

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
CENTRO ESTADUAL DE PESQUISA EM SENSORIAMENTO REMOTO E
METEOROLOGIA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO**

**ESTUDO DA DISPERSÃO DE MATERIAL
PARTICULADO (PTS),
EMITIDO PELA USINA TERMELÉTRICA DE
CHARQUEADAS**

RITA CLARICE MACHADO TISSOT

Orientadora: Prof^a Dr^a Rita de Cássia Marques Alves

Porto Alegre (RS), Outubro de 2010.

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau Mestre em Sensoriamento Remoto, área de concentração Sensoriamento Remoto Aplicado a Recursos Naturais e do Meio Ambiente.

RESUMO	ii
ABSTRACT	iii
AGRADECIMENTOS	iv
LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE TABELAS	vi
CAPÍTULO I	1
1.1 INTRODUÇÃO.....	1
1.2 OBJETIVOS.....	3
1.3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
CAPÍTULO II	8
MATERIAIS E MÉTODOS	8
2.1. REGIÃO DE ESTUDO	8
2.2. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA.....	11
2.3. METEOROLOGIA NA REGIÃO.....	13
2.4. A USINA TERMELÉTRICA	13
2.4.1 Descrição do Processo	14
2.4.2 Alternativas Tecnológicas de Controle Ambiental	16
2.5 PADRÕES DE EMISSÃO PARA POLUENTES ATMOSFÉRICOS	21
CAPÍTULO III	25
POLUENTES ATMOSFÉRICOS E PADRÕES DE QUALIDADE DO AR	25
3.1 POLUENTES ATMOSFÉRICOS	25
3.1.1 Material Particulado.....	26
3.1.2 Dióxido de Enxofre	28
3.1.3 Monóxido de Carbono	29
3.1.4 Compostos Orgânicos voláteis (VOC'S)	29
3.1.5 Oxidantes Fotoquímicos.....	30
3.1.6 Ozônio.....	31
3.2. PADRÕES DE QUALIDADE DO AR	31
3.3. LEGISLAÇÃO ESTADUAL	36
CAPITULO IV	40
CAMADA LIMITE PLANETÁRIA	40
4.1 ESTRUTURA DA CAMADA LIMITE PLANETÁRIA	40
4.2 DISPERSÃO DE POLUENTES	42
4.3 ESTABILIDADE ATMOSFÉRICA	43
CAPITULO V	44
MODELO DE DISPERSÃO ATMOSFÉRICA	44
5.1 MODELO DE PLUMA GAUSSIANA	45
5.2 APLICAÇÃO DO MODELO GAUSSIANO ISCST 3.....	50
5.3 CLASSE DE ESTABILIDADE	51
CAPITULO VI	52
MONITORAMENTO AMBIENTAL NA REGIÃO DE INFLUÊNCIA DA TERMELÉTRICA	52
6.1 HISTÓRICO AMBIENTAL DA USINA TRACTEBEL ENERGIA.....	52
6.2 PARÂMETROS MONITORADOS.....	53

6.3 ANALISADORES DE GÁS	53
6.4 MEDIDORES DE PARTICULADOS	56
6.5 SENSORES METEOROLÓGICOS.....	58
CAPITULO VII.....	60
RESULTADOS.....	60
7.1 APRESENTAÇÃO DADOS DE EMISSÃO E QUALIDADE DO AR	60
7.2 DADOS DE EMISSÃO DA USINA TERMELÉTRICA	61
7.3 DADOS DE QUALIDADE DO AR	62
7.4 DADOS METEOROLÓGICOS.....	65
7.5 RESULTADOS DA MODELAGEM	67
CAPÍTULO VIII.....	73
CONCLUSÕES	73
PERSPECTIVAS FUTURAS.....	74
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
ANEXOS	81

RESUMO

O Objetivo deste trabalho é estudar a dispersão do poluente material particulado (PTS), na região da Usina Termelétrica de Charqueadas, localizada no município de Charqueadas, utilizando a modelagem numérica (mais especificamente o modelo ISCST- *Industrial Source Complex Term – Short Term*)

Esse modelo de dispersão utilizado é recomendado pela EPA (*Environmental Protection Agency*) para tratamento da dispersão de poluentes emitidos por fontes industriais como refinarias, termelétricas, indústrias siderúrgicas, etc.

Neste estudo, os resultados foram simulados pelo modelo para o ano de 2005 com a Usina equipada com precipitadores eletrostáticos e os dados obtidos foram comparados com os dados das concentrações de Material Particulado (MP) medidos através dos pontos receptores em duas estações de monitoramento da qualidade do ar operadas na região de influência da Usina Termelétrica.

Posteriormente os resultados foram simulados pelo modelo para o ano de 2005 com a emissão da Usina equipada com filtro de mangas e os dados obtidos foram comparados com os dados de concentração de Material Particulado (MP) medidos nas estações de monitoramento no primeiro trimestre de 2010, quando a usina estava efetivamente operando com esse controle ambiental.

O estudo e os valores medidos mostram que os padrões primários e secundários não foram ultrapassados, no entanto, os resultados modelados demonstram que o modelo ISCST subestima as concentrações de Material Particulado (MP) observadas nas estações de qualidade do ar, o que provavelmente ocorre, devidos a presença de outras fontes de emissão na região que se consideradas no estudo poderiam trazer uma aproximação do valor real com o modelado.

ABSTRACT

The goal is to study the dispersion of pollutant particulate matter (TSP), in the region of Charqueadas Thermal Power Plant, located in Charqueadas, using the numerical modeling (specifically model Industrial Source Complex ISCST - Term - Short Term) This dispersion model used is recommended by EPA (Environmental Protection Agency) for the treatment of the dispersion of pollutants emitted by industrial sources such as refineries, power plants, steel industries, etc.

In this study the results were simulated by model for the year 2005 with the plant equipped with electrostatic precipitators and the data were compared with data of concentrations of particulate matter (PM) measured by the receiving points in two season of monitoring the quality air operated in the region of influence of UTE.

The data were simulated by the model for the year 2005 with issueance of the plant equipped with bag filters and the data were compared with data for the concentration of particulate matter (PM) measured at the monitoring stations in the first quarter of 2010, when the plant was actually operating with the environmental control.

The study and the measured values show that the primary and secondary standards were not exceeded, however the modeled results show that the ISCST model underestimates the concentrations of Particulate Matter (PM) observed at stations of air quality, which probably occurs due to the presence of other emission sources in the region that if is considered in the study could yield an approximation of the actual value with the modeling.

À querida amiga e dedicada orientadora Prof^a Rita de Cássia Marques Alves, pela sua competência, disponibilidade e palavras de incentivo.

Em especial à Usina Tractebel Energia à qual disponibilizou os dados para esta pesquisa e tornou possível o desenvolvimento de um estudo que possibilitou meu crescimento dentro do universo Meio Ambiente.

À todos os colegas e professores do Sensoriamento pela amizade desenvolvida durante o período de mestrado.

Com carinho e amor ao marido, filho e a toda minha família.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa do Rio Grande do Sul.....	10
Figura 2 – Mapa da Região Metropolitana de Porto Alegre	10
Figura 3 – Estação Meteorológica gerenciada pela Usina Termelétrica.	12
Figura 4 – Vista da Usina Termelétrica	14
Figura 5 – Arranjo típico do Filtro de mangas.....	18
Figura 6 – Desmontagem do PE – 04	19
Figura 7 – Filtro com as mangas instaladas	19
Figura 8 – Filtro de manga	19
Figura 9 – Passarela frontal do Filtro de	19
Figura 10 –a. e b. Montagem sala de controles e vista FGD	20
Figura 11 – a. e b. Montagem da chaminé metálica FGD	21
Figura 12 – a. e b. Vista da Usina em 14/12/09 – com filtro de manga operando	21
Figura 13 – Vista interna da Estação Arranca Toco	54
Figura 14 – Vista interna da Estação DEPREC.....	55
Figura 15 – Equipamento Hi-vol (modelo 305-2000), utilizado para a análise de partículas totais em suspensão - MP.	57
Figura 16 – Mapa de localização das estações.....	61
Figura 17 – Gráfico dados monit. Est. Arranca Toco 1º sem 2005.....	63
Figura 18 – Gráfico dados monit. Est. Arranca Toco 2º sem 2005.....	63
Figura 19 – Gráfico dados monit. Est. DEPREC ano 2005	64
Figura 20 – Gráfico dados monit. Est. Arranca Toco 1º tri 2010	64
Figura 21 – Gráfico dados monit. Est. DEPREC 1º tri 2010.....	64
Figura 22 - Rosa dos Ventos obtida através dos dados meteorológicos de 2005...	66
Figura 23 - Distribuição de Frequência para a velocidade dos ventos ano 2005	67
Figura 24 – Localização do máximos valores fonte atual	71
Figura 24 – Localização do máximos valores fonte nova	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Descrição das caldeiras.	15
Tabela 2 – Descrição das turbinas	15
Tabela 3 – Descrição dos alternadores.....	16
Tabela 4 - Padrões de Emissão de Poluentes Atmosféricos.....	22
Tabela 5 – Comparação do padrão de emissão nos EUA e no Brasil para poluentes atmosféricos (SO ₂ e material particulado).	23
Tabela 6 – Principais poluentes atmosféricos	32
Tabela 7 – Padrões Nacionais de Qualidade do Ar (Resolução CONAMA N° 03 de 28/06/90)	35
Tabela 8 – Classe de Estabilidade de Pasquill.....	51
Tabela 9 – Sistema modificado por Gifford	51
Tabela 10 – Usina Termoelétrica de Charqueadas equipada com precipitadores - atual	56
Tabela 11 – Usina Termoelétrica de Charqueadas equipada com filtro de mangas - nova	56
Tabela 12 – Comparativo dos resultados do monitoramento nas estações AT e DEPREC	64
Tabela 13 – Material particulado ano 2005 dados meteorológicos da estação de Charqueadas fonte UTCH atual isolada.....	68
Tabela 14 – Material particulado ano 2005 dados meteorológicos da estação de Charqueadas fonte UTCH nova	69
Tabela 15 – Cinco maiores valores de de MP para o ano de 2005 – UTCH atual isolada.....	70
Tabela 16 –Cinco maiores valores de MP para ao ano de 2010 – UTCH nova	70

CAPÍTULO I

1.1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a principal aplicação do carvão mineral no mercado é a geração de energia elétrica por meios de usinas termelétricas. De acordo com dados do International Energy Agency (IEA) o carvão é a fonte mais utilizada para geração de energia elétrica do mundo, respondendo por 41% da produção total, o carvão é o combustível fóssil com a maior disponibilidade do mundo, suas reservas totalizam aproximadamente 847,5 bilhões de toneladas, quantidade suficientes para atender a produção atual para 130 anos.

As reservas são encontradas em quantidades expressivas em mais de cinco países sendo que três deles EUA, Rússia e China concentram mais de 60% do volume total, no Brasil as maiores jazidas situam-se nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina e ocupam o 10º lugar no ranking mundial totalizando 7 bilhões de toneladas, a Associação Brasileira do Carvão Mineral (ABCM) calcula que as reservas conhecidas poderiam gerar hoje 17mil MW, deste total o volume de reservas do estado do Rio Grande do Sul responde por 89,25%; Santa Catarina 10,41%; Paraná 0,32% e São Paulo 0,02% somente a jazida de Candiota (RS) possui 38% de todo o carvão nacional, no Brasil, o minério representa, no entanto pouco mais de 1,5% da matriz da energia elétrica.(ABCM,2007)

Em 2007, ano em que 435,68 twh foram produzidos no país, o carvão foi responsável pela geração de 7,9 twh a partir da operação de usinas termelétricas que estão localizadas na região sul. O carvão é uma das formas de produção de energia cujo processo de produção, extração e a combustão provocam significativos impactos sócio-ambientais.

O efeito da utilização do carvão na combustão está relacionado à emissão de gases causadores de poluição atmosférica.

A poluição do ar tem sido, desde a 1ª metade do século XX, um grave problema dos grandes centros urbanos e industriais, visto que a atmosfera recebe anualmente milhões de toneladas de gases tóxicos, como monóxido de carbono, dióxido de enxofre, óxido de nitrogênio e hidrocarbonetos, além de partículas que ficam em suspensão. As principais fontes geradoras de poluição atmosférica são os motores dos automóveis, as indústrias (termoelétricas, siderúrgicas, fábricas de

cimento e papel, refinarias, etc.), as queimadas em florestas para expansão de lavouras, etc (Rosa,2007).

Em relação às termoelétricas, que produzem energia através da queima de carvão, a consequência é a emissão de gases e material particulado para atmosfera. O dióxido de enxofre é considerado um dos poluentes mais importantes devido à sua toxicidade e também por ser capaz de formar, através de reações químicas, outros poluentes mais ofensivos, causando vários problemas para o meio ambiente, podendo-se dentre estes citar a redução da visibilidade, a formação de nebulosidade e precipitação ácida, a interação com a radiação solar, alterações na distribuição da temperatura, direção e velocidade do vento, e danos à saúde, etc. (Seinfeld, 1986).

Em relação à saúde humana, os efeitos da poluição podem ser de curto período (aumento da incidência de ataques de asma, aumento de pacientes com doenças respiratórias tais como bronquite crônica ou doenças pulmonares) e de longo período (aumento da incidência de decréscimo das funções pulmonares) (Lyons, 1990). Na literatura encontram-se diversos trabalhos relacionados aos efeitos da poluição sobre o meio ambiente, que descrevem as consequências químicas causadas por sua emissão. O volume 12 do Jornal "Atmospheric Environment" de 1978, por exemplo, é dedicado exclusivamente ao estudo do enxofre. Cabe destacar os trabalhos de Haury et al., Calvert et al., Hegg e Hobbs, Charlson et al. Eggleton et al. sobre a conversão de SO₂ para partícula; e o trabalho de Friedlander (1978) sobre a dinâmica dos aerossóis contendo enxofre.

Uma maneira de verificar o possível impacto ambiental causado por essas fontes de emissão é através dos modelos de dispersão, que podem ser considerados como ferramentas importantes na avaliação e controle da qualidade do ar. Quando uma fonte fixa emite uma determinada quantidade de poluente, é muitas vezes necessário determinar qual a concentração que esse poluente terá a determinada distância da fonte. Para isso servem os modelos de dispersão. A partir de informações sobre a fonte emissora, quantidades emitidas e condições meteorológicas, pode-se obter uma previsão das concentrações do poluente em qualquer localidade.

O problema de poluição atmosférica tem sido estudado por vários pesquisadores através de coleta e análise de amostras de constituintes atmosféricos, análise dos processos físico-químicos na atmosfera e dos processos de remoção.

Muitos pesquisadores tem comprovado a influência das condições meteorológicas para a dispersão dos poluentes emitidos por fontes naturais e antropogênicas. Para a avaliação da dispersão, as principais condições meteorológicas consideradas são a estabilidade atmosférica, altura da camada limite planetária, inversão térmica, umidade relativa do ar, intensidade e direção do vento (Abreu, 1985).

