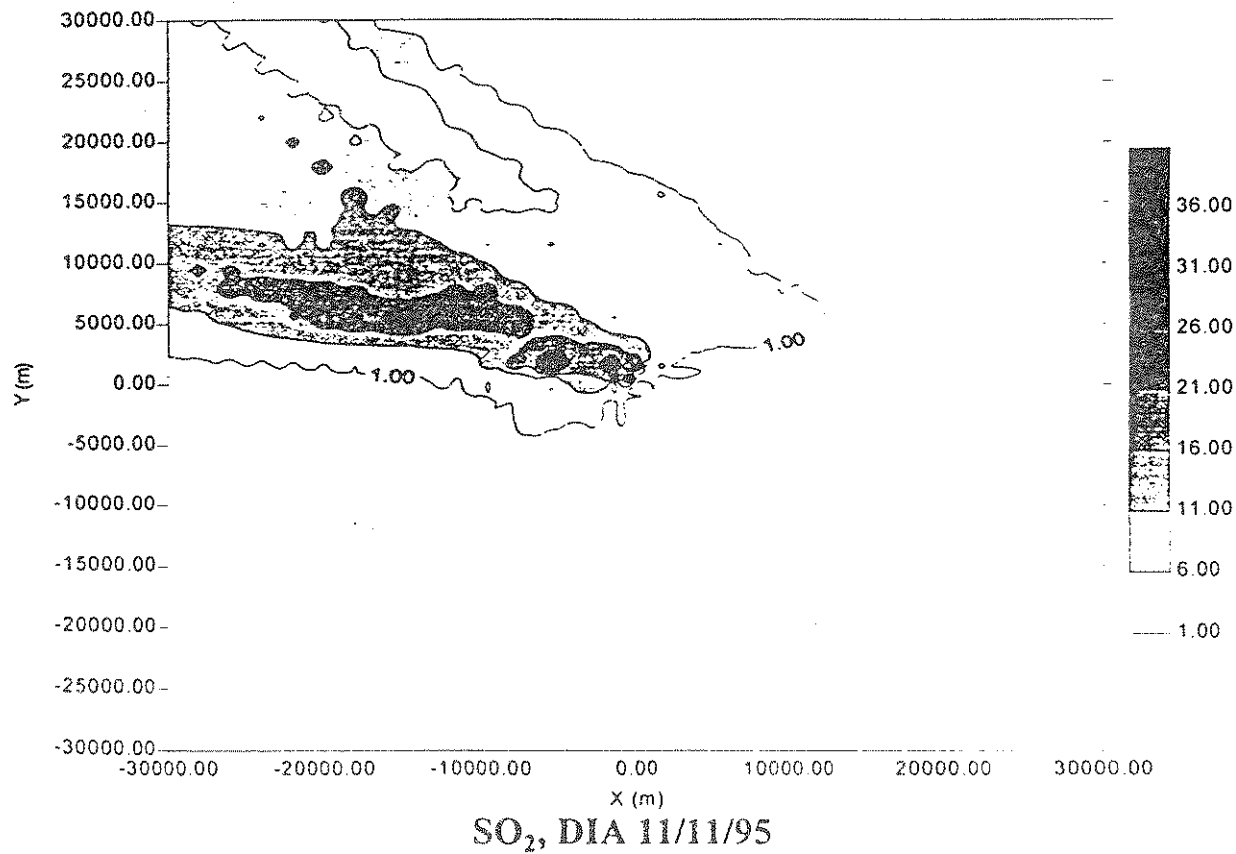
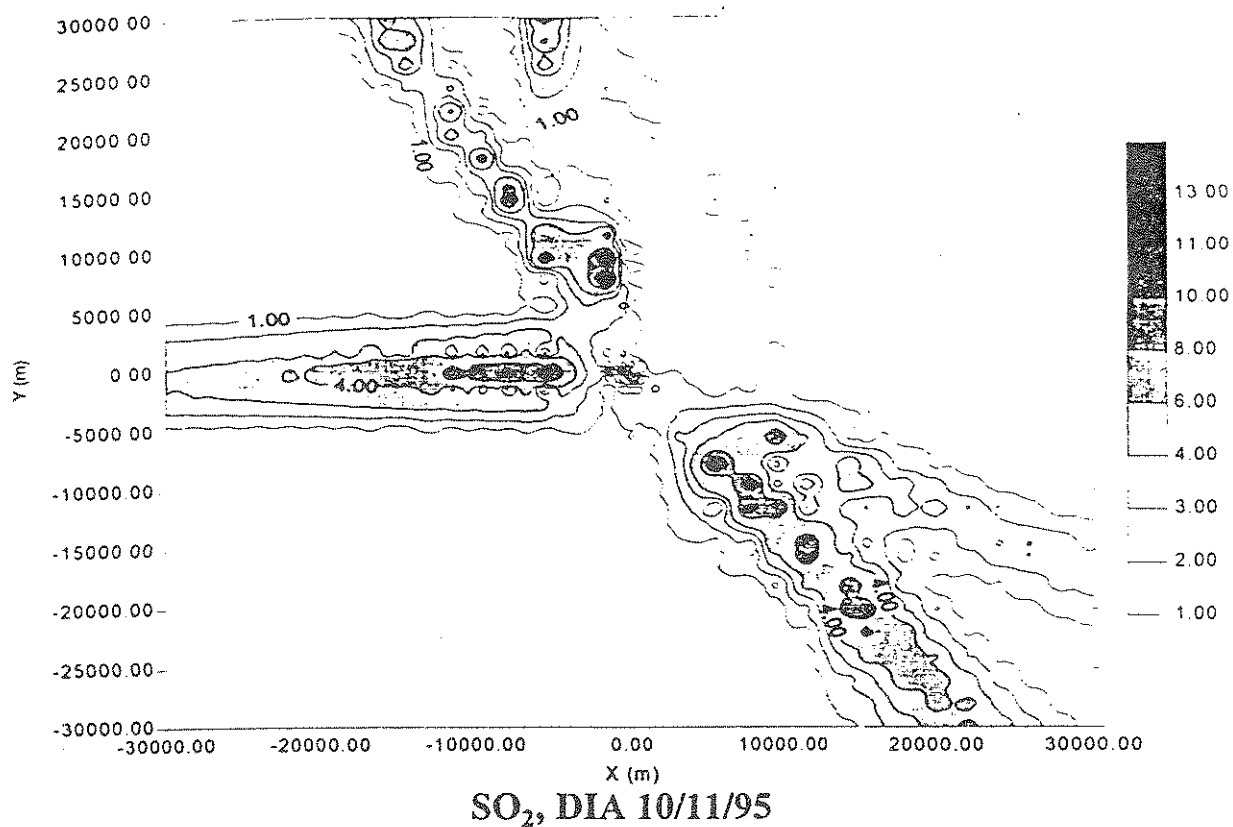




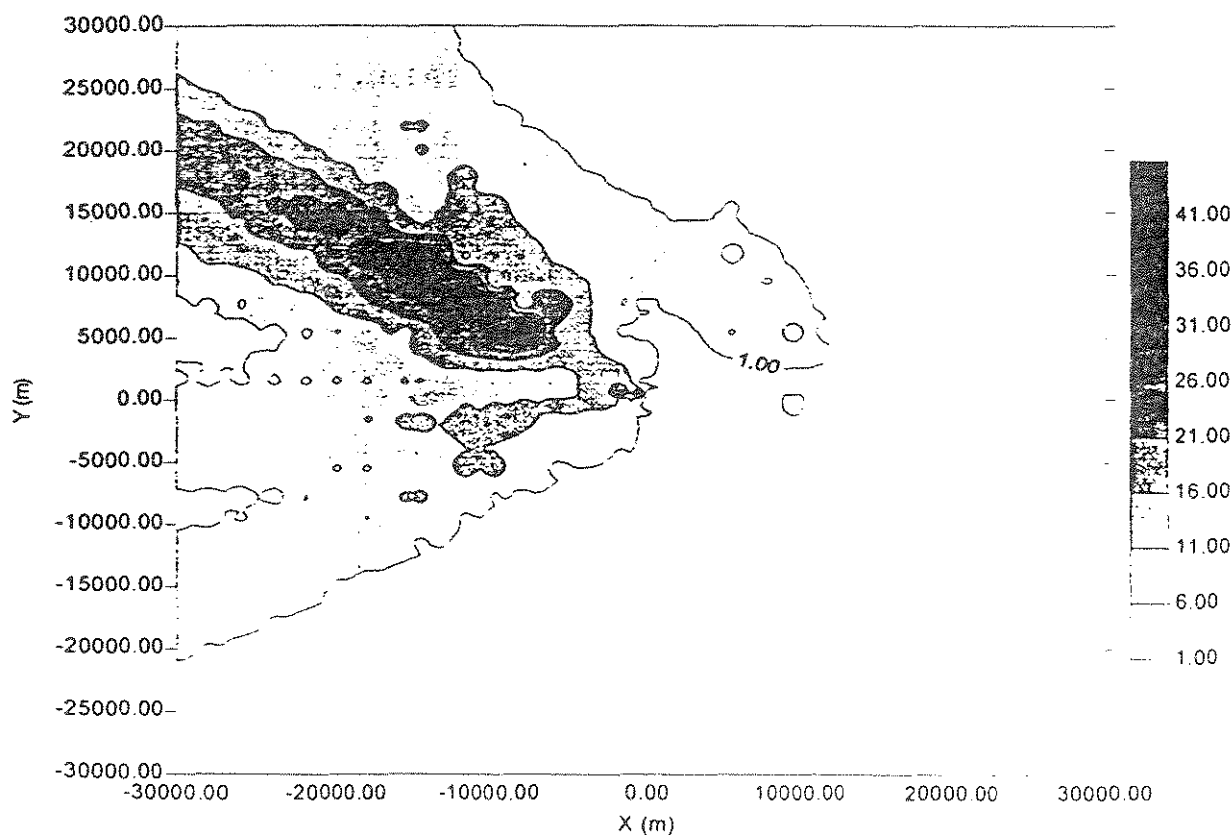
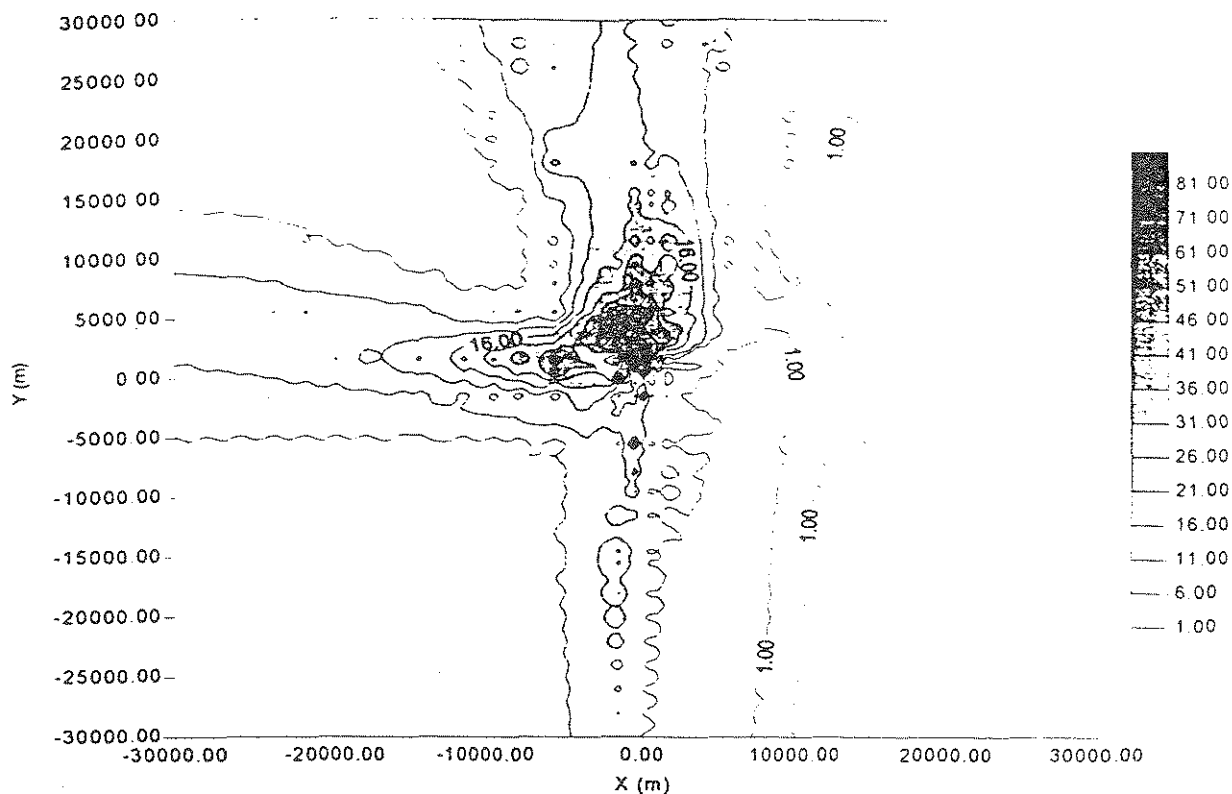
SO<sub>2</sub>, DIA 08/11/95