A preocupação em associar o comportamento dos poluentes com as condições meteorológicas forneceu subsídios para uma evolução da modelagem da dispersão dos poluentes, através de modelos de dispersão lagrangianos e eulerianos, combinados com modelos receptores, baseados em dados cada vez mais detalhados e de melhor qualidade, tanto no que se refere a emissão quanto a sua concentração medida no nível do solo. Essa evolução tem possibilitado uma abordagem cientificamente mais consistente para a descrição dos problemas de poluição do ar.

Os fenômenos meteorológicos, por sua vez exercem um papel fundamental em relação à poluição do ar. As condições meteorológicas possibilitam estabelecer uma forma de ligação entre a fonte poluidora e o receptor, tendo como referência o transporte e a dispersão dos respectivos poluentes. (Rosa,2007)

Esta relação entre a emissão de poluentes e os fenômenos meteorológicos levaram a comunidade científica, nas últimas décadas, a se interessar pelo conhecimento da capacidade da dispersão dos poluentes e dos efeitos da concentração de poluentes no homem e ambiente.

Baseando-se nos fatos apresentados acima, procurar-se-á estruturar e fundamentar esta pesquisa dentro do quadro atual da poluição atmosférica proveniente de usina termelétrica apresentando a legislação ambiental, federal e estadual que englobam este domínio, utilizando-se dados de emissões e monitoramento ambiental disponibilizados pela Tractebel Energia referentes à Usina Termelétrica de Charqueadas e da região de influência dessa usina.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é estudar a dispersão do poluente material particulado total, considerando a modelagem numérica, emitido pela Usina Termelétrica de Charqueadas, instalada no município de Charqueadas, estado do

Rio Grande do Sul, e comparar com dados obtidos nas estações de qualidade do ar. As figuras abaixo ilustram a localização do município de Charqueadas - RS.

Os objetivos específicos são colocados a seguir:

- Verificar a influência dos parâmetros meteorológicos para a dispersão dos poluentes;
- Realizar um levantamento dos parâmetros meteorológicos relativos ao período de amostragem da sede de monitoramento;
- Desenvolver um estudo da dispersão de poluentes utilizando o modelo ISCST₃, com o intuito de verificar o comportamento da pluma e a localização dos máximos de concentrações do nível do solo, e comparar os resultados de concentrações obtidos pelas simulações com os dados das estações de monitoramento;
- Analisar os dados de qualidade do ar obtidos nas estações de monitoramento em dois períodos distintos, ano de 2005 onde a fonte emissora estava equipada com precipitador eletrostático e ano de 2010 onde a fonte esta equipada com filtros de manga.

1.3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O ar a nossa volta consiste de uma mistura de gases. Os componentes principais do ar são as moléculas de nitrogênio (78%) e oxigênio (21%). A atmosfera também contém outras substâncias que são adicionadas por fontes naturais, tais como a vegetação em crescimento ou decomposição, poeira do solo e fumaça de erupções vulcânicas. Já a contribuição antropogênica pode ser identificada pela adição de substâncias produzidas pelo homem que são tóxicas ou irritantes para os animais, vegetação ou causam danos à propriedade.

Os poluentes do ar são geralmente considerados como as substâncias adicionadas ao ar por atividades humanas e que tem efeito adverso sobre o meio ambiente. Esses poluentes existem na forma de gases, partículas pequenas e sólidos (particulados), ou pequenas gotículas de líquidos dispersas em um gás (aerossóis) (Hinrichs, 2009).

Para o transporte de poluentes na atmosfera, é de fundamental importância a movimentação do ar, a qual se manifesta na forma de adveccção e de difusão

turbulenta. A advecção resulta do movimento médio do ar carregando os poluentes junto com o vento médio, enquanto a difusão turbulenta espalha os poluentes no espaço de maneira tridimensional. Portanto, um insumo básico para a modelagem do transporte de poluentes na atmosfera é a descrição da circulação da atmosfera dentro da região de interesse (Braga,2002).

Na ausência de ventos, não há transporte de constituintes e conseqüentemente o ar fica estagnado. Nesta situação, comumente denominada de calmaria, poderá haver um aumento da concentração dos poluentes na região onde são lançados, podendo atingir níveis críticos à saúde humana.

Para uma análise da dispersão de poluentes torna-se necessário avaliar as circulações de ar próximo das fontes de emissão de poluentes, estas circulações são também denominadas de circulações locais e são geradas por condições particulares de topografia local e de proximidades de lagos ou oceanos, sendo assim peculiares a cada região. Dependendo da região podem surgir ventos canalizados em vales, brisas marítimas e lacustres e circulações vale-montanha.

A Ciência meteorológica está intimamente ligada com a poluição atmosférica . Todos os fenômenos meteorológicos são conseqüências da interação de forças fundamentais da natureza: gradiente de pressão, gravidade, rotação da terra e atrito interno. (Moraes, 2010)

A combinação dessas várias influencia, leva a circulações bastante complexas que dependem, inclusive, de influências de uma escala maior, como a passagem de frentes frias ou da presença de sistemas de alta pressão. A passagem de frentes frias, em geral produz ventos fortes e chuvas, muitas vezes sobrepujando as influencias topográficas locais. Altas pressões, por outro lado, indicam uma tendência a um domínio das influencias das brisas locais. No caso das altas pressões estabelece-se a chamada inversão térmica. A inversão térmica é uma camada em que a temperatura do ar aumenta com a altura, o que é o inverso de seu comportamento usual, e isso tem um efeito “tampão” sobre a região onde ocorre.

Basicamente as emissões gasosas de superfície e os poluentes, são retidos abaixo da inversão térmica sem poder se dispersar para níveis mais altos, o que reduziria as concentrações. Por outro lado as circulações locais quando existentes são mais efetivas durante as altas pressões que inibem a formação de nuvens e com isso o solo se aquece mais durante o dia e se resfria mais durante a noite, sendo estes resfriamentos e aquecimentos os principais fatores para a formação das

circulações locais. Abaixo da inversão térmica ocorre uma mistura turbulenta de constituintes numa camada denominada camada de mistura.

Os movimentos atmosféricos possuem uma variedade de escalas que se estende desde aqueles da ordem de alguns milímetros até aqueles que possuem a dimensão da circunferência terrestre e ou a profundidade da própria atmosfera. Em termos temporais as escalas destes movimentos variam desde frações de segundo até meses e anos. Estas escalas são usualmente classificadas em três grandes grupos: micro, meso e grande escala. Não raro usa-se os termos local, regional ou global para a subdivisão dos movimentos atmosféricos. (Moraes, 2010)

Muitos pesquisadores têm comprovado a influência das condições meteorológicas na poluição atmosférica para a dispersão de poluentes emitidos por fontes naturais e antropogênicas. Para a avaliação da dispersão, as principais condições meteorológicas consideradas são a estabilidade atmosférica, altura da camada limite planetária, inversão térmica, umidade relativa do ar, intensidade e direção do vento (Abreu, 1985).

Em 1980, Setzer et al. estudaram as influências das condições meteorológicas na poluição atmosférica de São Paulo. Consideraram-se como condições meteorológicas, a localização de frentes e anticiclones em relação a São Paulo, dados meteorológicos de pressão, direção e velocidade dos ventos, precipitação, umidade relativa do ar, e altura da camada limite planetária. Foram analisados, um período de inverno e um período de verão, para o ano de 1978. Observou-se que os altos índices de poluição verificados estavam relacionados com a passagem de uma frente fria ao sul do Brasil e que o anticiclone subtropical estava localizado a leste de São Paulo, sobre o Oceano Atlântico. As variáveis meteorológicas nesses dias tiveram o seguinte comportamento: umidade relativa baixa (menor que 50%); ausência de precipitação; altura da camada limite inferior a 300 mts às 09:00horas. Por outro lado, em dias de baixa concentração de poluentes, as frentes frias se localizavam ao norte de São Paulo e o anticiclone ao sul do continente. Nesses dias, os ventos eram mais intensos, favorecendo assim o transporte e a dispersão dos poluentes. A umidade relativa era maior de 50%, a ocorrência de chuvas aumentou e a altura da camada limite ficou da ordem de 1200mts às 09:00horas.

Beyrick et al. (1998) realizaram um estudo para verificar a distribuição regional de SO₂ emitido por uma fonte industrial localizada na fronteira entre

Alemanha e República Checa. Os dados experimentais para esse trabalho foram coletados entre fevereiro e março de 1995. Eles discutiram detalhadamente a influência das condições meteorológicas em observações de concentração de SO_2 ao nível do solo.

Fisher et al. (1994) estudaram o transporte de SO_2 , em áreas industriais na cidade de Ohio, e compararam dois modelos de dispersão do tipo pluma gaussiana com os valores monitorados, para verificar qual dos modelos é o mais acurado. Os modelos utilizados foram o ISCST (“Industrial Source Complex Short Term”) e RTDM (“Rough Terrain Diffusion Model”), em ambos são consideradas oito fontes de emissão, e também a elevação do terreno. Para a obtenção dos dados meteorológicos foram utilizadas duas torres micrometeorológicas de 100 e 60m de altura, as mesmas coletando dados de velocidade, direção do vento e temperatura do ar, em três níveis diferentes para o período de um ano (1990-1991). As fontes em geral possuíam altura muito baixas, sendo algumas fontes localizadas em terrenos que excediam a altura das chaminés. Os autores verificaram neste estudo que o modelo ISCST melhor reproduziu os dados experimentais (Nedel,2003).

Com relação ao modelo de dispersão atmosférica utilizados neste estudo, existem vários trabalhos desenvolvidos , entre os quais podemos citar: Alves (1996) que utilizou o ISCST para verificar a dispersão de poluentes em Candiota-RS.

Nedel (2003) utilizou esse mesmo modelo, na Região de Candiota, relacionando-o com as condições meteorológicas, nesse estudo, os resultados simulados pelo modelo foram comparados com dados da concentração de Material Particulado (MP) e Dióxido de Enxofre (SO_2), medidos em estações de qualidade do ar próximas à Usina Termelétrica, a melhor correlação entre os dados modelados e medidos nos dez dias estudados, apresentou-se com 90%.

Cunha (2001), estudou o transporte de poluentes na região de Triunfo –RS, onde se encontra instalado Um Pólo petroquímico , nesse estudo a modelagem da dispersão foi realizada para os poluentes SO_2 , MP e NO_x .

CAPÍTULO II

MATERIAIS E METODOS

2.1 REGIÃO DE ESTUDO

O município de Charqueadas originou-se da redução do Município de Triunfo, quando foram criados vários municípios, entre eles o município de São Jerônimo, do qual Charqueadas emancipou-se em 1982. Inicialmente tratava-se de uma vila de pescadores, localizada a margem direita do rio Jacuí, e por onde passavam as tropas de gado provenientes das regiões produtoras. Devido ao grande fluxo de gado na região a atividade do charque cresceu e desenvolveu-se, provocando o povoamento na zona próxima a foz do Arroio dos Ratos, que deságua no Rio Jacuí.

A atividade do Charque tornou-se intensa durante o século XIX. O produto, inicialmente, era feito de forma rudimentar e, no fim deste século, o senador Ramiro Barcellos, associado ao Coronel Júnior Rebelo, criou o “Meridional”, estabelecimento onde a aparelhagem e o beneficiamento da matéria-prima já se faziam em moldes novos e higiênicos. Com o interesse do Senador em novos empreendimentos, o estabelecimento “Meridional” foi declinando até encerrar suas atividades. Charqueadas então passou a integrar o grupo de localidades produtoras de carvão mineral, pois o CADEM (Consórcio Administrador de Empresas de Mineração) planejou então a abertura da Mina de Charqueadas, a compra e a montagem da Usina Térmica de Charqueadas. Nesta época Charqueadas era apenas porto de embarque de carvão produzido em outras regiões.

Os primeiros moradores de Charqueadas após o término do ciclo do Charque eram operários da via férrea e manejadores de carga e descarga de carvão. Em 1951, teve início a implantação da mina de carvão com a abertura do Poço Octávio Reis, com a mais profunda exploração de carvão mineral do País e responsável pelo abastecimento da Usina Termelétrica de Charqueadas, inaugurada em 1962. Ambas impulsionaram a vida e a economia de Charqueadas, porém a falta de infra-estrutura dos municípios era uma das maiores preocupações dos moradores. Em 1971, foi iniciada a extensão da rede elétrica e em 1972 a CORSAN começou a fazer a distribuição de água potável.

A Aços Finos Piratini, siderúrgica de aços especiais, então controlada pela Siderbrás, foi inaugurada em 1973 e a produção iniciou em 1974, consolidando o fortalecimento da economia local. Em 1977, através de convênio firmado entre a

Prefeitura de São Jerônimo e o Banco Nacional da Habitação (BNH), foram iniciadas as obras de urbanização.

Neste período o movimento emancipacionista de Charqueadas era forte e resultou, em 28/04/82, no desmembramento de São Jerônimo, sendo que a instalação político-administrativa do município ocorreu em 31/01/83. Em 1995 passa a integrar a região metropolitana da capital do estado. Em 1996, a área conhecida como horto florestal da CEEE foi incorporada ao território do município.

Com os ciclos do carvão e do aço, houve um aumento populacional de, aproximadamente, 1.550%, no período entre 1960 e 1991, enquanto que no estado esteve em torno de 70%, o que indica o grande dinamismo da cidade, destacando-se o aumento de pessoas não naturais do município, especialmente nos períodos intercensitários de 1960 a 1980. Neste sentido a ocupação do solo no município ocorreu de forma totalmente desordenada, onde no início, as margens do Rio Jacuí foram o principal ponto de escoamento da produção, portanto gerando grande e intenso desgaste dessas áreas.