SO<sub>2</sub>, DIA 09/11/95

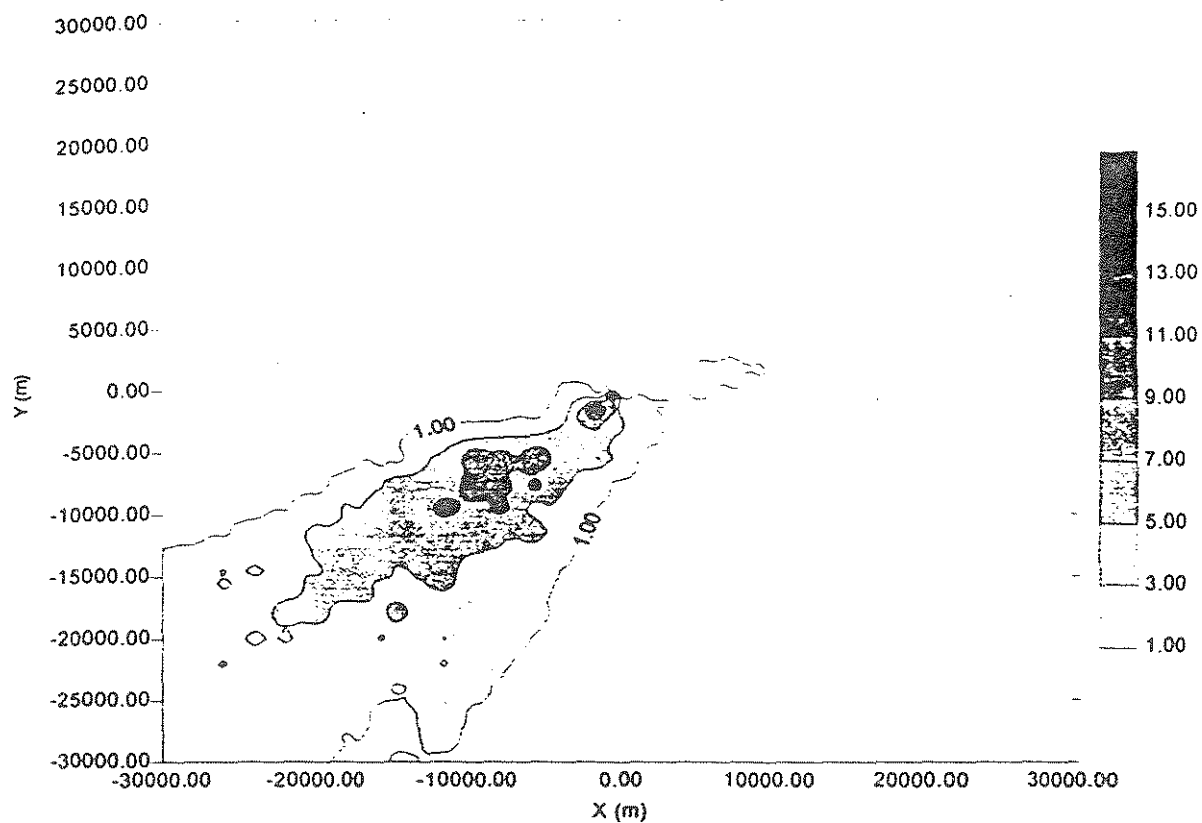




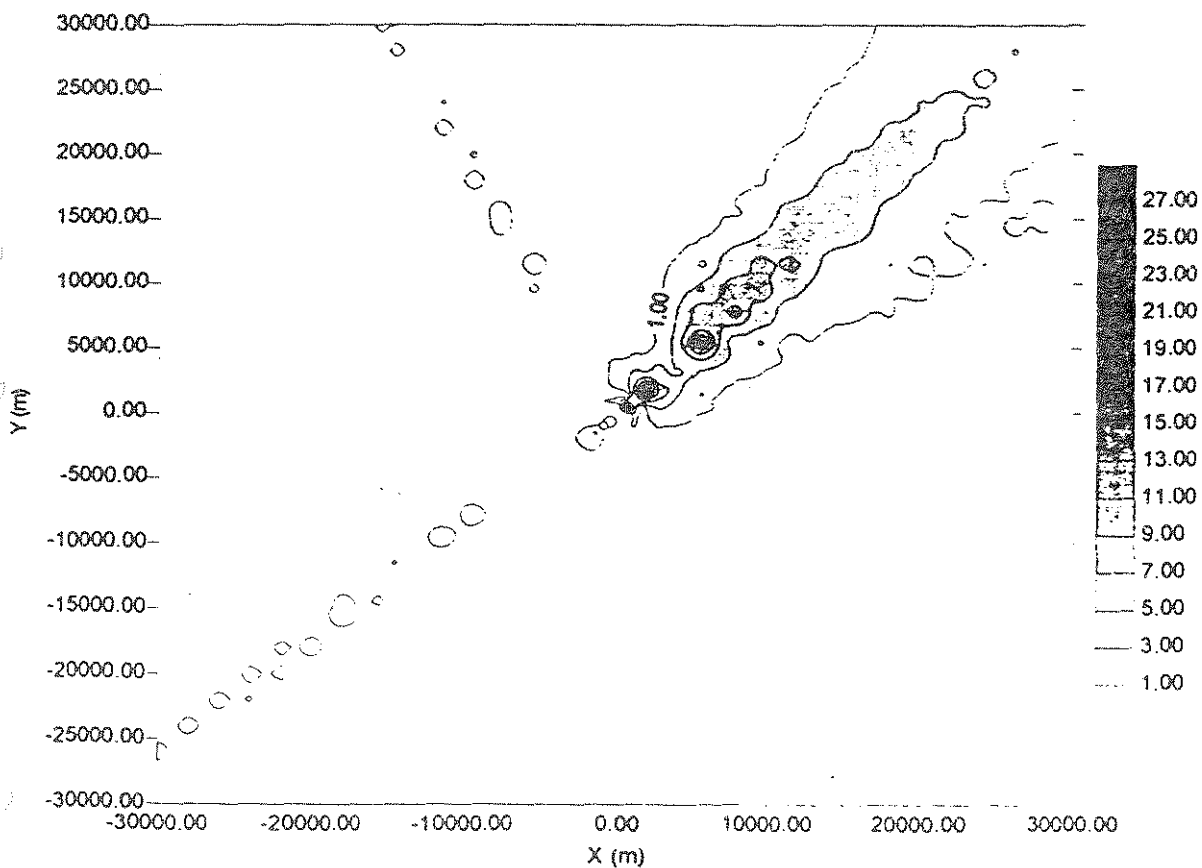




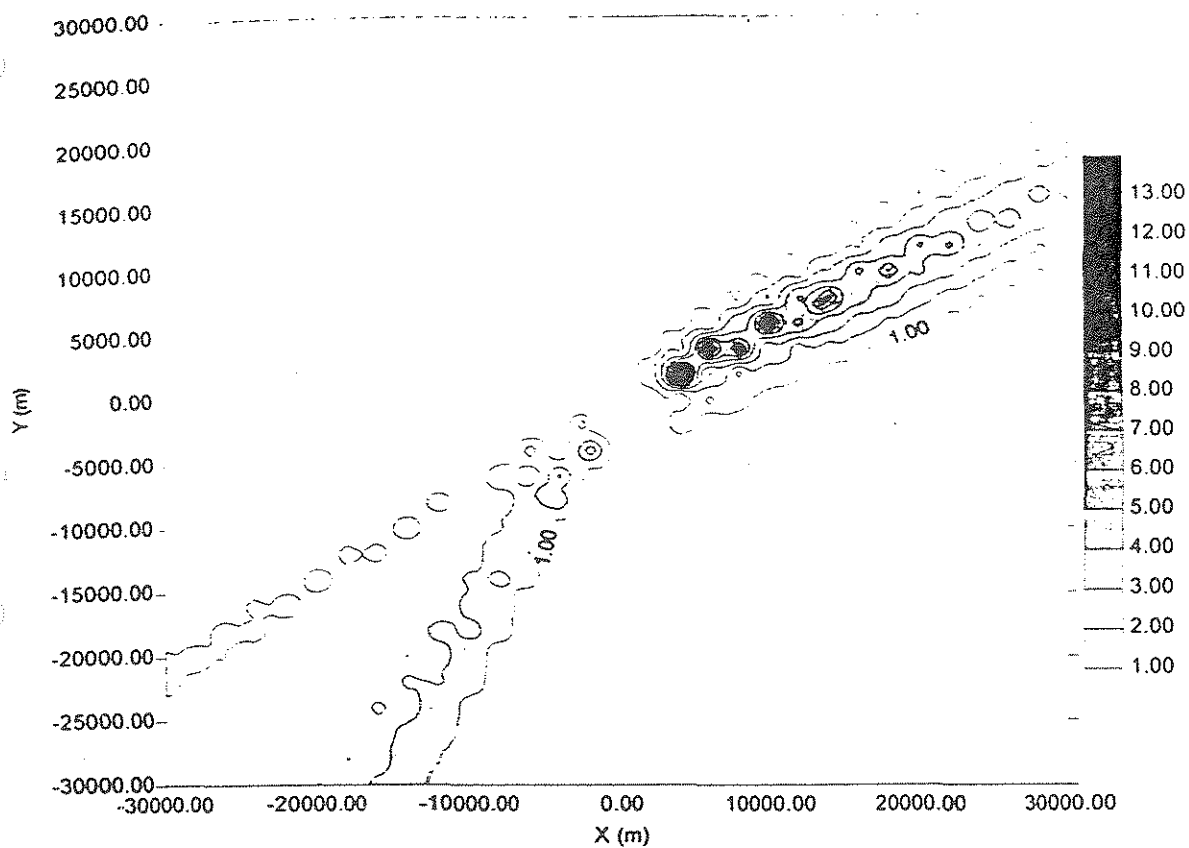
### 1.8.3 - Mapas das Simulações das Médias Diárias de Óxidos de Nitrogênio