Como o município tem sua história de desenvolvimento baseada principalmente na indústria, e num período onde as preocupações ambientais não tinham os atuais padrões, os agravos ao ambiente foram muitos e o passivo existente até hoje são muito significativos. As figuras abaixo ilustram a localização do município de Charqueadas - RS

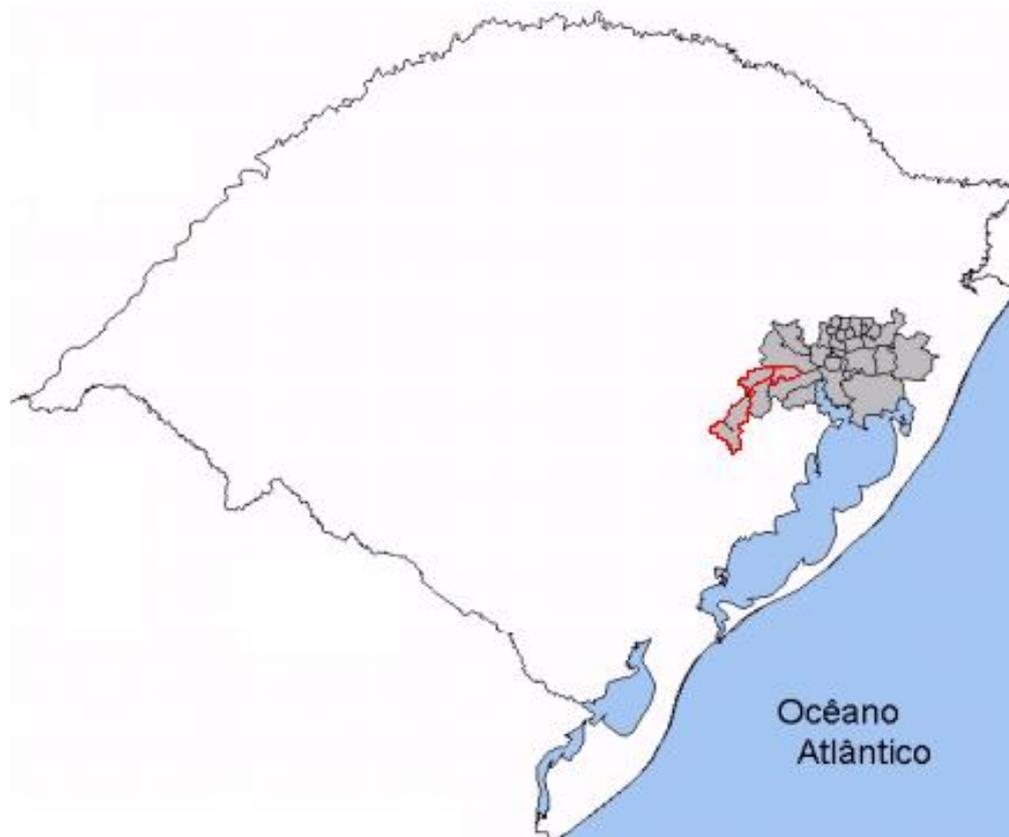


Figura 1 – Mapa do Rio Grande do Sul

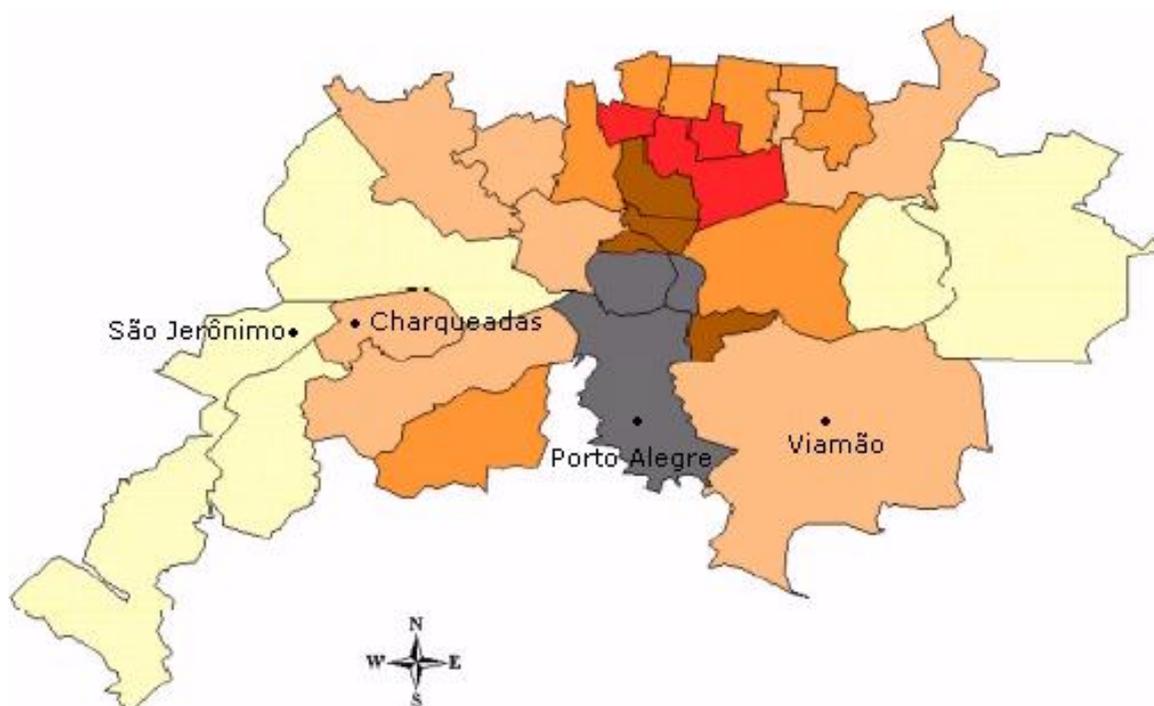


Figura 2 – Mapa da Região Metropolitana de Porto Alegre

2.2. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

A Usina Termelétrica de Charqueadas, localiza-se no município de Charqueadas, que se encontra entre as latitudes 29° 56'45" e 30°03'25"S e longitudes 51° 34'58" e 51°40'42"W. Possui uma área de territorial de 216,51Km², representando 0,0805% do Estado, 0,0384% da Região e 0,0025% de todo o território brasileiro.

A população total é de 31.823 habitantes de acordo com o senso demográfico da FEE (FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA - 2005), com uma taxa de crescimento anual de 2,14 %. O município, situado no estado do Rio Grande do Sul, na configuração topográfica da Depressão Central, limita-se ao Norte com o município de Triunfo e o Rio Jacuí, ao Sul com o município de Arroio dos Ratos, a Leste com o município de Eldorado do Sul e a Oeste com o município de São Jerônimo, apresentando uma altitude média de 20 metros ao nível do mar. As principais vias de acesso são a RS-401 e a BR-290 que se liga à BR-116 em direção a Porto Alegre.

O município de Charqueadas está dentro da Região do Baixo Jacuí, que abrange total ou parcialmente, os municípios de Guaíba, Eldorado do Sul, São Jerônimo, Triunfo, Arroio dos Ratos, Butiá e Minas do Leão.

O Baixo Jacuí é uma região que sofre influência significativa das atividades de processamento de carvão, pois além da extração das jazidas, encontram-se duas termelétricas em operação, uma siderúrgica em funcionamento e uma termelétrica em implantação (Jacuí).

2.3. METEOROLOGIA NA REGIÃO

As variáveis climáticas merecem destaque nos estudos de avaliação da qualidade do ar, pois influenciam diretamente a atmosfera que como corpo receptor, caracteriza-se por promover a dispersão dos diversos poluentes lançados pelas fontes emissoras.

No município de Charqueadas a continentalidade contribui para a existência de características locais. Localizando-se na Depressão Central, fica na área continental, apresentando verões mais quentes e invernos mais frios do que as áreas próximas do mar, pois não sofre a ação amenizadora marítima, destacando-se a existência de um relevo favorável a penetração do ar polar (MOREIRA,1986).

O comportamento climático do município de Charqueadas apresenta temperatura média anual de 19,5° C, precipitação pluviométrica anual de 1.366,6 mm sendo o trimestre mais chuvoso Maio, Junho e Julho e o menos chuvoso nos meses de Novembro, Dezembro e Janeiro (SILVA, 1995).

Os ventos predominantes são Sudeste (SE) e Leste (E). Além da importância para estudos de avaliação de impacto e qualidade do ar, os parâmetros meteorológicos são necessários para os cálculos de material particulado e SO₂ no ar ambiente.

A Tractebel Energia mantém instalada na área da obra da Usina de Jacuí na cidade de Charqueadas, uma estação meteorológica destinada a medir e coletar os dados físicos dos parâmetros meteorológicos. A estação meteorológica (Figura 3) instalada é da marca *MET ONE* modelo *Automet* e é composta dos seguintes módulos:

- sensor de direção do vento;
- sensor de velocidade do vento;
- sensor de temperatura e umidade relativa do ar;
- sensor de pressão atmosférica;
- sensor de precipitação pluviométrica;
- sensor de evaporação;
- sensor de radiação global;
- pára – raios;
- torre meteorológica;
- software de comunicação por computador.



Figura 3 – Estação Meteorológica gerenciada pela Usina Termelétrica.

(Fonte: própria)

2.4. A USINA TERMELÉTRICA

A Usina Termelétrica Charqueadas (UTCH) fica situada às margens do rio Jacuí, no município de Charqueadas no Rio Grande do Sul. Sua construção foi iniciada em 1956 e entrou em operação comercial em março de 1962, com quatro caldeiras e três turbo alternadores de 18 MW.

Em abril de 1969 foi incorporado mais um turbo alternador de 18 MW, perfazendo uma potência de 72 MW, correspondendo à atual potência instalada da Usina. A Usina Termelétrica Charqueadas é movida a carvão mineral CE 3100, da região carbonífera do baixo Jacuí.

A Usina foi incorporada à ELETROSUL em 1970, onde até então a energia gerada era na frequência de 50 Hz, porém com o advento da padronização em 60 Hz, foram instalados dois grupos conversores de 30 MW cada, estando assim capacitada para atender simultaneamente nessas duas frequências.

A partir do final da década de 80 a UTCH vem passando por uma série de modificações de forma a minimizar os impactos ambientais, oriundos da geração termelétrica que utiliza combustíveis fósseis, bem como sua adequação à legislação vigente.

Em dezembro de 1997, com o processo de cisão da ELETROSUL a UTCH foi incorporada à estatal GERASUL. Em setembro de 1998 a GERASUL foi adquirida pela Tractebel Energia S.A.



Figura 4 – Vista da Usina Termelétrica

2.4.1 Descrição do Processo

As usinas térmicas são constituídas basicamente de três elementos principais: caldeira, turbina e alternador. A caldeira considerada como o mais característico equipamento de uma usina térmica a vapor, nada mais é do que um trocador de calor complexo que, aproveitando a energia térmica liberada pela queima do combustível (carvão mineral) em sua câmara de combustão, eleva a temperatura da água em seu interior gerando vapor a altas temperaturas e pressões.

A turbina é uma máquina térmica rotativa que transforma a energia potencial do vapor (pressão) produzido na caldeira em energia mecânica (rotação) a ser transferida ao alternador por intermédio da energia cinética (velocidade).

O alternador produz a energia elétrica pela transformação da energia mecânica recebida da turbina através do seu eixo. A transformação de energia mecânica em energia elétrica se faz por meio de ações eletromagnéticas entre o campo magnético do rotor e o circuito elétrico do induzido (estator).

A ficha técnica da usina pode ser resumida abaixo pelas Tabelas 1,2 e 3 que resumem os três elementos principais que compõem uma usina termelétrica.

Tabela 1 – Descrição das caldeiras

Caldeiras (dados para cada unidade)		
Fabricante	L.C. STEINMULLER	
Tipo	Radiação, Tubos Verticais, Circulação Natural	
Capacidade normal	65 t/h	
Capacidade máxima contínua	80 t/h	
Pressão vapor de saída superaquecedor secundário	59 kg/cm ²	
Pressão de Aprovada	67 kg/cm ²	
Temperatura água de alimentação entrada	162 °C	
Economizador		
Temperatura água de alimentação saída	220 °C	
Economizador		
Superfície total de aquecimento		
Caldeira	780 m ²	
Superaquecedor	1022 m ²	
Economizador	430 m ²	
Sopradores de fuligem		
Quantidade total por caldeira	15	
No superaquecedor	7	
No economizador	2	
Na câmara de combustão	6	
Queimadores de Carvão		
Carreira superior (moinho 1)	4	
Carreira inferior (moinho 2)	4	
Queimadores de Óleo	3	
Equipamentos Auxiliares da Caldeira		
Moinhos de Carvão	2 por unidade	Tipo martelos Capacidade 12,5 t/h
Aquecedor de Ar	1 por unidade	Tipo LJUNGSTRON Superf. Aquec. 3750 m ²
Ventilador Induzido	1 por unidade	vazão 210.000 m ³ /h
Ventilador Forçado	1 por unidade	vazão 94.000 m ³ /h

Tabela 2 – Descrição das turbinas.

Turbinas	
Fabricante	AEG - ALLGEMEINE ELEKTTRICITATS GESELLSCHAFT
Ano de fabricação	1956
Potência Nominal	15.000 kW
Potência Máxima	18.000 kW
Rotação	3.000 RPM
Temperatura do vapor superaquecido	
Normal	475 °C
Máxima	480 °C
Pressão do Vapor Superaquecido	
Normal	56 kg/cm ²
Máximo	67 kg/cm ²
Condensador	
Tipo superfície com 1350 m ² de superfície de refrigeração	
Água de Refrigeração	3.750 m ³ /h (para 18 MW)
Vácuo	94,1 %

Tabela 2 – Descrição dos alternadores

Alternadores	
Fabricante	AEG - ALLGEMEINE ELEKTTRICITATS GESELLSCHAFT
Potência aparente	24.000 KVA
Tensão	6000 V + 5%
Corrente	2.310 A
Fator de Potência	0,75
Refrigeração a Ar	
Rotação	3.000 RPM
Frequência	50 Hz
Classe de Isolamento	B

2.4.2 Alternativas Tecnológicas de Controle Ambiental

Os principais poluentes originados por plantas alimentadas por carvão são o dióxido de enxofre e o material particulado. Para estas plantas e outras fontes estacionárias, existem diversos métodos gerais ou filosofias para se atingir as metas de qualidade do ar e emissões. Estes métodos são:

- Utilização de combustíveis com baixo teor de enxofre e/ou cinzas;
- Remoção do enxofre do combustível antes da queima;
- Remoção dos particulados e óxidos de enxofre dos gases de combustão após a combustão;
- Diluição dos gases efluentes por meio de uso de chaminés altas e dos processos atmosféricos naturais de dispersão.

Atualmente a concepção dos projetos de termelétricas, vem evoluindo, no sentido de minimizar o impacto ambiental na área de influência das usinas térmicas.

Visando adotar tecnologia para redução do impacto ambiental da Usina de Charqueadas, a TBLE optou pela substituição dos precipitadores eletrostáticos por filtros de mangas para controle de material particulado e para redução das emissões de SO₂ a implantação de lavador de gás, cujos princípios tecnológicos são descritos a seguir:

- Precipitadores Eletrostáticos

Os precipitadores eletrostáticos são equipamentos que separam partículas sólidas de gases provenientes de processos industriais, promovendo dessa maneira a remoção do material particulado destes gases. Para isso aplicam como princípio a ionização das partículas através de um campo elétrico. A partícula ionizada é captada nas placas-eletrodo conectadas à terra e posteriormente desalojada desta por batimentos e conduzida para fora do equipamento.

A principal variável que influi na eficiência dos precipitadores é a resistividade das cinzas a serem captadas. De maneira geral, pode-se afirmar que para cinzas com resistividade menor que 10^{12} ohm-cm, é recomendável o uso de precipitadores e para cinzas com resistividade maior que 10^{14} ohm-cm, é recomendável o uso de filtros de manga. Para valores intermediários de resistividade, o assunto requer estudo comparativo entre as duas soluções.

A eficiência obtida em precipitadores depende além das características do próprio equipamento, das características das cinzas volantes e, por conseqüência, do combustível queimado. A grande maioria destes equipamentos opera na faixa de eficiência de 90 a 99,8%, havendo precipitadores em aplicações específicas nos EUA com eficiência superior a esta.

O tamanho do equipamento e, conseqüentemente, seu custo cresce exponencialmente com a eficiência a ser obtida. Da mesma forma, o tamanho e custo crescem exponencialmente com o aumento do teor de cinzas no combustível utilizado.

- Filtros de Mangas FM ou FF (Fabric Filter)

O princípio básico de funcionamento dos filtros de manga é bastante simples, constituindo-se em fazer passar o gás de combustão com cinzas através de um compartimento, onde estão localizados os filtros. A eficiência de remoção das cinzas são elevadas, atingindo valores acima de 99,9%.

A instalação dos novos filtros foi feita através da conversão dos precipitadores eletrostáticos existentes em filtros de manga.

As mangas filtrantes com fixação por banda de aço mola foram instaladas de modo a garantir uma perfeita vedação manga-espelho, sem a necessidade de múltiplas peças, facilitando a instalação e manutenção.

As mangas filtrantes (de dupla densidade – GL057) confeccionadas em fibra de vidro de 18 oz. da GE Energy conta com fios texturizados ocasionando um aumento da eficiência de filtragem e facilitando a liberação do excesso de pó durante os ciclos de limpeza.

Essas mangas estão montadas em gaiolas de arame rígido de 3mm proporcionando um suporte adicional que as mangas de fibra de vidro exigem, reduzindo sua dobra sobre os arames e prolongando sua durabilidade.

Os ciclos de limpeza de cada um dos quatro filtros de mangas é controlado por um controlador “pulse-on-demand” que se baseia na perda de carga medida

entre os lados sujos e limpo do filtro de mangas, sem um intervalo de tempo pré-fixado, mantendo dessa forma uma alta eficiência de filtração de particulados.

Cada unidade da Usina foi equipada com filtros de 1.400 mangas, número projetado para manter o nível das emissões 50% menor do que os resultados obtidos na precipitação eletrostática, tecnologia anteriormente adotada na UTCH.

Os testes iniciais demonstraram uma redução das emissões em percentuais superiores a isso, a Usina está operando desde 01-12-09 com uma emissão de material particulado abaixo de $20\text{mg}/\text{Nm}^3$, o que representa uma diminuição da ordem de 8 a 10 vezes em relação aos precipitadores eletrostáticos, mudança que pode ser observada visualmente na chaminé.

Atualmente todas as unidades da UTCH estão operando com filtro de mangas.

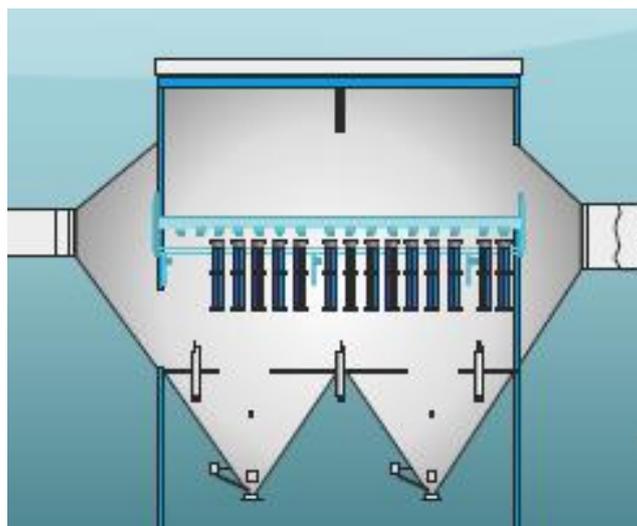


Figura 5 – Arranjo típico do Filtro de mangas



Figura 6 – Desmontagem do PE – 04



Figura 8 – Filtro de manga



Figura 7 – Filtro com as mangas instaladas



Figura 9 – Passarela frontal do Filtro de mangas

- Lavador de Gases para reduzir a emissão de SO_2 - oriundos da combustão do carvão.

A dessulfurização por via úmida é uma tecnologia largamente empregada no mundo todo para controle da emissão de SO_2 – dióxido de enxofre.

A neutralização do SO_x através de um processo químico, que se baseia na injeção de reagentes básicos pode ser realizada utilizando como reagente materiais alcalinos como: magnésio, amônia ou calcários.

Para o caso da Usina de Charqueadas, devido os custos e disponibilidade de reagente na região, foi escolhido o Calcário (CaCO_3). Cabe ressaltar que o processo químico utilizando materiais calcários é o mais utilizado no mundo.

Com a entrada de operação do DESOX haverá redução de 90% das emissões de SO_2 da Usina de Charqueadas.

Antes da instalação do FGD a UTCH vem operando com teores de enxofre no carvão abaixo de 1% com o objetivo de reduzir a emissão de SO_2 .

Algumas fotos da implantação do FGD são mostradas a seguir:



Figura 9– a. e b. Montagem sala de controles e vista FGD



Figura 10 – a. e b. Montagem da chaminé metálica FGD



Figura 11 - a. e b. Vista da Usina em 14/12/09 - com filtro de manga operando

2.5 PADRÕES DE EMISSÃO PARA POLUENTES ATMOSFÉRICOS

Padrões de emissão referem-se a quantidades máximas de poluentes do ar que as indústrias podem lançar na atmosfera, medidas nas chaminés. A Resolução CONAMA 008 de 06/12/1990 estabeleceu padrões de emissão para dióxido de

enxofre e material particulado, para fontes fixas cuja combustão seja realizada nos seguintes equipamentos: caldeiras, geradores de vapor, centrais para geração de eletricidade, fornos, fornalhas, estufas e secadores para a geração e uso de energia térmica, incineradores e gaseificadores.

Os padrões foram estabelecidos em dois níveis, para potências até 70 MW ou superiores, sendo válidos para empreendimentos que não requereram Licença Prévia até a data da publicação dessa Resolução (Tabela 4).

Tabela 4 – Padrões de Emissão de Poluentes Atmosféricos

Combustível	Potência/Área classe	Padrão (g/106kcal)	
	<70 MW/I	Aprovação especial	
	>70 MW/I	Proibido	
Carvão	<70 MW/ II e III	MP	1500
		SO ₂	5000
	>70 MW/ II e III	MP	800
		SO ₂	5000
Óleo	<70 MW/I	MP	120
		SO ₂	2000
	>70 MW/I	Proibido	
	<70 MW/ II e III	MP	350
Combustível	>70 MW/ II e III	SO ₂	5000
		MP	120
		SO ₂	2000

Com respeito à emissão de material particulado não há tantos problemas no atendimento as normas fixadas pela Resolução do CONAMA. A eficiência de remoção dos sistemas de precipitação eletrostática em funcionamento nas plantas brasileiras varia numa faixa entre 90 a 98%.

O setor elétrico brasileiro domina perfeitamente a tecnologia de operação destes sistemas, tendo inclusive obtido receitas adicionais com a transformação das cinzas úmidas e cinzas secas (rejeito) em insumos para a indústria cimenteira, fabricação de materiais cerâmicos, diminuindo desta forma os custos com a operação dos precipitadores.

No caso do dióxido de enxofre (SO₂) a situação é mais complicada. As termelétricas nacionais estão baseadas em tecnologias de queima convencional a partir da utilização de carvão pulverizado. O carvão mineral brasileiro não é de boa qualidade e tem em sua composição um teor de enxofre que varia de 1 a 4% (média de 2%). As termelétricas operam em regime de complementação de carga, algumas

operando apenas em situações de ponta de demanda, em níveis operacionais mínimos, o que dificulta a operação de sistemas sofisticados de remoção de SO₂.

O atendimento as normas de controle de emissão de SO₂, não poderá ser cumprido a partir do deslocamento de combustível nacional, pois seria necessário de um carvão com 0,6% no máximo de teor de enxofre, para ser queimado em plantas maiores que 70MW sem instalação de dessulfurizadores.

Uma outra alternativa, considerando o atual quadro legal, é o uso de dessulfurizadores, que representaria um custo adicional de investimento entre 30 a 400 US\$/kW instalado a mais para instalação dos sistemas e, 7 a 45 US\$/kW para operação dos dessulfurizadores.

Os padrões de emissão fixados pela legislação brasileira, são mais restritivos do que a legislação americana para plantas termelétricas maiores que 70MW, para emissões aéreas de SO₂ (Tabela 5).

Tabela 5 – Comparação do padrão de emissão nos EUA e no Brasil para poluentes atmosféricos (SO₂ e material particulado).

País	□g/Kcal	Concentração no gás de exaustão (□g/Nm ³)	
		CE 3700	CE 4500
SO ₂			
Estados Unidos	2,16	1.428	1.564
Brasil			
<70 MW	5,0	3.303	3.629
>70 MW	2,0	1.321	1.452
Mat. Particulado			
EUA			
Novas	0,054	36	39
Existentes	0,18	119	130
Brasil			
<70 MW	1,5	991	1.089
>70 MW	0,8	528	581

Fonte: Eletrobrás, 1992

Os padrões de emissão definidos pelo órgão ambiental (FEPAM) para a Usina Termelétrica de Charqueadas, fixados para um teor de 6% de oxigênio nos gases amostrados são os seguintes:

- Tratamento para os efluentes atmosféricos, mediante a modernização, ampliação da geração e eficiência global da Usina de forma que atendam os seguintes padrões fixados para um teor de 6% de oxigênio nos gases amostrados:

- Material particulado: 80mg/Nm³;
- Dióxido de enxofre: 400mg/Nm³;
- Óxidos de nitrogênio: 550mg/Nm³;
- A empresa deverá instalar equipamentos de monitoramento automático e contínuo de emissões de dióxido de enxofre e óxidos de nitrogênio, selecionado dentro das especificações técnicas fornecidas previamente pela FEPAM;
- Realização semestral de amostragem de chaminé para a determinação da concentração de Material particulado, Dióxido de enxofre e Óxidos de nitrogênio;

CAPÍTULO III

POLUENTES ATMOSFÉRICOS E PADRÕES DE QUALIDADE DO AR

3.1 POLUENTES ATMOSFÉRICOS

Os poluentes atmosféricos classificam-se em dois grandes grupos: poluentes primários e poluentes secundários. Os poluentes primários são emitidos diretamente pelas fontes e são exemplo o Monóxido de Carbono, o Dióxido de Enxofre, NO_x e outros. Estes poluentes podem, na baixa atmosfera, sofrer transformações e reações fotoquímicas dando origem a poluentes denominados secundários. Dado que a formação de poluentes secundários, tais como Ozônio, necessita-se de um certo tempo, e ocorrem à medida que as massas de ar se deslocam, com isso é normal que concentrações elevadas destes poluentes atinjam áreas mais afastadas das fontes de emissão que os poluentes primários (Lyons e Scott,1990 e Seinfeld,1986).

Os poluentes primários, depois de emitidos para a atmosfera passam a estar submetidos a processos complexos de transporte, mistura e transformação química, que dão origem a uma distribuição variável das suas concentrações na atmosfera, tanto no espaço como no tempo. Basicamente, a distribuição das concentrações de poluentes na atmosfera depende das condições de emissão e das condições meteorológicas, podendo alguns poluentes serem transportados a grandes distâncias antes de atingirem o nível do solo (Elson,1989)

Apesar de sua aparente natureza imutável, a atmosfera é, na realidade um sistema dinâmico, com seus constituintes gasosos constantemente a serem trocados com a vegetação, oceanos e organismos biológicos. Os chamados ciclos dos gases atmosféricos envolvem um número de processos físicos e químicos. Os gases são formados por processos químicos dentro da própria atmosfera, atividade biológica, vulcânica, exalação, decaimento radioativo, atividades industriais e humanas. Os gases são removidos da atmosfera por reações químicas, atividade biológica, processos físicos (tais como formação de partículas, e por deposição e absorção nos oceanos e terra (Moraes, 2010).

Os efeitos adversos da poluição do ar sobre os receptores, dependerá das concentrações dos poluentes e do tempo de exposição á poluição. Há ainda outros fatores a serem considerados com relação a esse efeito como, por exemplo, a

sensibilidade nos indivíduos que determinam a maior ou menor severidade dos efeitos, tais como, idade, estado nutricional, condição física ou mesmo predisposições genéticas, o que torna necessária a avaliação para diferentes grupos de risco.

No que diz respeito às quantidades inaladas e ao tempo de exposição, podem distinguir-se dois tipos de efeitos: agudos e crônicos. Para cada uma das categorias a resposta fisiológica dos seres vivos varia entre o simples desconforto e o aparecimento de doenças que por vezes podem conduzir à morte. Exposições prolongadas a pequenas quantidades inaladas provocam efeitos crônicos e exposições de curta duração a doses elevadas provocam intoxicações agudas. Também a exposição em simultâneo a um conjunto de poluentes, pode evidenciar os seus efeitos e aumentar as dificuldades de avaliação dos mesmos (Cerqueira,2001)

Quando se determina a concentração ao nível do solo de um certo poluente na atmosfera, mede-se o grau de exposição dos receptores como resultado final do processo de lançamento deste poluente na atmosfera, desde suas fontes de emissão, suas interações físicas (diluição) e químicas (reações) na atmosfera.

Os principais poluentes e mais comumente medidos são os que servem como indicadores de qualidade do ar, tais como Dióxido de Enxofre (SO₂), hidrocarbonetos totais e Óxido de Nitrogênio (NO_x).

Com isso, afirma-se que mesmo mantidas as fontes de emissão, a qualidade do ar pode mudar em função das condições meteorológicas, determinando uma maior ou menor diluição dos poluentes. Por isso, observa-se que no inverno a qualidade do ar piora com relação aos parâmetros monóxido de carbono (CO), material particulado (MP), e dióxido de enxofre (SO₂), já que as condições meteorológicas, nesta estação, são mais desfavoráveis à dispersão dos poluentes. A interação entre as condições atmosféricas e as fontes de poluição é que vai definir o nível de qualidade do ar, que por sua vez determina o surgimento de efeitos adversos da poluição do ar sobre os receptores.

3.1.1 Material Particulado

As partículas presentes na atmosfera são provenientes de fontes naturais, como vulcões, aerossóis marinhos e a ação do vento sobre o solo, entre outras de

caráter antropogênico, tais como a queima de combustíveis Fósseis, processos industriais e tráfego rodoviário.