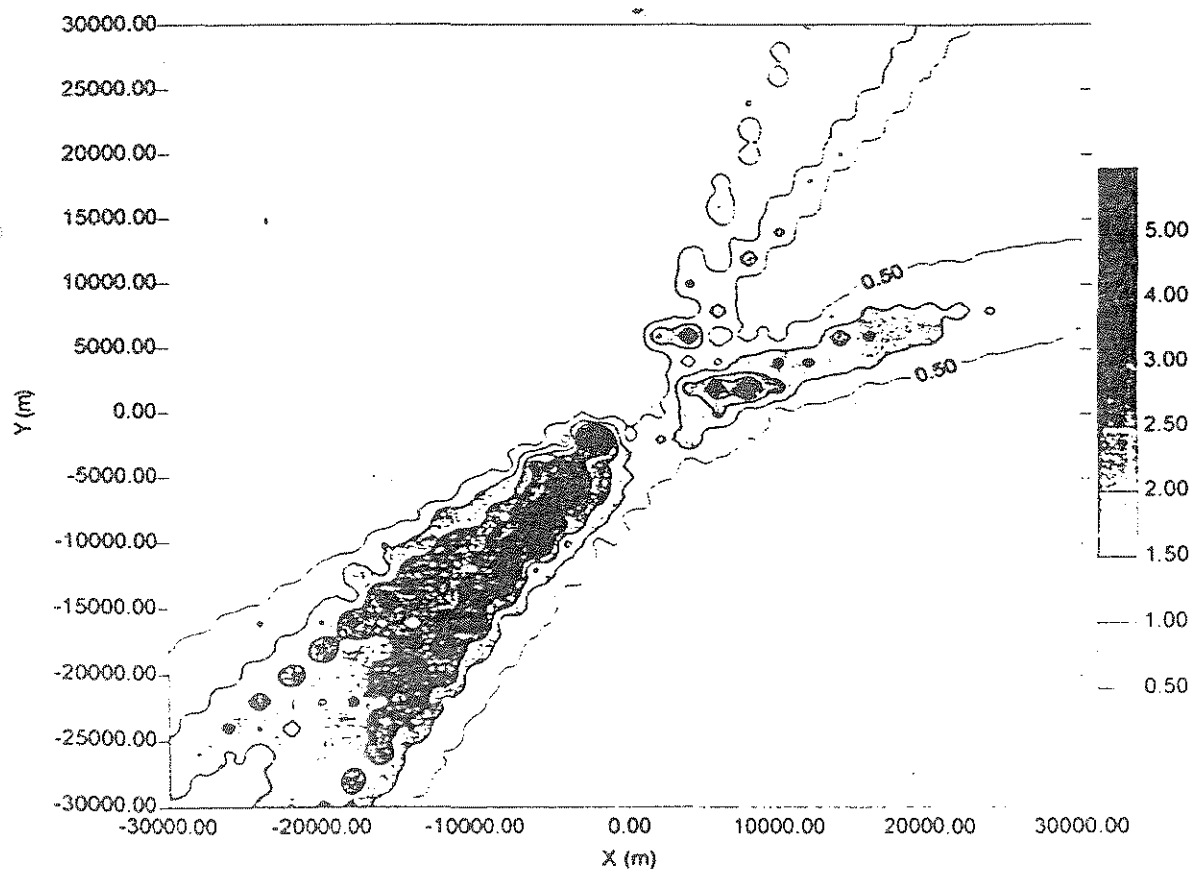
**NO<sub>x</sub>, DIA 21/07/94**



**NO<sub>x</sub>, DIA 22/07/94**

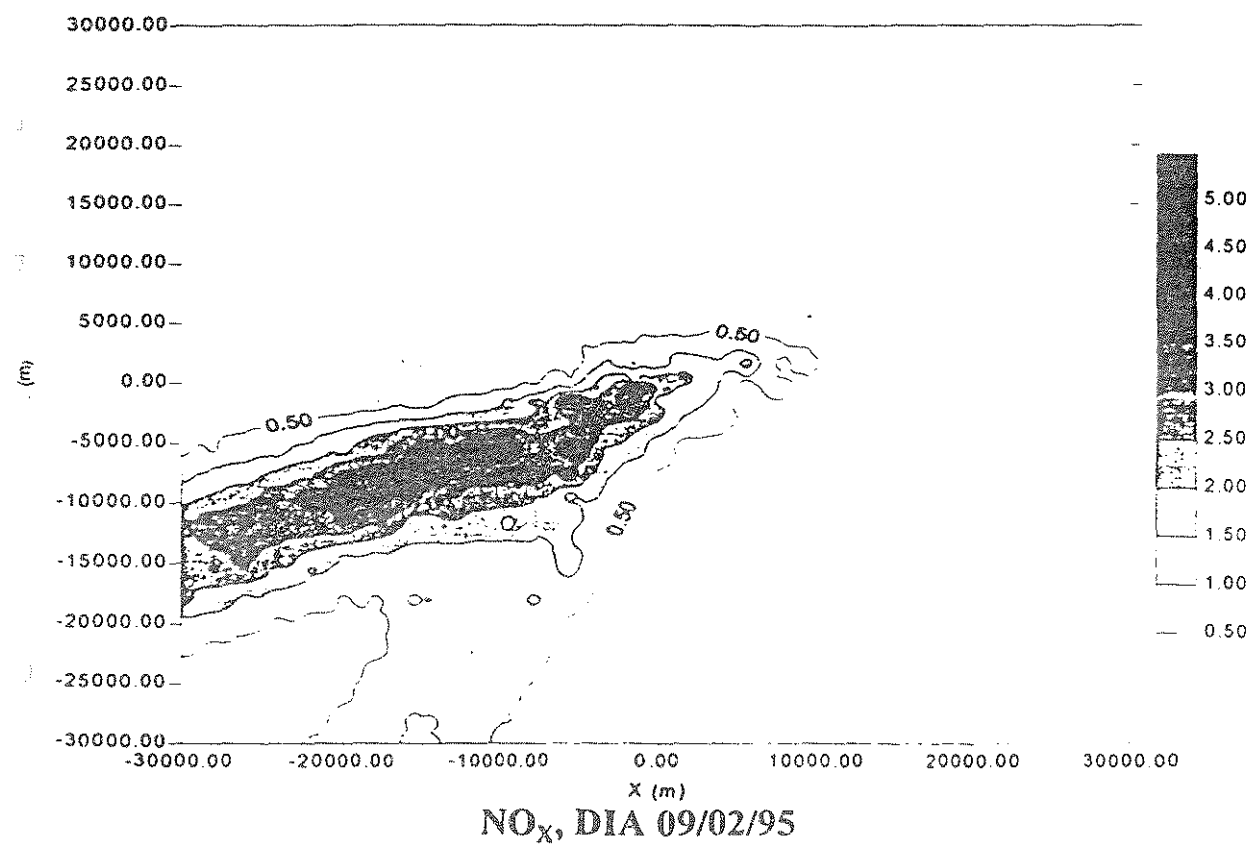
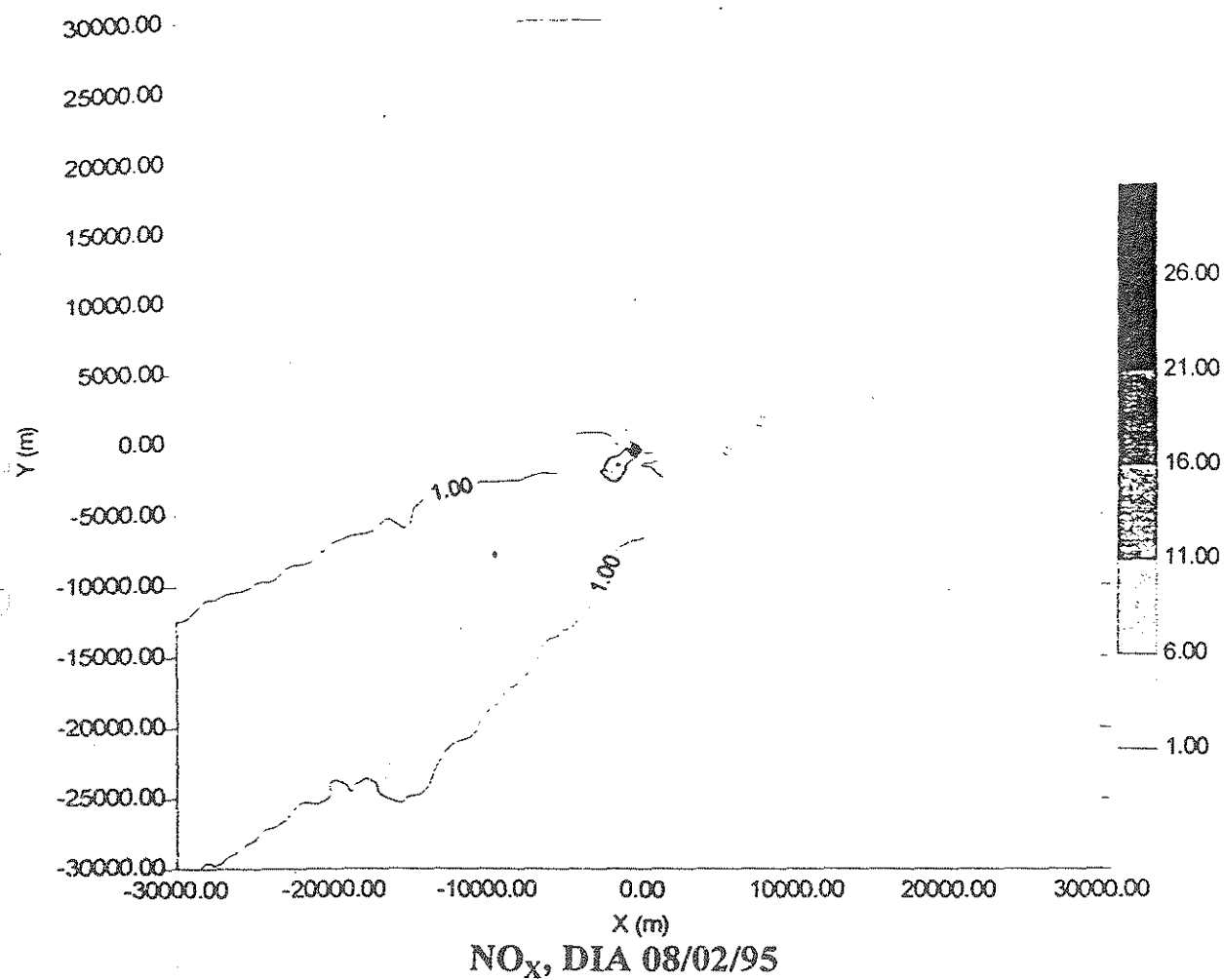


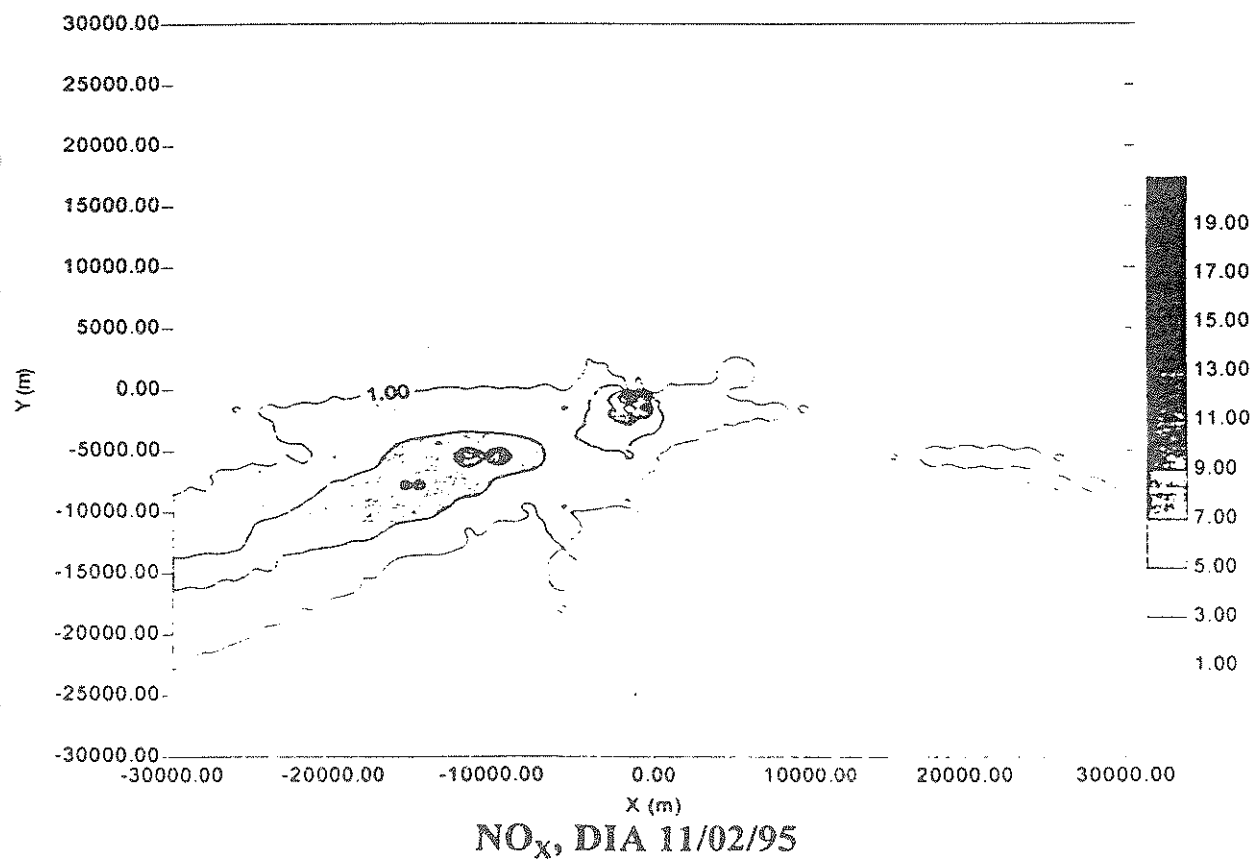
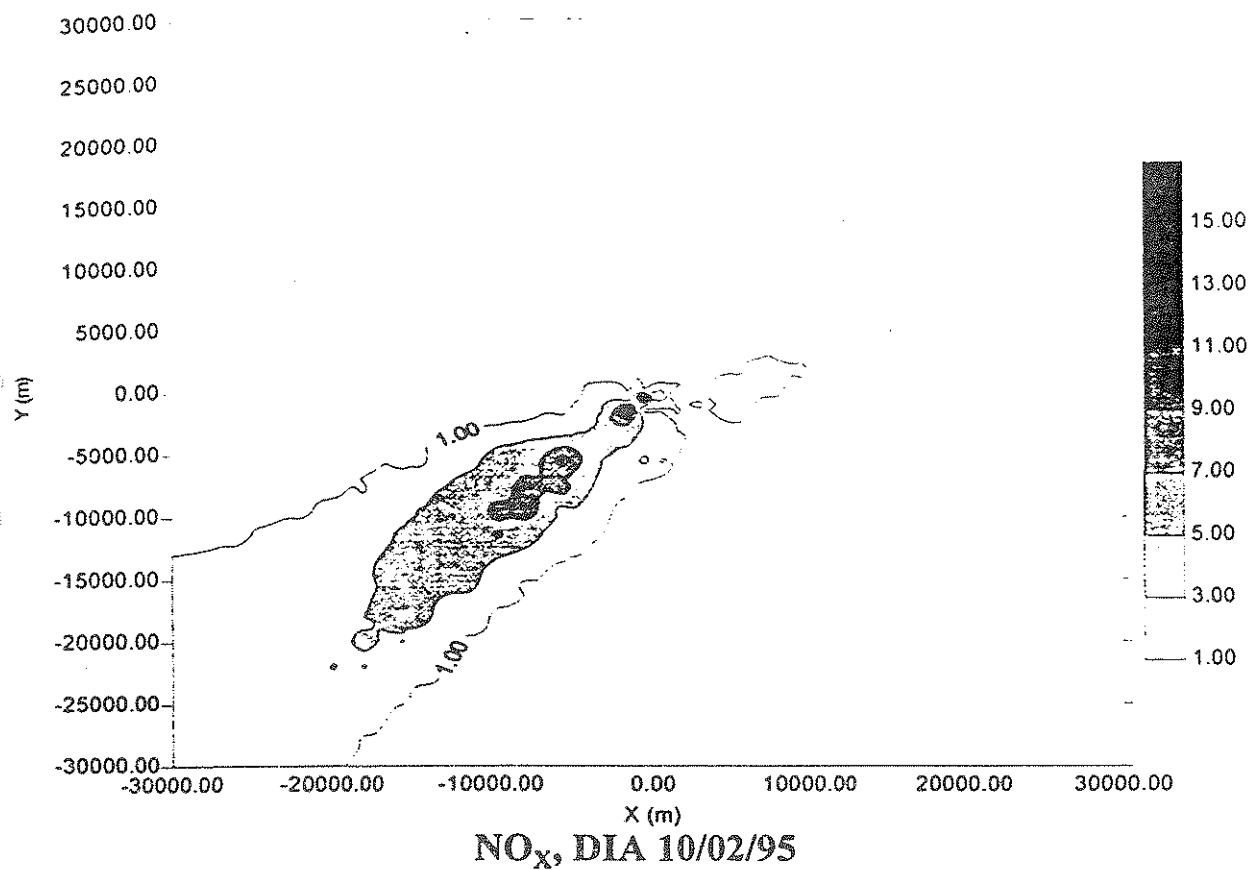
**NO<sub>x</sub>, DIA 23/07/94**

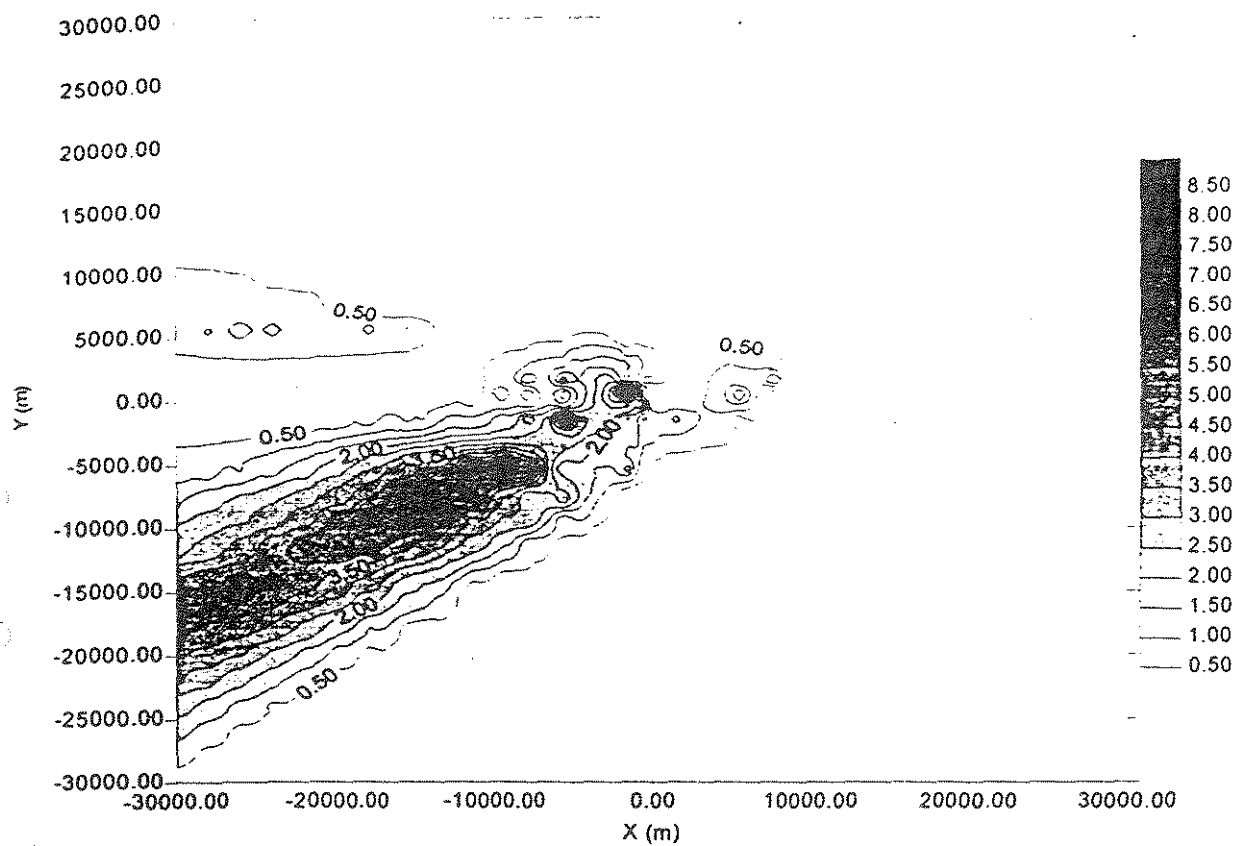


**NO<sub>x</sub>, DIA 25/07/94**

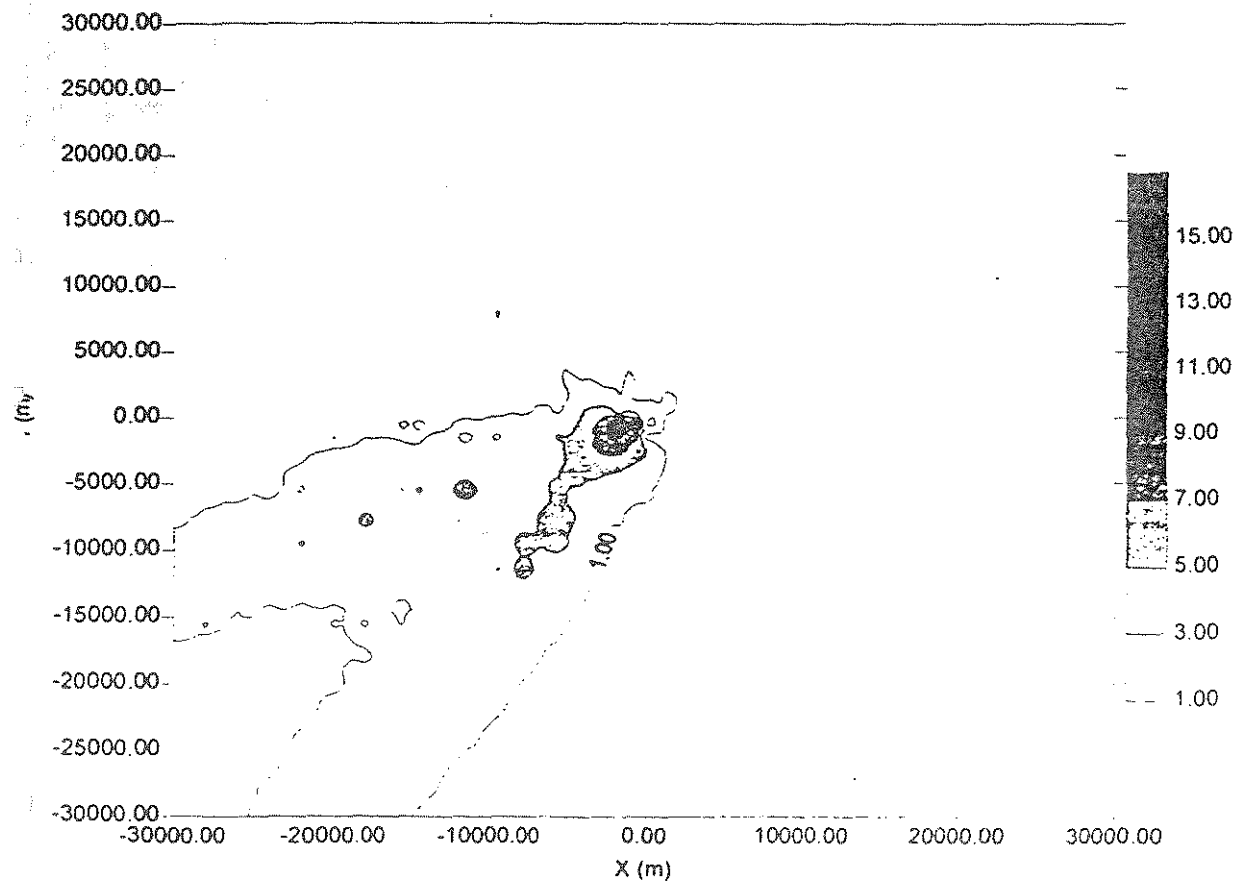






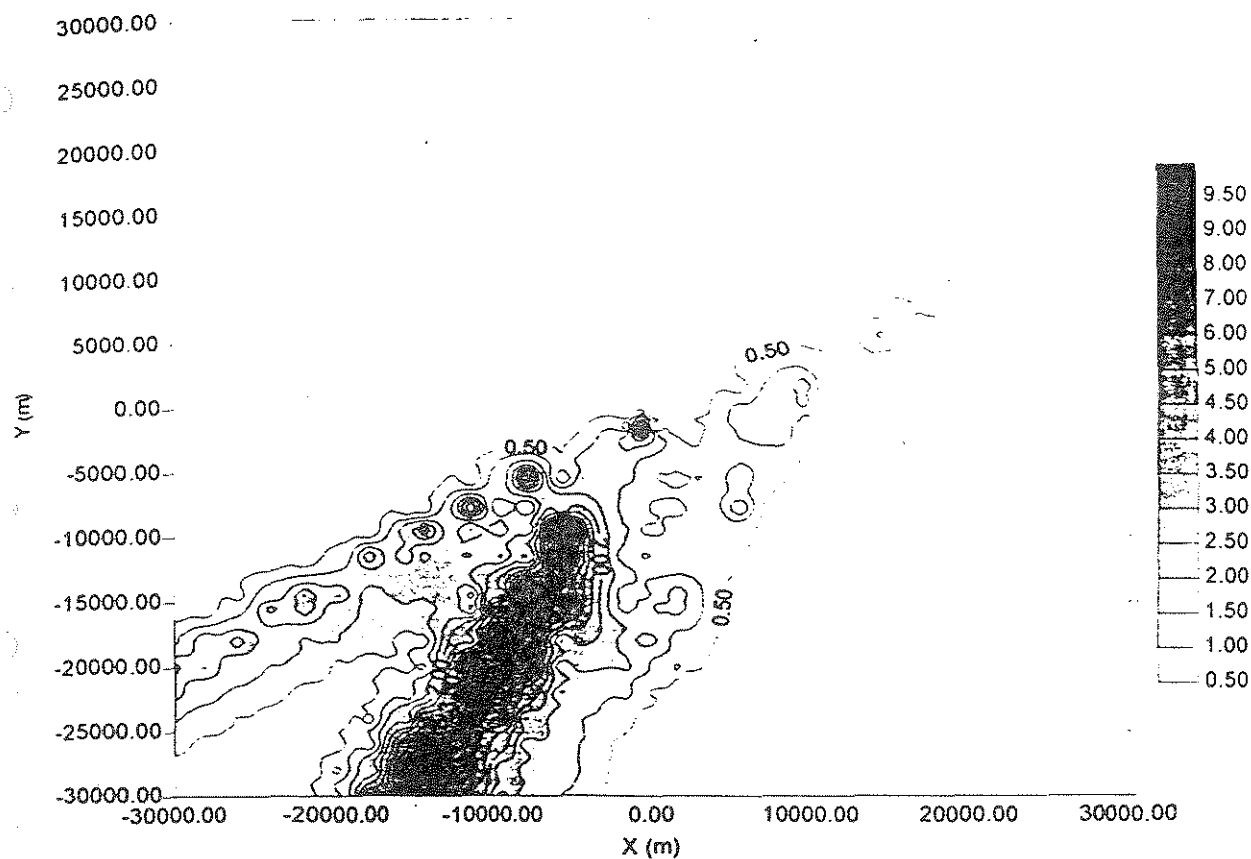


**NO<sub>x</sub>, DIA 12/02/95**

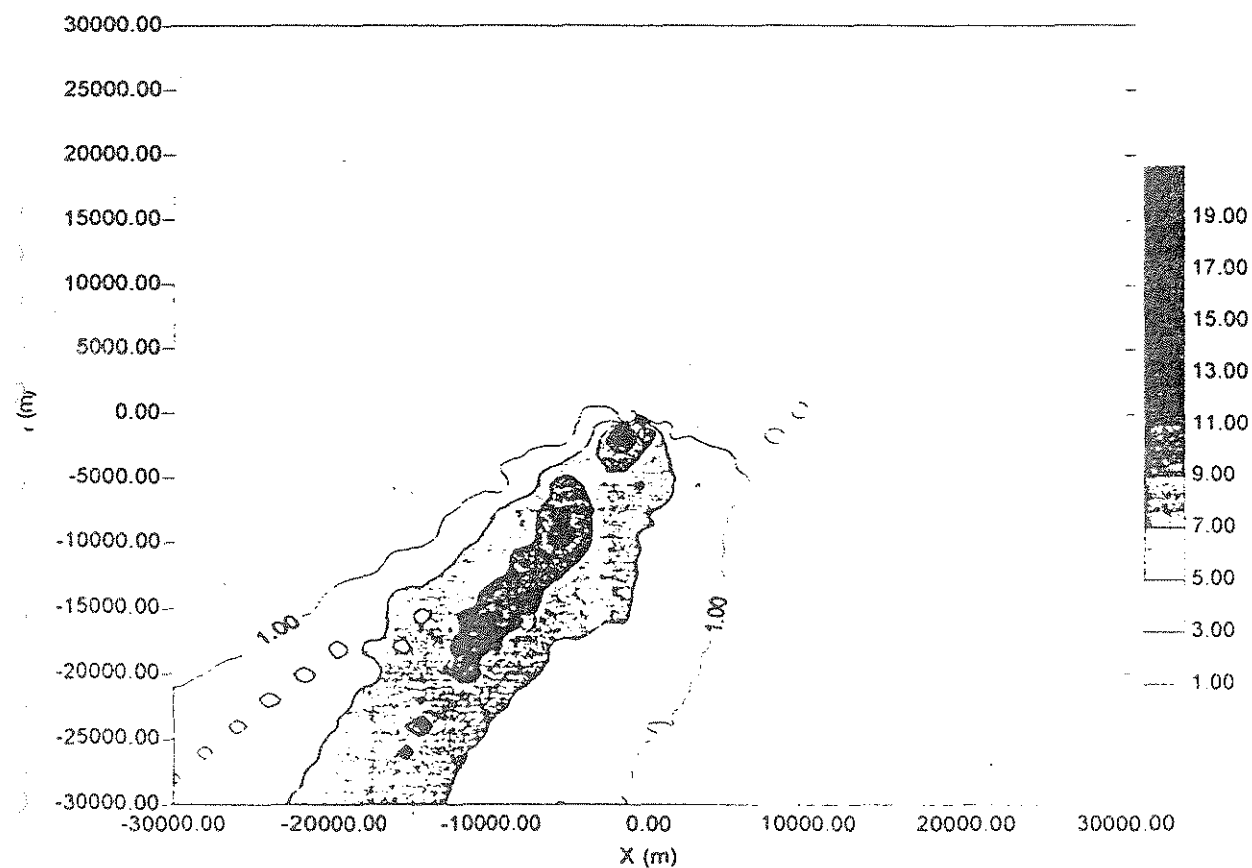