As partículas presentes na atmosfera são normalmente designadas pelo método através do qual são medidas. Nos últimos anos foi dedicada especial atenção aos efeitos das partículas e, portanto, as medições tradicionais de Partículas Totais em Suspensão (PTS) têm sido substituídas pela medição de fração PM10 (partículas com um diâmetro aerodinâmico inferior a 10 μ m), dado serem estas as partículas que representam um maior risco para a saúde (Élson,1989)

O material particulado ou aerossol atmosférico é constituído pelas partículas sólidas e líquidas em suspensão na atmosfera. As partículas inaláveis (PM10) são definidas como partículas com diâmetro aerodinâmico menor que 10 μ m, estas dividem-se em partículas grossas inaláveis com diâmetro aerodinâmico entre 2 e 10 μ m e as partículas finas com diâmetro aerodinâmico menor que 2 μ m(Élson, 1989).

Estudos recentes têm demonstrado a existência de correlações entre as variações dos níveis diários de PM10, produzidas por diversas fontes e os efeitos nocivos à saúde humana. Em muitas cidades as PM10 são o poluente que causam maiores preocupações, estando a sua ação relacionada com todos os tipos de problemas de saúde, desde a irritação nasal, tosse, até à bronquite, asma e mesmo a morte (Cerqueira,2001)

A fração mais fina das PM10 (0,5 μ m a 1,0 μ m) pode ter efeitos muito grave para a saúde, uma vez que este tipo de partícula pode penetrar profundamente nos pulmões e atingir os alvéolos pulmonares, provocando dificuldades respiratórias e por vezes danos permanentes (Élson, 1989).

As partículas com diâmetro inferior a 1 μ m, podem permanecer em suspensão na atmosfera durante semanas e serem transportados ao longo de centenas ou milhares de quilômetros, enquanto que partículas maiores que 2,5 μ m, são removidas no período de algumas horas por precipitação e sedimentação. As dimensões das partículas finas, principalmente das partículas emitidas pelos veículos a diesel, são da ordem de grandeza do comprimento de onda da luz visível podendo, por este motivo, reduzir sensivelmente a visibilidade (Cunha, 2002)

Os particulados podem afetar a respiração, provocar o agravamento de doença cardiovascular já existente, e possivelmente prejudicar o sistema

imunológico do organismo. Pequenas partículas com diâmetros menores do que 10 microns, denotadas PM-10 são especialmente preocupantes, já que são as que conseguem atingir as regiões mais baixas do sistema respiratório.(Hinrichs, 2009).

3.1.2 Dióxido de Enxofre

O Enxofre presente na composição dos combustíveis fósseis é liberado quando este é queimado, o enxofre combina-se com o oxigênio do ar e dá origem ao SO₂ (Dióxido de Enxofre) que, após oxidação, pode ser transformado em Trióxido de Enxofre. Na presença da umidade do ar este composto dá origem ao Ácido Sulfúrico e respectivos sais, contribuindo, deste modo, para a formação de chuvas ácidas, responsáveis pela acidificação das águas e dos solos.

O Dióxido de Enxofre (SO₂) é um gás incolor, muito solúvel na água, que pode ocorrer naturalmente na atmosfera, principalmente devido as atividades vulcânicas.

O SO₂ de origem antropogênica, é um poluente primário. Resulta essencialmente da queima de combustíveis fósseis, nomeadamente no setor da produção de energia, e de diversos processos industriais, podendo também ser emitido em pequenas quantidades, por exemplo, em veículos a diesel.

O SO₂ é um gás irritante para as mucosas dos olhos e vias respiratórias, podendo ter, em concentrações elevadas, efeitos agudos e crônicos na saúde humana, especialmente ao nível do aparelho respiratório. O dióxido de enxofre pode igualmente agravar os problemas cardiovasculares devido ao seu impacto na função respiratória. A presença simultânea na atmosfera de dióxido de enxofre e partículas pode evidenciar ou agravar os efeitos de doenças respiratórias crônicas ou aumentar o risco de doenças respiratórias agudas (Seinfeld, 1986).

Efeitos crônicos do SO₂ incluem o aumento da probabilidade de ocorrência de bronquites, longos resfriados e supressão do sistema imunológico. O *Smog* de Londres de dezembro de 1952, que resultou em 4.000 mortes acima da expectativa estatística, é um exemplo real de extremo perigo associável a elevadas concentrações de SO₂ (2.000 a 3.000 ug/m³) (EIA/RIMA – UTE Jacuí, 2000).

A deposição seca e úmida do SO₂ e de aerossóis sulfurados sobre as edificações e materiais de construção provoca a sua corrosão e aceleram os processos naturais de envelhecimento e de degradação (Alves,1996)

3.1.3 Monóxido de Carbono

Os efeitos da exposição dos seres humanos ao Monóxido de Carbono são associados à capacidade de transporte de oxigênio pelo sangue. O Monóxido de Carbono (CO) compete com o oxigênio na combinação com a hemoglobina do sangue, uma vez que a afinidade da hemoglobina pelo Monóxido de Carbono é cerca de 210 vezes maior do que pelo Oxigênio. Quando uma molécula de hemoglobina recebe uma molécula de Monóxido de Carbono forma-se a carboxihemoglobina, que diminui a capacidade do sangue de transportar oxigênio aos tecidos do corpo (EIA/RIMA – UTE Jacuí, 2000).

Os sintomas da exposição ao Monóxido de Carbono dependem da quantidade de hemoglobina combinada com Monóxido de Carbono. Tem sido demonstrado experimentalmente que baixos níveis de carboxihemoglobina já podem causar diminuição na capacidade de estimar intervalos de tempo e podem diminuir os reflexos e a acuidade visual da pessoa exposta (Cerqueira, 2001).

O efeito da intoxicação por CO é semelhante ao da anemia ou hipoxia. A maior parte das exposições a baixas concentrações de CO produz efeitos sobre o sistema nervoso central. Uma possível explicação para isso é a redução do suprimento de Oxigênio para o cérebro.

Acima de 1000ppm o CO altamente tóxico, podendo ser responsável por ataques cardíacos e elevada taxa de mortalidade, especialmente em áreas metropolitanas, onde o CO é abundante. Em condições de exposição aguda, pode originar a morte.

Recém nascidos e crianças em gestação também são afetados pelo CO. Os níveis encontrados em ambientes de cidades poluídas estão associados com menor peso de recém nascidos e aumento da taxa de mortalidade de crianças (Cerqueira, 2001).

A principal razão para o controle das emissões de CO está na proteção da saúde das crianças em gestação, dos recém nascidos, dos idosos e enfermos.

3.1.4 Compostos Orgânicos voláteis (VOC'S)

Constituem um dos precursores do oxidante fotoquímico Ozônio. Os compostos Orgânicos Voláteis (VCO) têm sido definidos pela EPA como “qualquer composto de carbono, excluindo-se o monóxido de carbono, dióxido de carbono, carbonetos ou carbonatos metálicos e o carbonato de amônio, que participe de

reações químicas na atmosfera”. Existem diversos compostos considerados “desprezíveis quanto a reatividade atmosférica” e, portanto, também fora da definição dos VOC. Tais compostos são: metano, etano, cloreto de metileno, metilclorofórmico, muitos clorofluorcarbonos e certas classes de perfluorcarbonos. No futuro, compostos adicionais poderão ser incluídos nesta lista de isenção (Zanetti, 1990).

O termo “Compostos Orgânicos Totais” (TOC) indica todos os VOC e os demais compostos isentos de reatividade química na atmosfera, incluindo: metano, etano, clorofluorcarbonos, poluentes atmosféricos tóxicos e perigosos, aldeídos e compostos semivoláteis. Muitos compostos orgânicos são também poluentes atmosféricos perigosos (Zanetti, 1990)

Os efeitos sobre a saúde humana por hidrocarbonetos tem sido notado em exposições ocupacionais ao chumbo tetra-metila, ao benzeno, etc. Vapores de hidrocarbonetos podem causar efeitos sobre a saúde. A inalação do aldeído fórmico pode causar irritação das vias respiratórias. O aldeído fórmico é o principal contribuidor para a irritação ocular e do sistema respiratório causada pelo smog fotoquímico (EIA/RIMA – UTE Jacuí, 2000).

3.1.5 Oxidantes Fotoquímicos

“Oxidantes Fotoquímicos” é a denominação dada á mistura de poluentes secundários formados pela reação dos hidrocarbonetos e óxidos de Nitrogênio na presença da luz solar. O principal representante desta mistura é o gás Ozônio (O₃), por isso mesmo utilizado como parâmetro indicador da presença dos oxidantes fotoquímicos, que também tem em sua composição quantidades pequenas de compostos oxigenados derivados de hidrocarbonetos (EIA/RIMA – UTE Jacuí, 2000).

GASES + RADIAÇÃO SOLAR + CATALISADORES ⇒ OXIDANTES FOTOQUÍMICOS

A radiação ultravioleta do sol sobre a atmosfera contendo hidrocarbonetos reativos (ROG – “Reactive Oxidant Gases”) e óxidos de Nitrogênio produz a oxidação do NO em NO₂, a oxidação dos hidrocarbonetos reativos e a formação de O₃, entre outros. (EIA/RIMA – UTE Jacuí, 2000).

3.1.6 Ozônio

O Ozônio (O_3) é o mais importante dos oxidantes fotoquímicos. Existe em grande quantidade na estratosfera, onde tem um papel essencial ao limitar a quantidade de radiação solar ultravioleta que atinge a superfície terrestre. Nos níveis mais baixos da atmosfera – troposfera – é um poluente secundário nocivo para a saúde (Cunha, 2002).

O Ozônio troposférico é resultante de um conjunto de reações fotoquímicas complexas envolvendo compostos orgânicos voláteis (VOC_s), Óxidos de Nitrogênio, Oxigênio e radiação solar, sendo um dos principais constituintes do nevoeiro fotoquímico (Cunha, 2002).

O Ozônio, assim como outros oxidantes fotoquímicos, penetra profundamente nas vias respiratórias, afetando os brônquios e os alvéolos pulmonares. A sua ação faz-se sentir, mesmo para concentrações baixas e para exposições de curta duração, principalmente em crianças. Manifesta-se inicialmente por irritações nos olhos, nariz e garganta, seguindo-se tosse e dor de cabeça (Cunha, 2002)

O Ozônio tem também um efeito nocivo para a vegetação e para as culturas, provocando manchas significativas nas folhas, reduções de crescimento a partir de certas concentrações e períodos de exposição, e completa destruição de culturas mais sensíveis (Boelter e Davidson, 1997).

Este poluente provoca também a degradação de alguns materiais, tais como a borracha dos limpadores de pára-brisas dos automóveis que em atmosferas urbanas poluídas perdem a flexibilidade e quebram facilmente (Cunha, 2002).

3.2. PADRÕES DE QUALIDADE DO AR

A qualidade do ar de uma região é influenciada diretamente pelos níveis de poluição atmosférica, os quais vinculados a um complexo sistema de fortes emissoras estacionárias (indústrias, queima de lixo, emissões naturais, etc.) e móveis (veículos automotores, aviões, trens, etc.) A magnitude do lançamento dessas emissões, seu transporte e diluição na atmosfera, determinam o estado atual da qualidade do ar atmosférico (Cunha, 2002).

Os poluentes do ar são geralmente considerados como as substâncias adicionadas ao ar por atividades humanas e que tem efeito adverso sobre o meio

ambiente (Hinrichs, 2009). O poluente pode ser tanto de origem antropogênica, como proveniente de emissões naturais devido à decomposição microbiana e de erupções vulcânicas, entre outras fontes.

É considerado poluente atmosférico qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou característica em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem ou possam tornar o ar:

- Impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde;
- Inconveniente ao bem estar público;
- Danoso às matérias, à fauna e flora.

Prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade.

Segundo Lyons e Scott (1990) e Seinfeld (1986) as substâncias usualmente consideradas poluentes do ar podem ser classificadas como segue:

- Material Particulado/Partículas em Suspensão: mistura de compostos no estado sólido ou líquido;
- Compostos de enxofre: óxidos (SO_2 , SO_3), gás sulfídrico (H_2S), sulfatos (SO_4^{-2});
- Monóxidos de carbono;
- Compostos de nitrogênio (NO , NO_2), amônia (NH_3), ácido nítrico (HNO_3);
- Compostos halogenados: ácido clorídrico (HCl), ácido fluorídrico (HF), cloretos, fluoretos;
- Compostos orgânicos: hidrocarbonetos, alcoóis, aldeídos, cetonas, ácidos orgânicos.

Na tabela a seguir, verificamos os principais poluentes atmosféricos gerados por diversos tipos de fontes antropogênicas e naturais de poluição do ar.

Tabela 6 – Principais poluentes atmosféricos

Fontes	Poluentes
Combustão	Material Particulado
	Óxidos de enxofre, monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio, hidrocarbonetos
Processos Industriais	Material Particulado
	Óxidos de enxofre, gás sulfídrico, mercaptanas, fluoretos, ácido clorídrico, óxidos de nitrogênio, hidrocarbonetos...
Queima de Resíduos Sólidos	Material Particulado
	Óxidos de enxofre, ácido clorídrico, óxidos de nitrogênio, hidrocarbonetos

Veículos Automotores, Motocicletas, Locomotivas, Aviões	Material Particulado Monóxido de carbono, óxidos de enxofre, óxidos de nitrogênio, hidrocarbonetos, aldeídos, ácidos orgânicos...
Naturais	Material Particulado Dióxido de enxofre, gás sulfídrico, monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio, hidrocarbonetos...
Reação Química na Atmosfera	Ozônio, aldeídos, ácidos orgânicos, nitratos orgânicos...

Existem outros poluentes atmosféricos classificados como perigosos, em razão de seu elevado potencial toxicológico. A legislação dos Estados Unidos registra mais de 300 substâncias tóxicas que, se lançadas na atmosfera, seus responsáveis devem informar a população as quantidades anualmente emitidas.

Constituem exemplos destes poluentes perigosos: chumbo, benzeno, tolueno, xileno, materiais orgânicos policíclicos, cromo, cádmio, etc. Em geral, estas substâncias não são abundantes na atmosfera onde exista desenvolvimento humano, mas podem estar mais ou menos presentes em áreas próximas de tipologias implantadas de processos produtivos e em conseqüência da densidade da frota circulante de veículos automotores, em uma determinada região.

As emissões de poluentes atmosféricos pelas fontes estacionárias e móveis de uma região, associadas às características topográficas e meteorológicas, determinam os níveis de qualidade do ar da mesma área ou região o que, em conseqüência, determina os possíveis efeitos adversos da poluição do ar sobre os receptores, que podem ser o homem, os animais, as plantas e os materiais em geral.

Os padrões de qualidade do ar (PQAr) segundo publicação da Organização Mundial da Saúde (OMS) em 2005, variam de acordo com a abordagem adotada para balancear riscos à saúde, viabilidade técnica, considerações econômicas e vários outros fatores políticos e sociais, que por sua vez dependem, entre outras coisas, do nível de desenvolvimento e da capacidade nacional de gerenciar a qualidade do ar. As diretrizes recomendadas pela OMS levam em conta esta heterogeneidade e, em particular, reconhecem que, ao formularem políticas de qualidade do ar, os governos devem considerar cuidadosamente suas circunstâncias locais antes de adotarem os valores propostos como padrões nacionais.

Através da Portaria Normativa N° 348 de 14/03/90, o IBAMA estabeleceu os padrões nacionais de qualidade do ar e os respectivos métodos de referência,

ampliando o número de parâmetros anteriormente regulamentados através da Portaria GM N° 0231 DE 27/04/76. Os padrões estabelecidos através dessa portaria foram submetidos ao CONAMA em 28/06/90 e transformados na Resolução CONAMA N° 03/90.

Os padrões de qualidade do ar podem ser divididos em primários e secundários.

São padrões primários de qualidade do ar as concentrações de poluentes que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população. Podem ser entendidos como níveis máximos toleráveis de concentração de poluentes atmosféricos, constituindo-se em metas de curto e médio prazo.

São padrões secundários de qualidade do ar as concentrações de poluentes atmosféricos abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem estar da população, assim como o mínimo dano à fauna e à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral. Podem ser entendidos como níveis desejados de concentrações de poluentes, constituindo-se em meta de longo prazo.

O objetivo do estabelecimento de padrões secundários é criar uma base para uma política de prevenção da degradação da qualidade do ar. Devem ser aplicados às áreas de prevenção (por exemplo: parques nacionais, áreas de proteção ambiental, estâncias turísticas, etc.). Não se aplicam, pelo menos em curto prazo, a áreas de desenvolvimento, onde devem ser aplicados os padrões primários. Como prevê a própria Resolução CONAMA N° 03/90, a aplicação diferenciada de padrões primários e secundários requer que o território nacional seja dividido em classes I, II e III conforme o uso pretendido. A mesma resolução prevê ainda que enquanto não for estabelecida a classificação das áreas, os padrões aplicáveis serão os primários.

Os parâmetros regulamentados são os seguintes: partículas totais em suspensão, fumaça, partículas inaláveis, dióxido de enxofre, monóxido de carbono, ozônio e dióxido de nitrogênio. Os padrões nacionais de qualidade do ar fixados na Resolução CONAMA N°03 de 28/06/90 são apresentados na tabela abaixo.

Tabela 7 – Padrões Nacionais de Qualidade do Ar (Resolução CONAMA N° 03 de 28/06/90)

PADRÕES NACIONAIS DE QUALIDADE DO AR Resolução CONAMA nº. 03 de 28/06/1990				
Poluente	Tempo de Amostragem	Padrão Primário µg/m³	Padrão Secundário µg/m³	Método de Medição****
Partículas Totais em Suspensão (PTS)	24 horas*	240	150	Amostrador de Grandes Volumes
	MGA**	80	60	
Partículas Inaláveis (PI)	24 horas*	150	150	Separação Inercial/Filtração
	MAA***	50	50	
Fumaça	24 horas*	150	100	Refletância
	MAA***	60	40	
Dióxido de Enxofre (SO2)	24 horas*	365	100	Pararosanilina
	MAA***	80	40	
Dióxido de Nitrogênio (NO2)	1 hora*	320	190	Quimiluminescência
	MAA***	100	100	
Monóxido de Carbono (CO)	1 horas*	40.000	40.000	Infravermelho não Dispersivo
		35 ppm	35 ppm	
		10.000	10.000	
	8 horas*	9 ppm	9 ppm	
Ozônio (O3)	1 horas*	160	160	Quimiluminescência

* Não deve ser excedido mais que uma vez ao ano.

** Média geométrica anual.

*** Média aritmética anual.

**** A resolução permite a utilização de método equivalente.

A mesma resolução estabelece ainda os critérios para episódios agudos de poluição do ar. Ressalte-se que a declaração dos estados de Atenção, Alerta e Emergência requer, além dos níveis de concentração atingidos, a previsão de condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos poluentes.

A Legislação Estadual também estabelece padrões de qualidade do ar e critérios para episódios agudos de poluição do ar, mas abrange um número menor de parâmetros. Os parâmetros fumaça, partículas inaláveis e dióxido de nitrogênio não têm padrões e critérios estabelecidos na Legislação Estadual.

Os parâmetros comuns à legislação federal e estadual têm os mesmos padrões e critérios, com exceção dos critérios de episódio para ozônio. Neste caso a Legislação Estadual é mais rigorosa para o nível de atenção (200 µg/m³).

3.3. LEGISLAÇÃO ESTADUAL

O Código Estadual do Meio Ambiente é o documento responsável pelas definições dos padrões e diretrizes que devem ser seguidos dentro do Estado do Rio Grande do Sul pelas empresas. O Capítulo 3º deste código trata especificamente da utilização e conservação do ar.

Estabelece que a gestão dos recursos atmosféricos deverá ser realizada por Regiões de Controle da Qualidade do Ar e por Áreas Especiais, com a adoção de ações gerenciais específicas e diferenciadas, se necessário, de modo a buscar o equilíbrio entre as atividades vinculadas ao desenvolvimento sócio-econômico e a manutenção da integridade da atmosfera. A gestão deverá compreender o controle da qualidade do ar; o licenciamento e o controle das fontes poluidoras atmosféricas fixas e móveis; a vigilância e a execução de ações preventivas e corretivas; a adoção de medidas específicas de redução da poluição, diante de episódios críticos de poluição atmosféricas; a execução de ações integradas aos Programas Nacionais de Controle da Qualidade do Ar, dentre outros.

Em um parágrafo único estabelece que a manutenção da integridade da atmosfera depende da verificação simultânea de diversos condicionantes, tais como, dos padrões de qualidade do ar e dos padrões de emissão aplicados às fontes poluidoras; de indicadores de precipitação de poluentes; do equilíbrio biofísico das espécies e dos materiais com os níveis de poluentes na atmosfera, dentre outros.

Ainda, compete ao Poder Público estabelecer e garantir a manutenção dos padrões de qualidade do ar, capazes de proteger a saúde e o bem-estar da população, permitir o desenvolvimento equilibrado da flora e da fauna e evitar efeitos adversos nos materiais e estabelecimentos privados e públicos.

De forma interessante coloca ainda que o Poder Público deve garantir a realização do monitoramento sistemático da qualidade do ar, dos estudos de diagnóstico e planejamento de ações de gerenciamento da qualidade do ar, com base na definição das Regiões e Áreas Especiais de Controle da Qualidade do Ar, dotando os órgãos públicos de proteção ambiental das condições e infra-estrutura necessárias.

Apesar de tudo isso, cabe lembrar que na maioria das vezes, é difícil ao órgão estadual do Rio Grande do Sul (FEPAM), fiscalizar e manter um padrão de controle adequadamente estabelecido, isso se justifica pelo sucateamento dos equipamentos

de controle e falta de investimentos dentro do órgão. Desta forma, a fiscalização se torna muitas vezes insuficiente e incapaz de prevenir algum problema que possa de alguma forma ser gerenciado antes que algum risco à população possa ser causado.

Cabe também ao Poder Público, definir as regiões e áreas especiais de Controle da Qualidade do Ar, bem como suas classes de uso, como estratégia de implementação de uma política de prevenção à deterioração significativa da qualidade do ar e instrumento de priorização e direcionamento das ações preventivas e corretivas para a utilização e conservação do ar.

O Código Estadual estabelece que: Área Classe I: são classificadas todas as áreas de preservação, lazer e turismo, tais como Unidades de Conservação, estâncias hidrominerais e hidrotermais - nacionais, estaduais e municipais - onde deverá ser mantida a qualidade do ar em nível o mais próximo possível do verificado sem a intervenção antropogênica; Área Classe II: são assim classificadas todas as áreas não classificadas como I ou III; Área Classe III: são assim classificadas todas as áreas que abrigam Distritos Industriais criados por legislação própria.

No caso do município de Charqueadas, a Usina Termelétrica se enquadra, na Classe II e Padrão de Qualidade II do ar. A Usina se torna um caso especial por não estar localizada num Distrito Industrial, mas sim por estar no centro da cidade e essa ter se desenvolvido no seu entorno.

Ainda, cada estado deveria elaborar e coordenar a implementação dos Planos de Controle da Poluição Atmosférica para as Regiões e Áreas Especiais de Controle da Qualidade do Ar com o objetivo de realização das ações preventivas e corretivas. Considera-se este ponto de relevância tal que as ações preventivas demonstram-se mais importantes a certo ponto do que as corretivas. Para o meio ambiente deve-se mudar o pensamento de apenas corrigir depois de degradado o meio, mas sim de prevenir a degradação seja do ar, solo ou da água.

Para que este trabalho de prevenção seja eficiente, limites máximos de emissão e de condicionamento para o lançamento de poluentes na atmosfera deve ser estabelecido. Não esquecendo das Classes de Uso, das condições de dispersão de poluentes atmosféricos da região, da densidade de emissões existentes, das diferentes tipologias de fontes poluidoras e dos padrões de qualidade do ar a serem mantidos.

Outro ponto importante que a legislação estadual estabelece é a realização de ações de fiscalização dos limites máximos de emissão e as condições de

lançamento de poluentes atmosféricos e, se necessário, o monitoramento de emissões, às expensas do agente responsável pelo lançamento. No caso da Usina Tractebel, mensalmente são entregues relatórios à FEPAM sobre dados de Dióxido de Enxofre (SO₂) e Material Particulado (MP). Trimestralmente estas informações são fornecidas à Prefeitura de Charqueadas, de forma voluntária. Esse passo é muito importante, pois a Usina informa as autoridades locais e a comunidade do seu interesse em manter a qualidade do ar o melhor possível de acordo com os padrões pré-estabelecidos.

Para que todo este processo seja efetivo, a Usina segue programas e metodologias de monitoramento de poluentes na atmosfera, nas fontes de emissão e de seus efeitos, definidos pelo Poder Público.

Ainda, outro ponto importante é o de incentivar a realização de estudos e pesquisas voltadas à melhoria do conhecimento da atmosfera, o desenvolvimento de tecnologias minimizadoras da geração de emissões atmosféricas e do impacto das atividades sobre a qualidade do ar, assim como para esta pesquisa, onde a Usina Tractebel Energia de Charqueadas disponibilizou as informações de MP para que fosse possível a realização desse estudo.

O processo de gestão ambiental de qualquer empresa potencialmente poluidora é de fundamental importância para a sociedade e para o futuro do ar que se respira e que as futuras gerações respirarão. Assim, o esforço conjunto de Universidades e empresas para o desenvolvimento científico se faz indispensável.

O Art. 150 do Código Estadual de Meio Ambiente, impõem que através de legislação específica deverá ser criado um Plano de Emergência para Episódios Críticos de Poluição do Ar, visando à adoção de providências dos Governos Estadual e Municipal, assim como de entidades privadas, públicas e da comunidade em geral, com o objetivo de prevenir grave e iminente risco à saúde da população.

Neste plano de emergência deverão ser previstas as autoridades responsáveis pela declaração dos diversos níveis dos episódios, devendo estas declarações efetuarem-se por quaisquer dos meios usuais de comunicação de massa, e ainda, as restrições e sua aplicação, previamente estabelecidas pelo órgão de controle ambiental, a que estarão sujeitas as fontes de poluição do ar, durante a permanência dos diversos níveis de episódios.

O Código ainda veda à todo o proprietário, responsável, locador ou usuário de qualquer forma, de empresa, empreendimentos, máquina, veículo, equipamento e

sistema combinado, emitir poluentes atmosféricos ou combinações destes em desacordo com as qualidades, condições e limites máximos fixados pelo órgão ambiental competente; em concentrações e em duração tais que sejam ou possam tender a ser prejudiciais ou afetar adversamente a saúde humana; e em concentrações e em duração tais que sejam prejudiciais ou afetar adversamente o bem-estar humano, a vida animal, a vegetação ou os bens materiais, em Áreas Classe I ou II.

No artigo 152, fica estabelecido que toda empresa, empreendimento, máquina, veículo, equipamento e sistema combinado existente, localizado em Áreas Classe II, mesmo em conformidade com a legislação ambiental, que estiver interferindo no bem-estar da população, pela geração de poluentes atmosféricos, adotará todas as medidas de controle de poluição necessárias para evitar tal malefício, não podendo ampliar sua capacidade produtiva ou sua esfera de ação sem a adoção desta medida de controle. Respeitando esse artigo é que a Usina Termelétrica atua, onde desde 1987, procura implementar melhorias significativas dentro da empresa, visando a redução de emissões de poluentes atmosféricos em graus não aceitáveis de acordo com a legislação.

As fontes emissoras de poluentes atmosféricos, em seu conjunto, localizadas em área de Distrito Industrial, classificada como Classe III, deverão lançar seus poluentes em quantidades e condições tais que não ocasionem concentrações, ao nível do solo, superiores aos padrões primários de qualidade do ar, dentro dos limites geográficos do Distrito Industrial e não ocasionem concentrações, ao nível do solo, superiores aos padrões secundários de qualidade do ar, fora dos limites geográficos do Distrito Industrial.

Na verdade, a Usina Termelétrica Tractebel Energia deveria estar localizada dentro de um Distrito Industrial, mas na época em que foi instalada, por falta de legislação adequada e mesmo por falta de conscientização ambiental, a cidade acabou estruturando-se no entorno da Usina. Obviamente, hoje os rigores quanto à quantidade de poluentes que podem ser emitidos a atmosfera são mais rigorosos.

CAPITULO IV

CAMADA LIMITE PLANETÁRIA

A dispersão de poluentes causados por fontes antropogênicas ocorre em uma região particular da atmosfera: a camada Limite Planetária (CLP). Esta é a região diretamente influenciada pela presença da superfície terrestre. A extensão dessa camada é variável no tempo e no espaço. Durante a noite ela pode não ser superior a uma ou duas centenas de metros. Durante o dia ela pode se estender até alguns quilômetros. A altura dessa camada, assim varia ao longo do dia, varia também ao longo do ano. Em um mesmo local ela é diferente no inverno e no verão. Ela também é diferente para diferentes locais. A CLP em regiões tropicais é bem distinta daquela observada em regiões temperadas. A CLP sobre oceanos é muito diferente da CLP sobre a terra sólida, assim como a CLP sobre desertos possui pouca, ou quase nenhuma semelhança do que a observada sobre uma área com vegetação urbana (Moraes, 2010).

Os perfis de vento, temperatura, umidade e concentração de gases e partículas são altamente variáveis na CLP. Estes perfis, na presença de turbulência, asseguram forte transferência, destas propriedades, na direção vertical. O efeito da turbulência é homogeneizar de modo rápido, as variáveis médias. Na ausência de turbulência o caminho para uma distribuição uniforme é muito lenta. Ela ocorre apenas por efeito molecular. Na atmosfera, os fluxos turbulentos são milhões de vezes maiores do que os fluxos moleculares (Moraes, 2010).