**NO<sub>x</sub>, DIA 13/02/95**

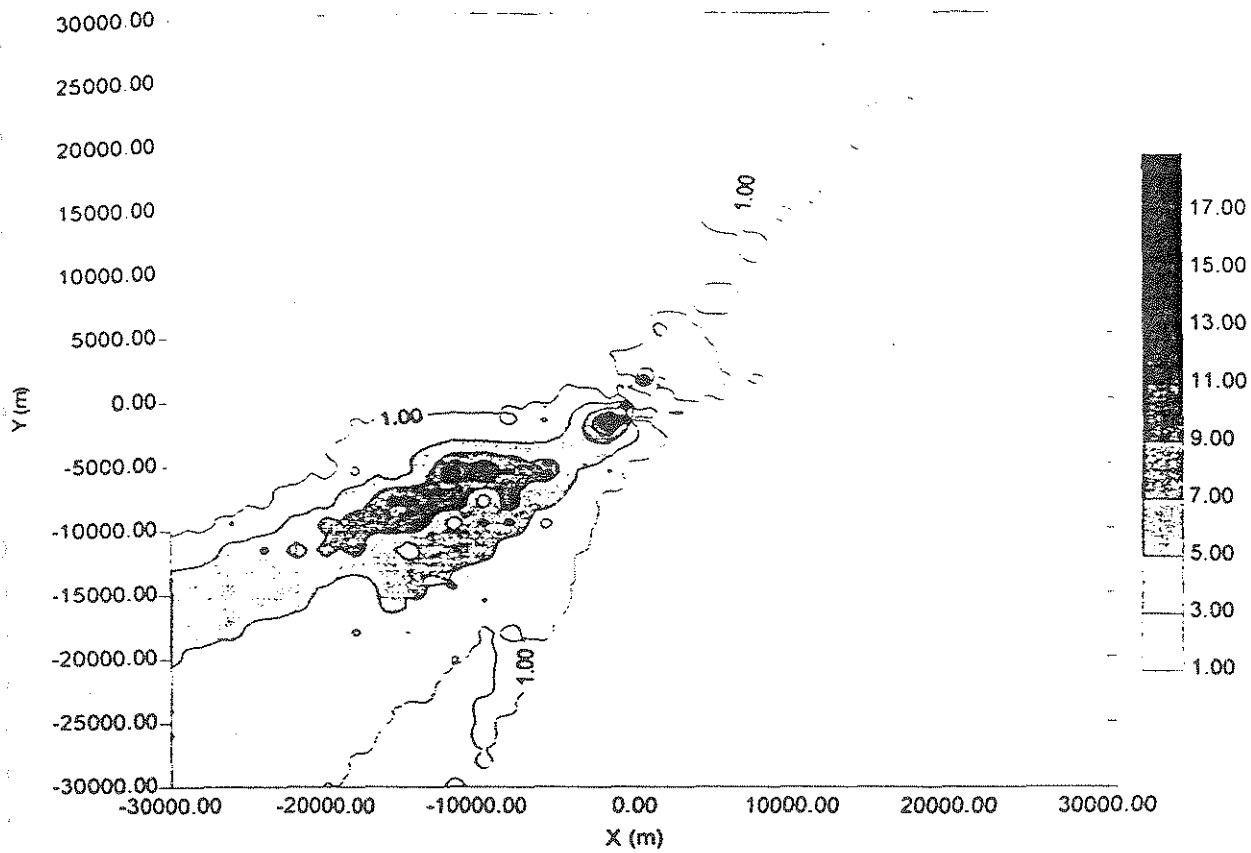




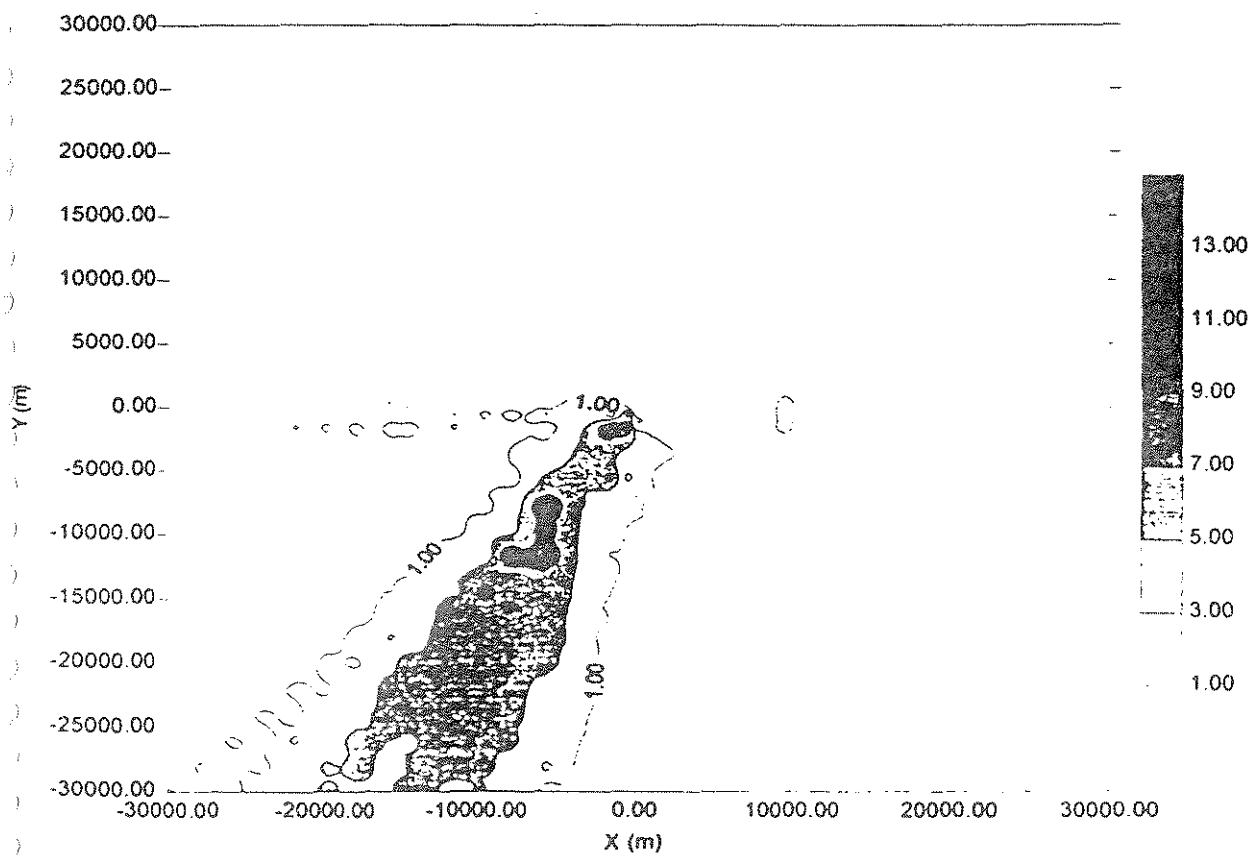
**NO<sub>x</sub>, DIA 23/05/95**



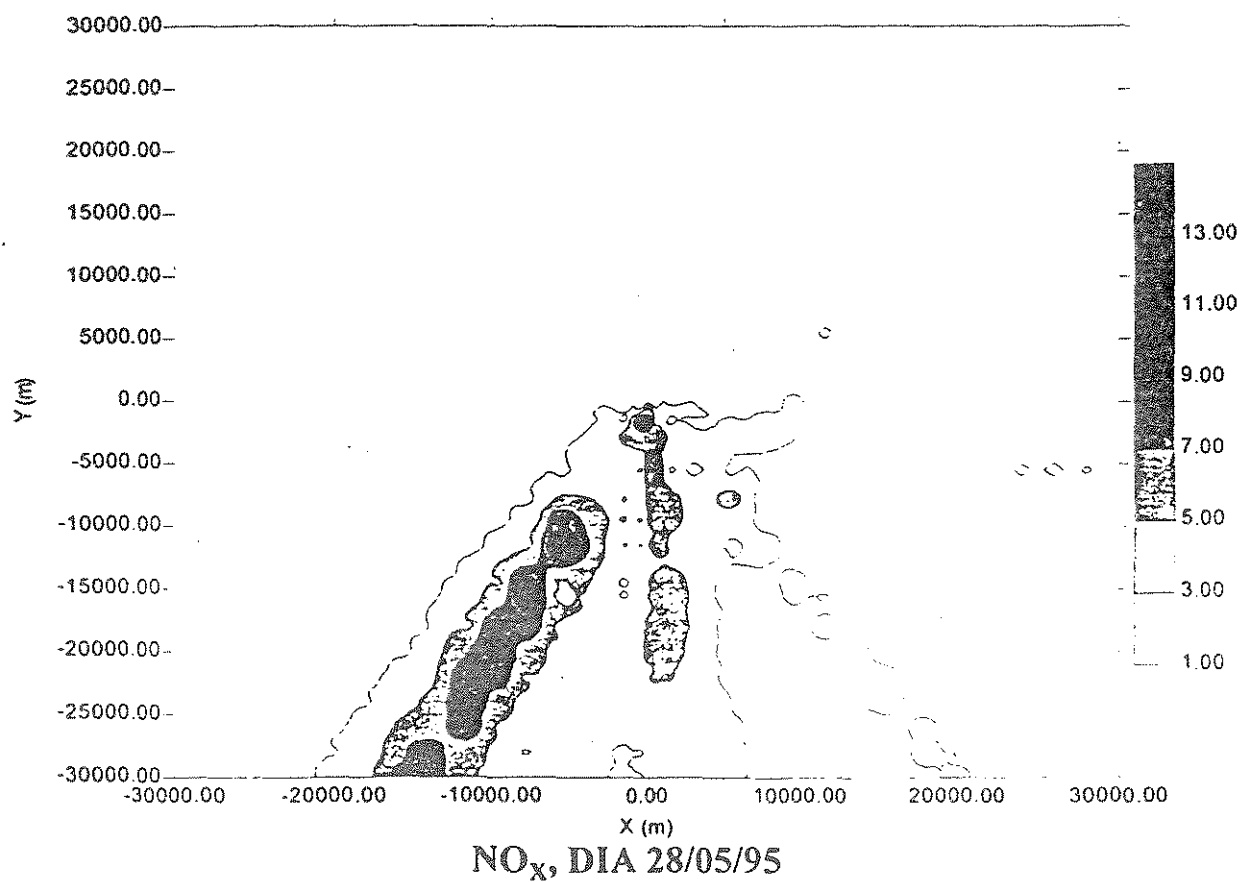
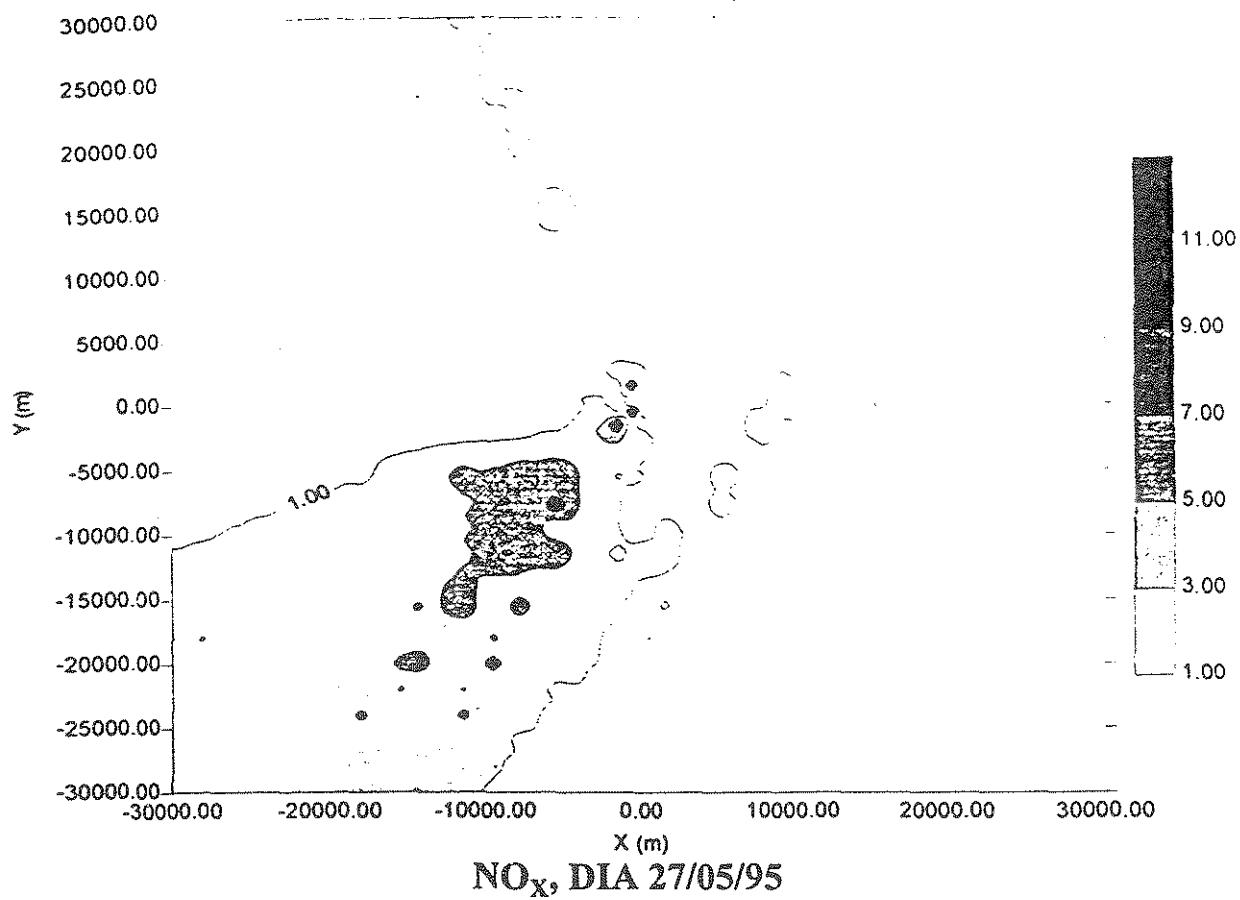
**NO<sub>x</sub>, DIA 24/05/95**