4.1 ESTRUTURA DA CAMADA LIMITE PLANETÁRIA

Sua divisão é feita de acordo com os processos físicos e de mistura que nela ocorrem, podendo ser classificada como Camada superficial (CS), Camada Limite Convectiva ou Camada de Mistura (CLC), Camada Residual (CR), Camada Limite Estável (CLE),

A camada superficial está logo acima da superfície da terra, bem próxima do solo. Nela os fluxos turbulentos e tensões variam em menos de 10% de sua magnitude total e os efeitos da turbulência estão sempre presentes, não importando se a camada é diurna ou noturna. Assim sendo, possui uma altura de aproximadamente 10% da altura da camada limite planetária.

A camada de mistura (CM) é caracterizada pela não existência de gradientes verticais intensos de temperatura, estes são quase nulos. É uma camada instável, se apresentando no ciclo diurno.

Aproximadamente meia hora após o nascer do sol, a camada de mistura começa a se desenvolver em espessura, devido principalmente a radiação solar, atingindo a sua máxima espessura no final da tarde.

Quando o aquecimento da camada de mistura é muito intenso, a pluma é transportada rapidamente para o solo devido à existência de grandes turbilhões.

A camada de mistura residual (CR) é gerada no final do dia, quando a superfície não é mais aquecida pelo sol, onde a turbulência de origem térmica perde sua fonte de energia e dissipa-se.

Meia hora antes do pôr do sol com a diminuição da turbulência térmica o ar próximo à superfície começa a se resfriar, diminuindo a produção térmica e em compensação aumentando a produção mecânica. A camada de ar resultante é chamada de camada residual porque inicialmente as variáveis meteorológicas e de concentração são as mesmas da camada de mistura recentemente decaída.

A camada limite estável (CE) se desenvolve no ciclo noturno. A região em contato com a superfície passa a se resfriar.

Durante a transição da camada limite instável para estável que ocorre próximo ao por do sol, os turbilhões tornam-se pequenos próximos à superfície sendo o responsável por esta redução dos vórtices turbulentos é o estabelecimento de um gradiente de temperatura vertical estável que gera uma camada de inversão.

A noite, a atmosfera é marcada pela restrição aos movimentos turbulentos, de origem térmica, que ocorrem devido ao resfriamento radiativo da superfície e conseqüentemente do ar junto a ela, acima observa-se uma camada de transição onde os gradientes são aproximadamente nulos.

No período noturno, com a camada limite planetária no estado estável, a dispersão de contaminantes é uma função direta da altura da chaminé.

Em regiões elevadas da camada limite estável, alturas da ordem de 150 metros ou mais o poluente sofre uma pequena mistura vertical, ou seja, a expansão vertical da pluma é bastante reduzida. Ela pode percorrer várias dezenas de quilômetros sem sofrer qualquer dispersão vertical apreciável (ALVES, 1996).

A camada neutra é característica de dias coberto por nuvens e ventos fortes, podendo ser observado durante o período diurno ou noturno. Nessa condição de

atmosfera neutra a pluma de poluentes apresenta-se em forma de cone, com um eixo horizontal bem definido. No caso convectivo a fumaça atinge a superfície em distâncias próximas a fonte, enquanto em condições neutras, onde ocorre a igualdade na dimensão dos turbilhões nas três direções espaciais, o poluente percorre uma longa distância até atingir o solo.

4.2 DISPERSÃO DE POLUENTES

O movimento vertical do ar e os ventos são mecanismos muito importantes de dispersão dos poluentes do ar. A mistura vertical será restrita se existir uma inversão térmica. Isto ocorre quando uma camada de ar mais quente se posiciona acima da camada mais fria, colocando com efeito uma tampa sobre a região e, portanto, impedindo que ocorra a dispersão atmosférica dos poluentes. À medida que a fumaça de, digamos uma usina elétrica ascende a atmosfera, ela se expande e resfria. Enquanto ela for mais quente do que o ar circundante, será menos densa e será empurrada ainda mais para cima porém se chegar a uma região mais quente (menos densa) , ela irá parar de subir. Esta região de inversão térmica de baixa altitude irá aprisionar todos os poluentes sob ela (Hinrichs, 2009).

As emissões de poluentes podem ser divididas em dois tipos básicos, tais como liberações descontínuas de poluentes que são geralmente chamadas de “puff” e liberações contínuas conhecidas como “plumas”.

Os poluentes lançados para a atmosfera por fontes naturais ou antropogênicas sofrem influência de dois componentes do movimento atmosférico: o vento médio que transporta os poluentes de um ponto ao outro e os movimentos turbulentos que dispersam os poluentes da posição média, no sentido horizontal e vertical. Estes movimentos básicos do vento são afetados pela rugosidade da superfície e pelos gradientes de temperatura (Stern, 1984).

Do ponto de vista físico não existem dúvidas de que um fenômeno de fundamental importância para o transporte de poluentes na atmosfera é a movimentação do ar, a qual se manifesta na forma de advecção e de difusão turbulenta. A advecção resulta do movimento médio do ar carregando os poluentes junto com o vento médio, enquanto que a difusão turbulenta espalha os poluentes no espaço de maneira tridimensional (Braga, 2002).

Junto com a altitude a rugosidade do terreno tem um efeito significativo nos perfis da velocidade do vento nos primeiros 500m da atmosfera. Os efeitos de

turbulência e atrito de uma superfície rugosa reduzem a inclinação da velocidade do vento vertical. Assim, em geral a velocidade do vento não aumenta de intensidade em relação à altitude sobre uma área urbana quando comparada ao que acontece sobre uma área rural. As características da diluição sobre áreas rural e urbana freqüentemente diferem significativamente (Cunha, 2002)

Nas avenidas e entorno dos edifícios de uma cidade o vento apresenta características diferentes daquelas encontradas nas zonas rurais devido à superfície irregular e desigual. A rugosidade da superfície urbana gera turbulência mecânica, resultado do movimento forçado do ar ao desviar-se de um obstáculo. A separação do fluxo entre edifícios gera concentrações mais altas de poluentes ao redor deles, devido ao efeito “downwash” que não permitem a elevação da pluma (Cunha, 2002).

A relação entre processos térmicos e mecânicos com o ar é, em geral o processo mais importante de dispersão relacionado com aéreo transporte de contaminantes (Cunha, 2002).

4.3 ESTABILIDADE ATMOSFÉRICA

Quando nos referimos a estabilidade atmosférica, estamos admitindo que ela ocorre da seguinte maneira:

- Estabilidade Atmosférica Neutra: quando não existe troca de calor no ambiente, isto é, o movimento vertical é nulo, não existindo forçantes em qualquer direção.
- Estabilidade Atmosférica Instável: quando a temperatura vertical diminui mais rapidamente com o aumento da altitude, então a atmosfera é dita estar instável. O movimento vertical é acentuado sob estas condições. Em relação a dispersão estas condições são as mais favoráveis porque o grau de mistura vertical é maior em uma atmosfera instável.
- Estabilidade Atmosférica Estável: condição onde a temperatura não diminui rapidamente com o aumento da altitude. O movimento vertical é parcialmente limitado sob estas condições. Em caso extremo de estabilidade atmosférica, a inversão de temperatura impede o movimento vertical, resultando em uma inversão próxima a superfície. Esta condição é considerada desfavorável para a dispersão.

CAPITULO V

MODELO DE DISPERSÃO ATMOSFÉRICA

Os modelos de dispersão atmosféricos aplicados para o cálculo da dispersão de um poluente, ensinam a conhecer os problemas mais complexos dos processos relacionados à difusão turbulenta. Essa turbulência atmosférica é uma propriedade de fácil identificação mas de difícil definição, que cuja composição é de movimentos irregulares e caóticos que estão presentes em todos os escoamentos de aplicações práticas (Nedel, 2003)

Modelo de dispersão é a descrição matemática dos processos de difusão turbulenta e transporte que ocorrem na atmosfera. A relação entre a emissão do poluente e a concentração medida em um ponto receptor específico é uma função das condições meteorológica e da relação espacial entre a fonte e o receptor.

Deste modo, os dados de entrada necessários para os modelos incluem os parâmetros meteorológicos, de fonte e de receptor (Hanna et al., 1982).

Os modelos de dispersão atmosféricos aplicados para o cálculo da dispersão de um poluente, ensinam a conhecer os problemas mais complexos dos processos relacionados à difusão turbulenta e dos transportes turbulentos que acontecem na atmosfera, ou seja, de onde vem o poluente e para onde ele vai. Esses modelos são baseados em equações matemáticas e permitem conhecer como os termos destas equações agem na dispersão dos contaminantes para a atmosfera. Ao parametrizarmos cada equação, pode-se ter uma visão de qual é a contribuição de cada termo para a solução de determinado problema. Assim, além da matemática desses modelos é necessário conhecer também a física da atmosfera onde ocorre tal dispersão (Nedel, 2003).

Os dados de entrada necessários para a utilização dos modelos de dispersão incluem dados meteorológicos e outros dados importantes que afetam a dispersão (DAMASO, 1992). A seguir é relacionada uma breve descrição de alguns parâmetros utilizados para inicializar os modelos de dispersão:

- a) A temperatura e a velocidade de saída dos gases. Nas chaminés menores a força ascendente é relativamente baixa e a temperatura de exaustão pode não superar a do ar ambiente. Em consequência, o maior efeito dessas fontes é sentido ao lado das mesmas. As emissões que provém de instalações

industriais com fontes de alturas mais elevadas, possuem temperaturas mais altas e são, portanto induzidas a ascender mais rapidamente, com efeito, sendo sentido a distâncias maiores.

- b) A altura das chaminés: o uso das chaminés elevadas contribui para uma dispersão dos poluentes sobre áreas mais intensas. Com aplicação de modelos matemáticos é necessário que se tenha um bom conhecimento das relações entre a intensidade da fonte, altura da chaminé e as concentrações dos contaminantes ao nível do solo. As chaminés de altura mais elevadas são muito usadas em plantas de geração de energia.
- c) A topografia: suas características são importantes devido ao efeito que podem causar sobre a dispersão dos poluentes, principalmente em fontes pontuais (chaminés).

Em geral os pontos receptores discretos correspondem a localização dos pontos de monitoramento da qualidade do ar.

5.1 MODELO DE PLUMA GAUSSIANA

A dispersão de poluentes na atmosfera ocorre através de dois processos: difusão turbulenta e transporte na atmosfera. A estimativa da dispersão de poluentes é dada pela teoria estatística de dispersão turbulenta ou pela solução da equação de difusão.

Na teoria estatística de difusão aplica-se dispersão em um campo de turbulência homogêneo e estacionário, ou seja, as propriedades estatísticas da turbulência são uniformes no espaço e estacionárias no tempo.

A maioria das estimativas da dispersão de poluentes são baseadas no modelo de difusão tipo pluma gaussiana, aplicando este modelo, devido às condições meteorológicas assume-se que a pluma irá espalhar-se, tanto horizontalmente quanto verticalmente, de acordo com a distribuição gaussiana.

O modelo de pluma Gaussiana é normalmente aplicado, quando se quer estimar as distribuições de concentrações a partir de determinada emissão industrial, estabelecendo-se condições de contorno para a movimentação do ar em torno das emissões. Esse modelo é a solução da equação difusão-advectação, a qual descreve matematicamente os processos de transporte e difusão turbulenta que ocorrem na atmosfera. Considera que a dispersão de uma pluma lançada na atmosfera pontualmente se dá de tal modo que a concentração dos poluentes na pluma, em

relação à posição fixa da fonte, exibe um comportamento Gaussiano. Isto pode ser exemplificado ao se observar emissões de plumas por chaminés, sob condições atmosféricas favoráveis. Uma fotografia de exposição prolongada revelaria tal comportamento Gaussiano ao longo do tempo (Kerr, 1983)

Partindo-se da equação da continuidade, sendo c a concentração local, unidades de massa por unidades de volume do fluido e admitindo o fluido (ar) incompressível, a equação da continuidade pode ser descrita na forma (Seinfeld, 1986):

$$\frac{dc}{dt} = 0$$

onde :

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} + v \frac{\partial c}{\partial y} + w \frac{\partial c}{\partial z} = 0$$

ou seja:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = - \left[\frac{\partial}{\partial x} (uc) + \frac{\partial}{\partial y} (vc) + \frac{\partial}{\partial z} (wc) \right] \quad (1)$$

onde:

c = Concentração de poluentes

u = Velocidade horizontal do vento

v = Velocidade meridional do vento

w = Velocidade vertical do vento

t = tempo

x, y, z = São as coordenadas de posição

uma aproximação usual para esse estudo, é supor que as variáveis são decompostas em uma parte média (efeito das quantidades médias) e uma parte perturbada , flutuante (efeito da turbulência), isto é:

$$u = \bar{u} + u' \quad v = \bar{v} + v' \quad w = \bar{w} + w' \quad c = \bar{c} + c'$$

Aplicando agora a média de Reynolds, a equação (1) fica:

$$\frac{\partial \bar{c}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{c}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{c}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{c}}{\partial z} = \left[\frac{\partial}{\partial x} (\overline{u'c'}) + \frac{\partial}{\partial y} (\overline{v'c'}) + \frac{\partial}{\partial z} (\overline{w'c'}) \right] \quad (2)$$

Através do fechamento de primeira ordem para a equação acima, os fluxos turbulentos tornam-se:

$$\overline{w'c'} = -K_{xx} \frac{\partial \bar{c}}{\partial x} \qquad \overline{v'c'} = -K_{yy} \frac{\partial \bar{c}}{\partial y} \qquad \overline{u'c'} = -K_{zz} \frac{\partial \bar{c}}{\partial z}$$

Onde: K_{xx}, K_{yy}, K_{zz} , são os coeficientes de difusão nas direções x, y, z .

Fazendo agora o processo de substituição desses fluxos na equação (2) chegaremos na equação Difusão- Advecção abaixo:

$$\frac{\partial \bar{c}}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} \frac{\partial \bar{c}}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} \frac{\partial \bar{c}}{\partial y} \right) - \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{zz} \frac{\partial \bar{c}}{\partial z} \right) \quad (3)$$

que possibilita considerar diferentes difusividades em diferentes direções, significando que o processo de difusão não é necessariamente isotrópico.

O modelo de pluma gaussiana considera que $K_{xx} = K_{yy} = K_{zz}$ e independentes de x, y e z . A equação Difusão- Advecção pode ser resumida a:

$$\frac{\partial \bar{c}}{\partial t} = -K \frac{\partial^2 \bar{c}}{\partial x^2} \quad (4)$$

Considerando o transporte para uma dimensão:

$$\frac{\partial \bar{c}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{c}}{\partial x} = -K \frac{\partial^2 \bar{c}}{\partial x^2} \quad (5)$$

Onde:

$$\frac{\partial \bar{c}}{\partial t} = \text{variação temporal em uma posição fixa no espaço}$$

$$\bar{u} \frac{\partial \bar{c}}{\partial x} = \text{advecção da concentração a uma velocidade média } u$$

Para a solução da equação acima (4) faz-se necessário levar em conta algumas condições de contorno, considerando-se uma fonte pontual de poluentes (Usina).

a) A concentração vai a zero em todos os pontos, quando o tempo após o abandono do poluente aproxima-se do infinito (com exceção de quando $x=0$, onde zero é a posição da fonte).

b) $\int_{-\infty}^{+\infty} c dx = Q$, dado Q como intensidade da fonte, que é a emissão total de concentração da fonte localizada em $x=0$.