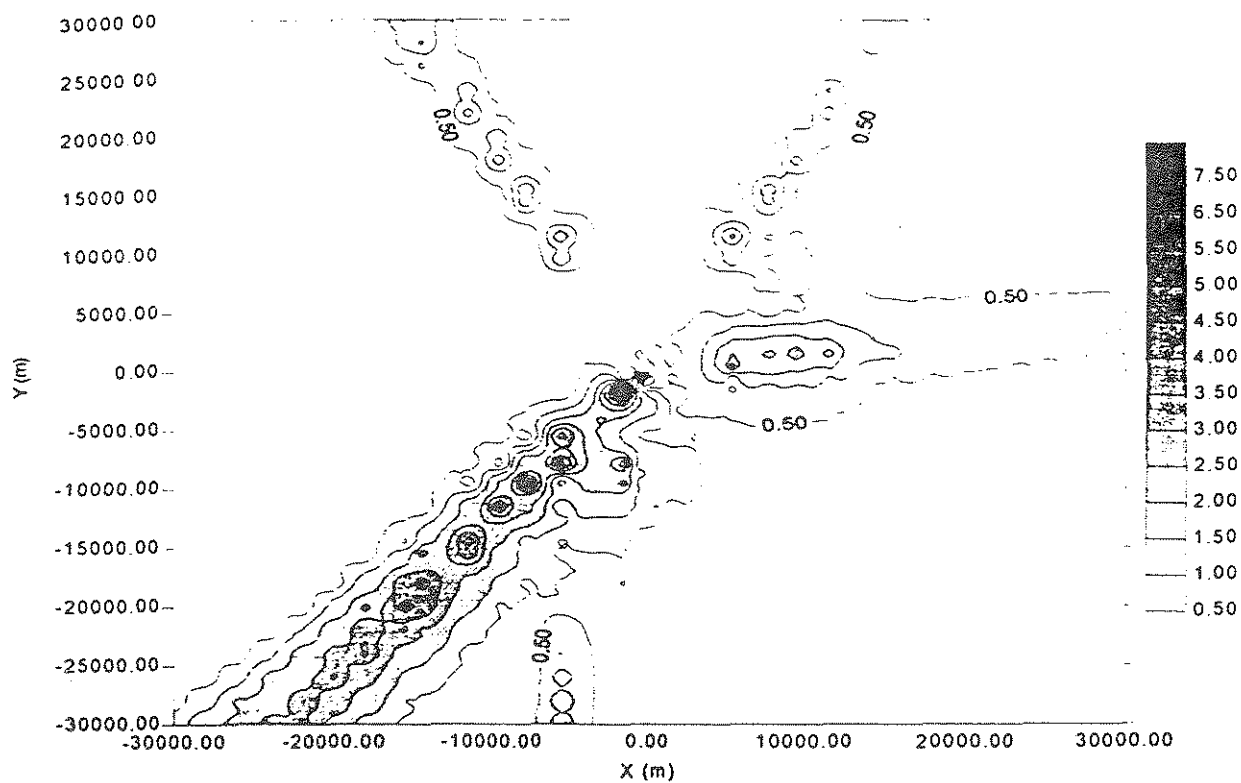


**NO<sub>x</sub>, DIA 25/05/95**

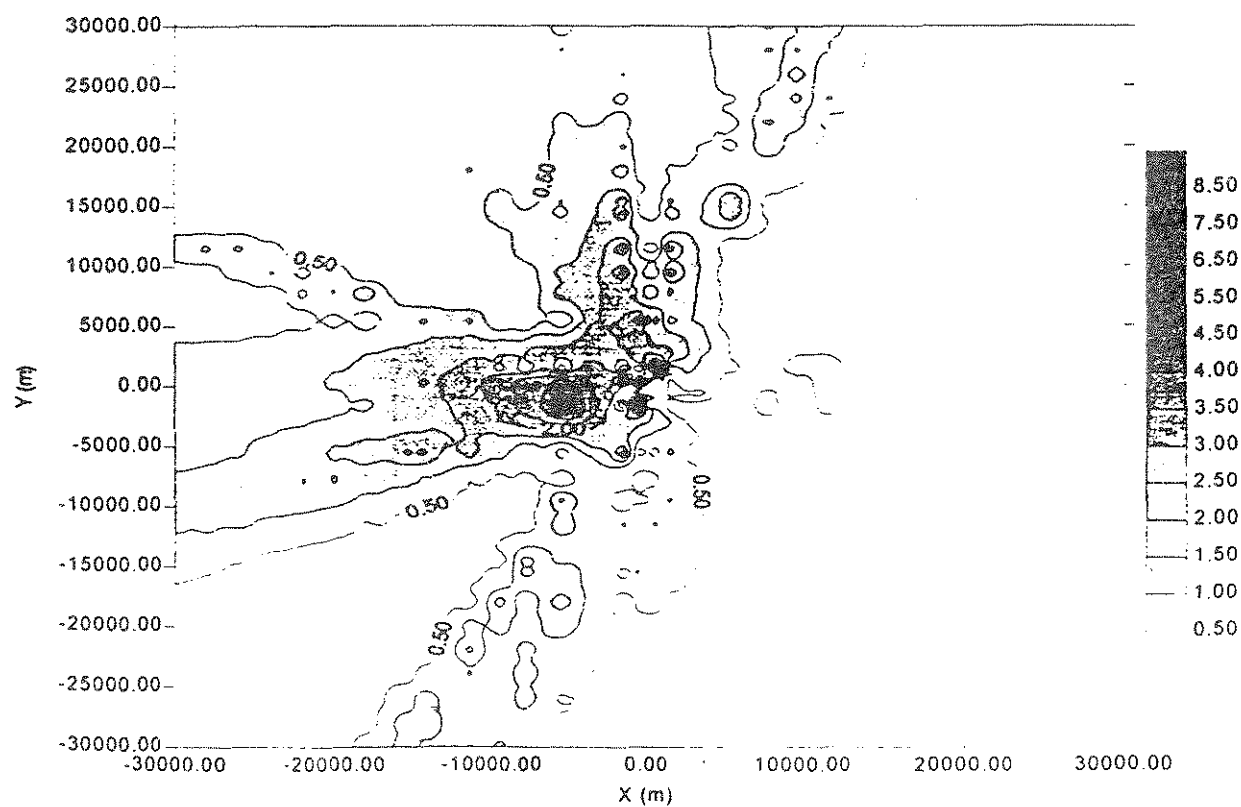


**NO<sub>x</sub>, DIA 26/05/95**



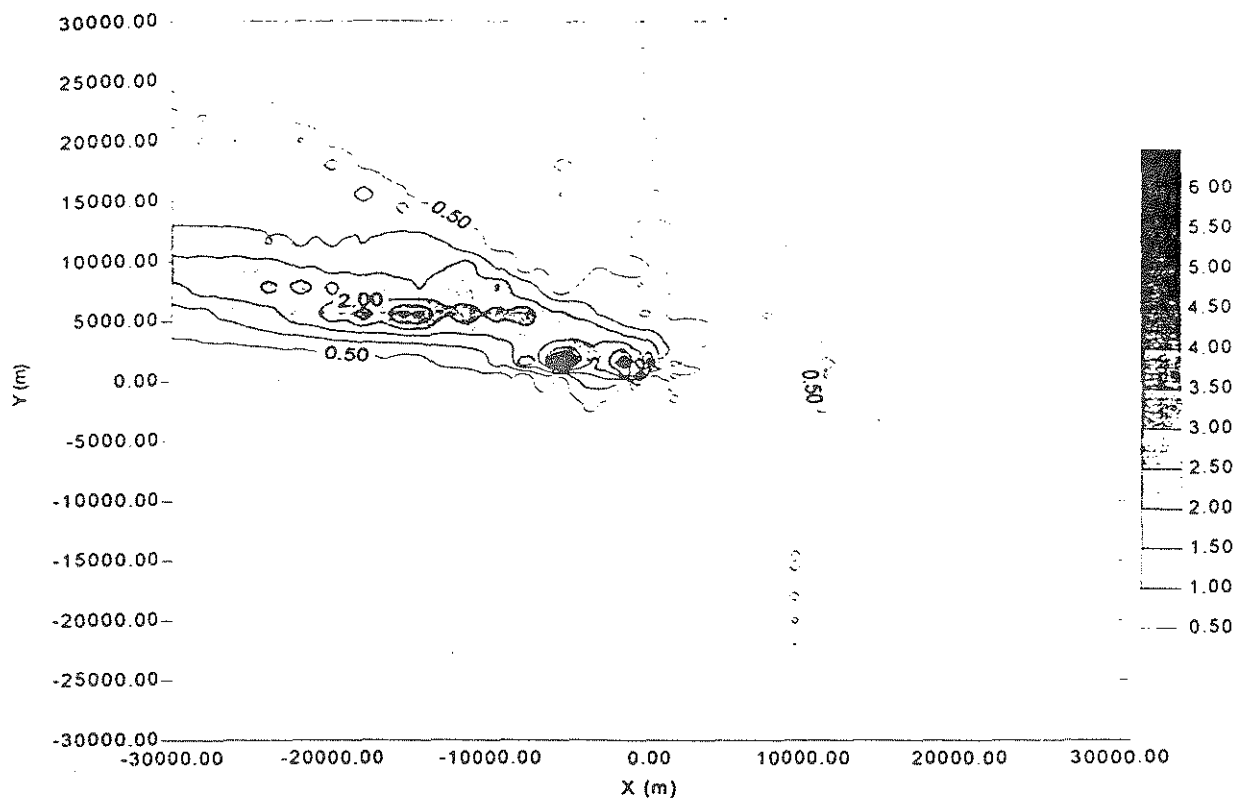


**NO<sub>x</sub>, DIA 08/11/95**

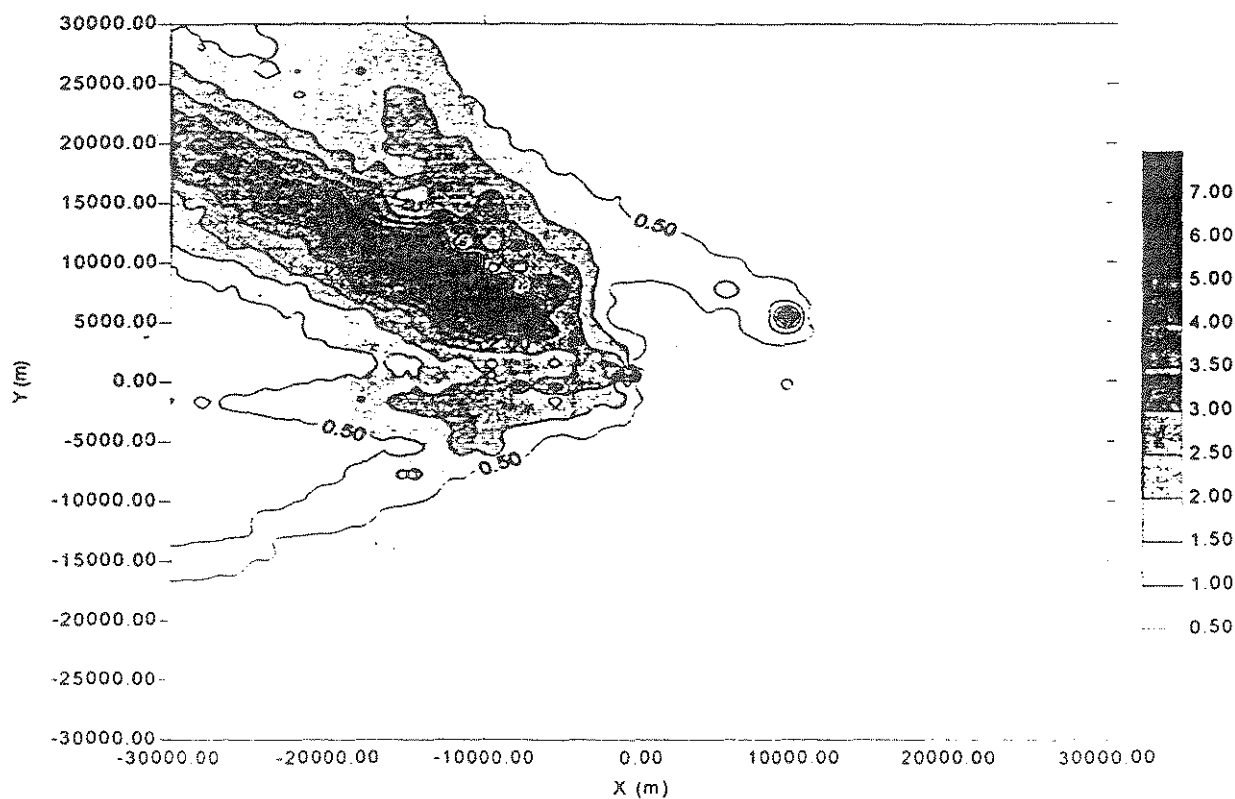


**NO<sub>x</sub>, DIA 09/11/95**





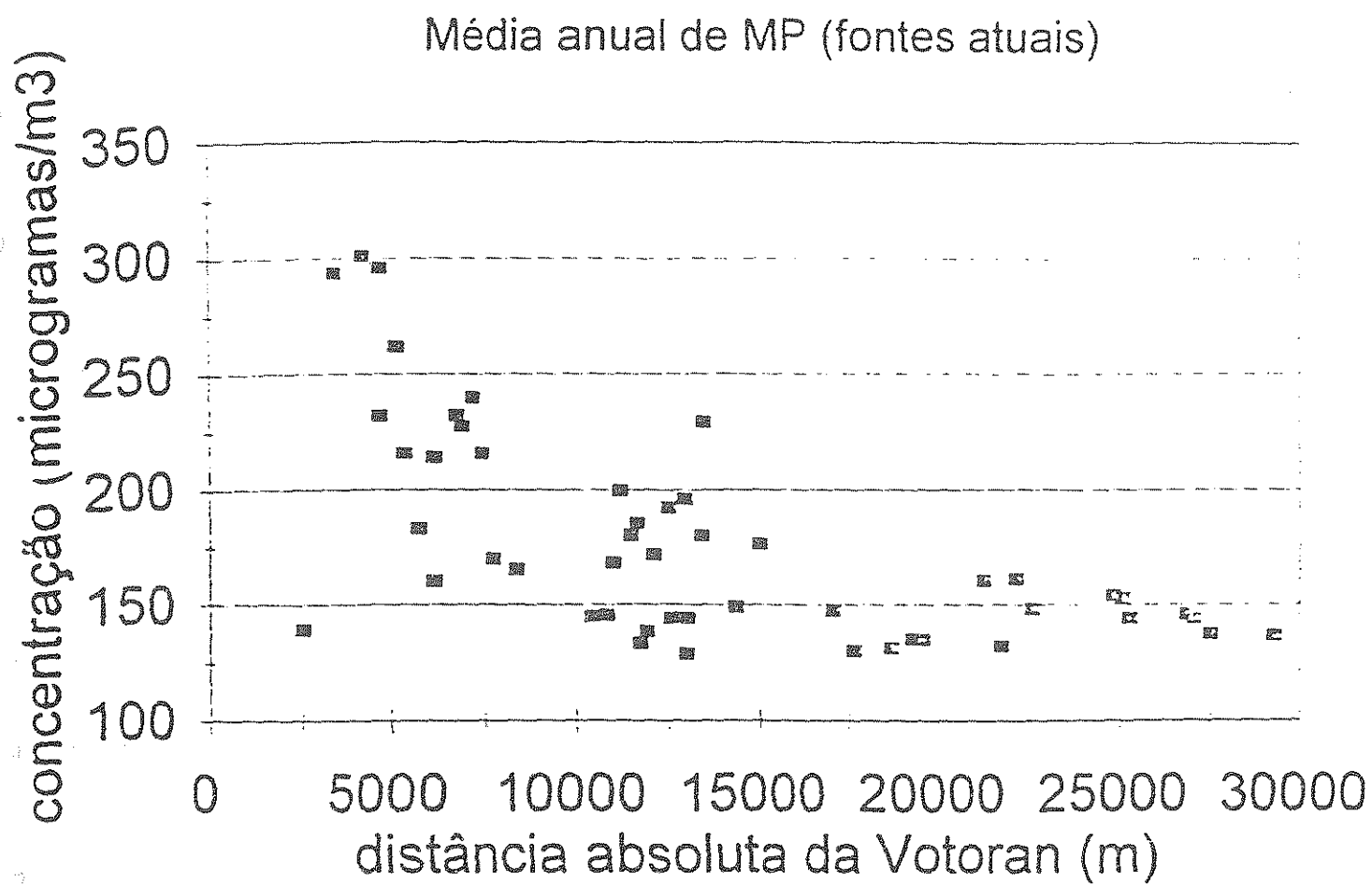
**NO<sub>x</sub>, DIA 12/11/95**



**NO<sub>x</sub>, DIA 13/11/95**



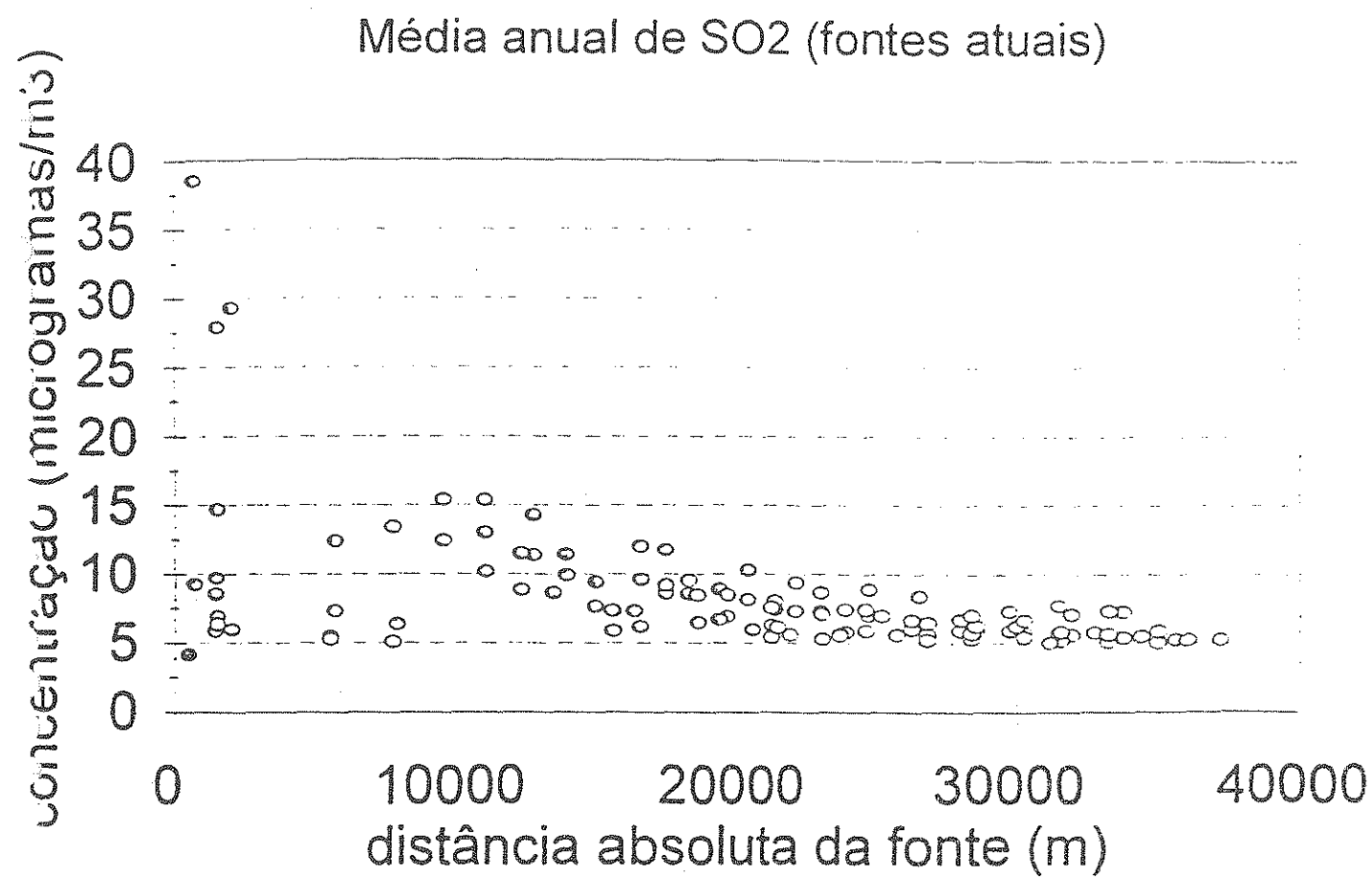
#### 1.8.4 - Gráficos e Tabelas Resultados das Simulações





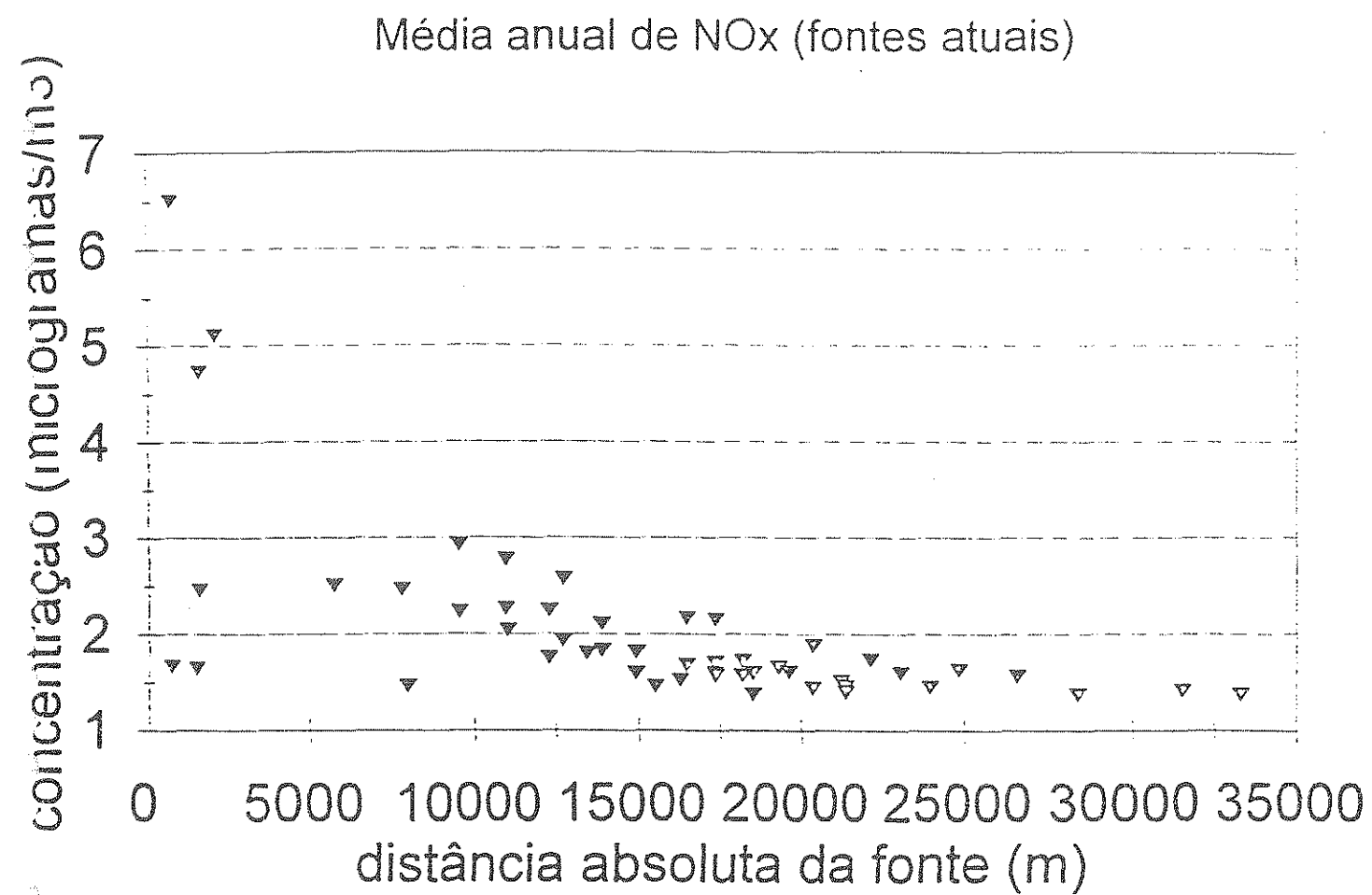
**MP, FONTES ATUAIS**  
**50 máximos de concentração em  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , médias anuais**

| máximos | X (m) | Y (m)  | concentração | máximos | X (m) | Y (m)  | concentração |
|---------|-------|--------|--------------|---------|-------|--------|--------------|
| 1       | 9500  | 500    | 300,8494     | 26      | 1500  | -14500 | 160,8937     |
| 2       | 9500  | 0      | 295,808      | 27      | 9500  | -1500  | 160,2975     |
| 3       | 9500  | 1500   | 293,6732     | 28      | 500   | -18000 | 154,1979     |
| 4       | 9500  | -500   | 262,2586     | 29      | 0     | -18000 | 152,8522     |
| 5       | 5500  | 500    | 239,87       | 30      | -1500 | -1500  | 149,2907     |
| 6       | 7800  | 1500   | 232,1555     | 31      | 500   | -15500 | 148,3495     |
| 7       | 5500  | 1500   | 232,1275     | 32      | 1500  | -9500  | 147,3613     |
| 8       | 5500  | -7800  | 229,1718     | 33      | 0     | -20000 | 145,7537     |
| 9       | 7800  | -1500  | 227,2715     | 34      | 7800  | -5500  | 144,9675     |
| 10      | 7800  | 500    | 215,7065     | 35      | -500  | -500   | 144,3897     |
| 11      | 5500  | 0      | 215,481      | 36      | -500  | -18000 | 144,3336     |
| 12      | 7800  | -500   | 213,9597     | 37      | 0     | -500   | 144,2228     |
| 13      | 1500  | -500   | 199,4233     | 38      | -500  | -20000 | 144,0795     |
| 14      | 0     | -1500  | 195,8692     | 39      | -1500 | -20000 | 137,814      |
| 15      | 500   | -1500  | 192,1522     | 40      | -1500 | -22000 | 136,7124     |
| 16      | 1500  | -1500  | 185,5663     | 41      | 500   | 500    | 133,6624     |
| 17      | 7800  | 0      | 183,1848     | 42      | 1500  | 500    | 145,742      |
| 18      | 5500  | -5500  | 180,1353     | 43      | 9500  | 5500   | 139,3945     |
| 19      | -500  | -1500  | 179,8537     | 44      | 500   | 0      | 138,8901     |
| 20      | 5500  | -9500  | 176,3923     | 45      | 0     | -11500 | 135,2445     |
| 21      | 500   | -500   | 171,8279     | 46      | 500   | -11500 | 135,1777     |
| 22      | 5500  | -500   | 169,9259     | 47      | 500   | -14500 | 132,2218     |
| 23      | 1500  | 0      | 168,4259     | 48      | 1500  | -11500 | 131,6915     |
| 24      | 5500  | -1500  | 165,4962     | 49      | 500   | -9500  | 130,3788     |
| 25      | 1500  | -15500 | 161,5067     | 50      | 3000  | -5500  | 129          |



**SO<sub>2</sub>, FONTES ATUAIS**  
**50 máximos de concentração em µg/m<sup>3</sup>, médias anuais**

| máximos | x(m)   | y(m)   | C(mi/m3) | máximos | x(m)   | y(m)   | C(mi/m3) |
|---------|--------|--------|----------|---------|--------|--------|----------|
| 1       | -500   | -500   | 38,49653 | 26      | -9500  | -14500 | 9,178871 |
| 2       | -1500  | -1500  | 29,32657 | 27      | -15500 | -7800  | 9,119637 |
| 3       | -500   | -1500  | 27,90835 | 28      | -11500 | -22000 | 8,891879 |
| 4       | -5500  | -7800  | 15,41909 | 29      | -11500 | -15500 | 8,842957 |
| 5       | -5500  | -9500  | 15,3688  | 30      | -9500  | -7800  | 8,802546 |
| 6       | -1500  | -500   | 14,70042 | 31      | -11500 | -20000 | 8,663447 |
| 7       | -5500  | -11500 | 14,24885 | 32      | -9500  | -9500  | 8,642637 |
| 8       | -5500  | -5500  | 13,42644 | 33      | -14500 | -9500  | 8,596619 |
| 9       | -9500  | -5500  | 12,97549 | 34      | -15500 | -9500  | 8,535667 |
| 10      | -7800  | -5500  | 12,41085 | 35      | 0      | 1500   | 8,565989 |
| 11      | -1500  | -5500  | 12,37983 | 36      | 0      | 1500   | 8,530114 |
| 12      | -7800  | -14500 | 12,00872 | 37      | -7800  | -18000 | 8,454749 |
| 13      | -7800  | -15500 | 11,72103 | 38      | -11500 | -14500 | 8,44864  |
| 14      | -7800  | -9500  | 11,47163 | 39      | -11500 | -24000 | 8,414175 |
| 15      | -7800  | -11500 | 11,39304 | 40      | -11500 | -18000 | 8,01662  |
| 16      | -11500 | -5500  | 11,33963 | 41      | -18000 | -9500  | 8,144855 |
| 17      | -9500  | -18000 | 10,27404 | 42      | -14500 | -28000 | 7,709944 |
| 18      | -7800  | -7800  | 10,16685 | 43      | -5500  | -14500 | 7,393111 |
| 19      | -11500 | -7800  | 9,884311 | 44      | -14500 | -26000 | 7,323641 |
| 20      | 0      | -1500  | 9,696236 | 45      | -14500 | -30000 | 7,328695 |
| 21      | -14500 | -7800  | 9,599973 | 46      | -20000 | -9500  | 7,306938 |
| 22      | -9500  | -15500 | 9,549024 | 47      | -15500 | -30000 | 7,291398 |
| 23      | -9500  | -11500 | 9,403167 | 48      | -15500 | -28000 | 7,081611 |
| 24      | -9500  | -20000 | 9,380566 | 49      | -14500 | -18000 | 7,070841 |
| 25      | 500    | 500    | 9,233078 | 50      | -16000 | -21000 | 7        |



# NO<sub>x</sub>, FONTES ATUAIS

50 máximos de concentração em µg/m<sup>3</sup>, médias anuais

| máximos | X (m)  | Y (m)  | concentração | máximos | X (m)  | Y (m)  | concentração |
|---------|--------|--------|--------------|---------|--------|--------|--------------|
| 1       | -500   | -500   | 6,510927     | 26      | -14500 | -7800  | 1,685769     |
| 2       | -1500  | -1500  | 5,119893     | 27      | 500    | 500    | 1,678379     |
| 3       | -500   | -1500  | 4,733336     | 28      | -11500 | -15500 | 1,665034     |
| 4       | -5500  | -7800  | 2,927408     | 29      | 0      | -1500  | 1,651348     |
| 5       | -5500  | -9500  | 2,775331     | 30      | -11500 | -22000 | 1,63567      |
| 6       | -5500  | -11500 | 2,575897     | 31      | -7800  | -18000 | 1,6206       |
| 7       | -1500  | -5500  | 2,507642     | 32      | -11500 | -20000 | 1,607228     |
| 8       | -5500  | -5500  | 2,472049     | 33      | -14500 | -9500  | 1,606968     |
| 9       | -1500  | -500   | 2,462559     | 34      | -11500 | -14500 | 1,606608     |
| 10      | -9500  | -5500  | 2,264836     | 35      | -11500 | -9500  | 1,600919     |
| 11      | -7800  | -9500  | 2,241839     | 36      | -15500 | -7800  | 1,576813     |
| 12      | -7800  | -5500  | 2,233239     | 37      | -15500 | -9500  | 1,576233     |
| 13      | -7800  | -14500 | 2,16912      | 38      | -11500 | -24000 | 1,574033     |
| 14      | -7800  | -15500 | 2,157388     | 39      | -11500 | -11500 | 1,529965     |
| 15      | -7800  | -11500 | 2,108113     | 40      | -15500 | -14500 | 1,516655     |
| 16      | -7800  | -7800  | 2,047382     | 41      | -1500  | -7800  | 1,46923      |
| 17      | -11500 | -5500  | 1,932074     | 42      | -5500  | -14500 | 1,466232     |
| 18      | -9500  | -18000 | 1,893836     | 43      | -11500 | -18000 | 1,466209     |
| 19      | -11500 | -7800  | 1,837646     | 44      | -9500  | -22000 | 1,461631     |
| 20      | -9500  | -11500 | 1,815059     | 45      | -18000 | -9500  | 1,45237      |
| 21      | -9500  | -9500  | 1,806707     | 46      | -14500 | -28000 | 1,424456     |
| 22      | -9500  | -7800  | 1,761637     | 47      | -18000 | -11500 | 1,400829     |
| 23      | -9500  | -20000 | 1,739419     | 48      | -11500 | -26000 | 1,383595     |
| 24      | -9500  | -15500 | 1,730774     | 49      | -14500 | -30000 | 1,378844     |
| 25      | -9500  | -14500 | 1,712146     | 50      | -14500 | -11500 | 1,378626     |