Assim, resolvendo a equação 4, para uma fonte pontual instantânea temos:

$$c = \frac{Q}{(4kt)^{1/2}} \exp\left(-\frac{x^2}{4kt}\right) \quad (6)$$

Que se aplica a uma atmosfera onde \bar{u} é constante, $v = w = 0$, e para o caso em que as coordenadas movem-se com o vento médio u .

Para três dimensões, (6) torna-se:

$$c = \frac{Q}{(4kt)^{3/2}} \exp\left(-\frac{r^2}{4kt}\right) \quad (7) \quad \text{sendo } r^2 = x^2 + y^2 + z^2 \text{ e como a atmosfera não é}$$

isotrópica ($K_{xx} \neq K_{yy} \neq K_{zz}$):

$$c(x, y, z, t) = \frac{Q}{(4\pi t)^{3/2} (k_{xx} k_{yy} k_{zz})^{1/2}} \exp\left[-\frac{1}{4t} \left(\left(\frac{x^2}{k_{xx}} \right) + \left(\frac{y^2}{k_{yy}} \right) + \left(\frac{z^2}{K_{zz}} \right) \right)\right] \quad (8)$$

Que é a solução da equação Difusão Advecção, utilizada pelo modelo tipo pluma gaussiana para calcular a distribuição da concentração de poluentes.

O modelo gaussiano se aplica no limite de grandes tempos de difusão e para condições atmosféricas estacionárias e homogêneas.

Sabendo-se que σ é coeficiente de difusão turbulenta, e substituindo a expressão $\sigma^2 = 2kt$, e finalmente considerando-se que na atmosfera o processo de difusão não é isotrópico ($\sigma_x \neq \sigma_y \neq \sigma_z$), tem-se:

$$\bar{c}(x, y, z, t) = \frac{Q}{(2\pi)^{3/2} (\sigma_x \sigma_y \sigma_z)} \exp \left[- \left(\frac{(x - \bar{u}t)^2}{2\sigma_x^2} + \frac{y^2}{2\sigma_y^2} + \frac{z^2}{2\sigma_z^2} \right) \right] \quad (9)$$

Onde:

Q: taxa de emissão de poluentes da usina

c: concentração do poluente (g/s)

$$r^2 : x^2 + y^2 + z^2 = (x - \bar{u}t)^2 + y^2 + z^2$$

\bar{u} : velocidade média (m/s) do poluente transportado ao longo do eixo x.

Ao consideráramos a homogeneidade horizontal e que o transporte do poluente é feito apenas pelo vento médio u, a difusão ao longo do eixo x pode ser menosprezada. Assim a equação (9) pode ser reduzida a:

$$\bar{c}(x, y, z) = \frac{Q}{(2\pi) u \sigma_y \sigma_z} \exp \left(- \frac{y^2}{2\sigma_y^2} \right) \left[\exp - \frac{(z-h)^2}{2\sigma_z^2} + \exp - \frac{(z+h)^2}{2\sigma_z^2} \right] \quad (10)$$

Onde: Q é a intensidade de emissão da fonte, σ_y e σ_z são os coeficientes de difusão nas direções Y e z respectivamente, z é a altura na qual foram coletados os parâmetros meteorológicos , h a altura da fonte, y a direção transversal ao deslocamento da pluma (Braga, 2002).

O modelo utilizado neste estudo é o ISCST3, o qual é um modelo de dispersão atmosférica tipo pluma Gaussiana recomendado pela EPA (Environmental Protection Agency).

Através da modelagem numérica temos acesso aos valores máximos de concentrações de diferentes tipos de contaminantes, considerando uma fonte única ou uma grande variedade de fontes associadas a um complexo industrial. Podem ser especificadas as localizações dos pontos receptores, assim como a representação da grade pode ser em coordenadas Cartesianas ou polares.

O ISCST3 pode ser usado para modelar contaminantes primários, assim como lançamentos contínuos para a atmosfera de contaminantes tóxicos e perigosos.

O modelo usa um conjunto de dados meteorológicos, para responder pelas condições atmosféricas que afetam a distribuição dos impactos da poluição de ar na área que esta sendo modelada.

Os resultados das saídas do modelo para concentração podem ser deposição total de fluxo, deposição seca e deposição úmida.

Para inicializar o modelo ISCST 3 são necessárias informações relacionadas as fontes de emissão, tais como; temperatura (°K) e velocidade de saída dos gases (m/s), diâmetro interno e altura da fonte (m), taxa de emissão dos gases (g/s) e o arquivo de dados meteorológicos contendo informações da direção e velocidade do vento, temperatura do ar, classe de estabilidade e altura da camada limite planetária.

5.2 APLICAÇÃO DO MODELO GAUSSIANO ISCST 3

Este modelo foi concebido para estimar as concentrações de poluentes em terrenos de topografias simples, intermediárias e complexas, assim classificadas, na medida em que a rugosidade da superfície corresponde a diversas configurações: áreas planas, regiões montanhosas e vales.

O ISCST3 é um modelo de dispersão tipo pluma gaussiana que considera o estado estável da atmosfera. Pode ser utilizado para descrever a dispersão de poluentes de um complexo industrial com várias modalidades de fontes: área, volume e linha (LYONS,1990).

O ISCST3 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 (ALVES, 1996).

O ISCST3 é projetado para calcular concentrações ou valores de deposição seca e úmida, para períodos de tempo de 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 12 e 24 horas. Pode calcular também concentrações anuais se utilizados dados seqüenciais para o período de um ano; calcula ainda as concentrações em cada ponto do receptor. Como tem tratamento para topografia pode ser aplicado para terrenos planos como terrenos irregulares.

Equação:

$$H' = H + Z_s - Z - RHT \text{ onde:}$$

H' – altura de estabilização da pluma

H – altura efetiva da chaminé

Z_s – altura da base da chaminé em relação ao nível do mar

Z – altura do terreno no receptor em relação ao nível do mar

RHT – altura do receptor acima da altura do terreno

5.3 CLASSE DE ESTABILIDADE

Para aplicação prática dos modelos de pluma gaussiana é necessário determinar valores numéricos para os coeficientes de dispersão.

Na ausência de dados de turbulência é necessário estimar os coeficientes de dispersão através de métodos empíricos; o método mais utilizado para estimar a dispersão na CLP (Camada Limite Planetária) é baseado na classificação de estabilidade de um sistema proposto por Pasquill e mais tarde modificado por Gifford (1976), conforme mostra a tabela (SEINFELD, 1986).

Tabela 8 – Classe de Estabilidade de Pasquill

Classes	Representa
A	Condições extremamente instáveis
B	Condições moderadamente instáveis
C	Condições fracamente instáveis
D	Condições neutras
E	Condições fracamente estáveis
F	Condições moderadamente estáveis

Tabela 9 – Sistema modificado por Gifford

Vento de Superfície	Dia			Noite	
	Radiação Solar			Nublado	
	Forte	Moderado	Fraco	$\geq 4/8$ Nuvens baixas	$\leq 4/8$ Nuvens
< 2	A	A-B	B		
2 - 3	A-B	B	C	E	F
3 - 5	B	B-C	C	D	E
5 - 6	C	C-D	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D

O sistema Pasquill-Gifford associa as características da CLP com observações meteorológicas rotineiras. Esse esquema classifica o estado turbulento da atmosfera em seis categorias diferentes que são determinadas através do vento na superfície, insolação e cobertura de nuvens. As seis classes variam de A (fortemente instável) a F (moderadamente estável) (ALVES, 1996).

CAPITULO VI

MONITORAMENTO AMBIENTAL NA REGIÃO DE INFLUÊNCIA DA TERMELÉTRICA

6.1 HISTÓRICO AMBIENTAL DA USINA TRACTEBEL ENERGIA

Na década de 80 ocorreu uma rápida evolução das necessidades de controle ambiental e das exigências da legislação vigente. As usinas termelétricas, em operação e as que estavam em implantação antes de 1986, ficaram repentinamente sujeitas às exigências de controle de poluição mais rigorosas que as vigentes na época da concepção dessas usinas.

Ao enfrentar o desafio de explorar as reservas nacionais de carvão situadas na área de concessão da ELETROSUL, para a realização de um programa de geração termelétrica de grande porte, cuja concepção era do início da década de 80, houve também a consciência de que, ao lado dos aspectos tecnológicos inerentes ao processo de geração, haveria necessidade de uma atenção particular e crescente às questões de natureza ambiental.

Paralelo a essa postura e visão interna da empresa, também a sociedade passou a se organizar de forma muito mais efetiva para a cobrança de soluções e providências capazes de assegurar uma qualidade de vida adequada.

Dentro desse quadro de influências, a empresa buscou capacitar-se no conhecimento das implicações ambientais ligadas à geração termelétrica à carvão e das alternativas tecnológicas para seu controle.

Neste sentido a medição sistemática dos níveis de qualidade do ar e da água constituía-se em um importante subsídio as ações de controle ambiental, tanto ao nível de sistema de controle de efluentes quanto em relação à saúde pública.

Para operacionalizar esses objetivos, a ELETROSUL, em 1986 iniciou um programa de monitoramento da qualidade do ar e da água na área de influência de suas Usinas Termelétricas (Charqueadas-RS, Jacuí-RS e Jorge Lacerda – SC).

O programa de monitoramento da qualidade do ar em Charqueadas, entrou em operação no segundo semestre de 1986 e constava de estações fixas e móveis, para estudarem vários locais de interesse. Os parâmetros monitorados desde aquela época são material particulado e dióxido de enxofre, que são poluentes emitidos em

maior quantidade por usinas que utilizam como combustível principal, carvão mineral.

6.2 PARÂMETROS MONITORADOS

Atualmente, estão em operação duas estações de monitoramento ambiental fixas e uma estação meteorológica. A localização das estações de monitoramento e a justificativa para sua localização estão descritos abaixo:

- Estação DEPREC: Localiza-se na Superintendência de Portos e Hidrovias na Vila Maria, no município de Triunfo/RS. Justificativa: foi localizada visando monitorar o mais próximo possível do ponto de máximo impacto definido pela modelagem matemática do EIA – RIMA Jacuí.
- Estação Vila Arranca Toco: Localiza-se na vila Arranca Toco, esquina das ruas José Rui de Ruiz e Júlio Rosa no município de Charqueadas/RS. Justificativa: sua localização foi definida pela consultora BECHTEL, baseado na modelagem matemática, como sendo uma área de máximo impacto para os efluentes gasosos da UTCH (Charqueadas) e UTE (Jacuí).

A partir de novembro de 2009 a Tractebel modernizou as Estações de monitoramento com melhorias nas Estações, aquisição de novos equipamentos e ampliação dos parâmetros monitorados.

Os parâmetros monitorados estão descritos abaixo:

→ Estação DEPREC:

- TSP (Partículas Totais em Suspensão);
- SO₂ (Dióxido de Enxofre);
- NO_x (Óxidos de Nitrogênio).

→ Estação Vila Arranca Toco:

- TSP (Partículas Totais em Suspensão);
- PM10 (Partículas inaláveis);
- SO₂ (Dióxido de Enxofre);
- NO_x (Óxidos de Nitrogênio);
- O₃ (Ozônio).
- CO (Monóxido de Carbono)

→ Estação Meteorológica:

A estação meteorológica é composta dos seguintes módulos:

- Sensor de direção do vento;

- Sensor de velocidade do vento;
- Sensor de temperatura e umidade relativa do ar;
- Sensor de pressão atmosférica;
- Sensor de precipitação pluviométrica;
- Sensor de radiação global;
- Pára – raios;
- Software de comunicação por computador.



Figura 12 – Vista interna da Estação Arranca Toco



Figura 13 – Vista interna da Estação DEPREC

6.3 ANALISADORES DE GÁS

Os analisadores utilizados nas Estações de Monitoramento são da marca Horiba, série AP, que têm sido considerados os melhores analisadores para ar ambiente do mundo, não só pela robustez como pela confiabilidade, assistência técnica e facilidade de operação. Os analisadores da série AP-370 são extremamente compactos e de manutenção muito fácil para analisadores de tão grande exatidão. Podem ter calibração automática, operada pelo usuário ou pela porta RS-232, podem trabalhar em ranges (escalas, faixas de medição) automáticas, para melhorar a exatidão de medição, podem ter vários tipos de saídas selecionáveis de dados como, por exemplo: valores instantâneos, valores integrados, médias móveis, médias simples, etc. Estes analisadores podem armazenar dados na memória com até 1000 dados de cada tipo. Sua saída de dados pode ser: analógica ou serial, permitindo comando à distância.

Os analisadores da série AP são compatíveis aos métodos designados ou equivalentes da US EPA.

➤ **APOA-370CE MONITOR DE OZÔNIO (O3)**

O APOA-370CE é um instrumento automático que emprega o método de absorção de raios ultravioleta monitorando continuamente concentrações de ozônio no ambiente.

O removedor (Scrubber) de ozônio, produzido com lã de prata reduz o tempo de resposta do analisador e elimina a interferência de vapor de água. A célula de medição folheada a ouro, resiste a corrosão do ozônio.

➤ **APMA-370CE MONITOR DE MONÓXIDO DE CARBONO (CO)**

O APMA-370CE utiliza o método de análise por infravermelho não-dispersivo com fluxo modular cruzado, para medir o gás CO. Este analisador atinge altos níveis de sensibilidade e exatidão (acurácia) com uma manutenção mínima. Uma vez não possui partes móveis nem espelhos, e utiliza uma célula de infravermelho com o comprimento de 150 mm, sua estabilidade é significativamente mais apurada. Isto também torna o instrumento pouco afetado pelo acúmulo de sujeira na célula de medição. A modulação de fluxo cruzado não requer alinhamento óptico e elimina a necessidade da custosa roda de correlação de gases. Estes recursos permitem que o analisador não tenha praticamente nenhum desvio do zero.

➤ **APNA-370CE MONITOR DE ÓXIDOS DE NITROGÊNIO**

O APNA-370CE é um instrumento certificado pela US EPA (Método de Referência RFNA-0506-157) que emprega o princípio de quimiluminescência por modulação de fluxo cruzado duplo, para monitorar continuamente as concentrações dos óxidos de Nitrogênio contidos no ar ambiente (NO_x, NO₂, e NO).

➤ **APSA-370CE MONITOR DE DIÓXIDO DE ENXOFRE**

O APSA-370CE usa o método de análise de fluorescência em ultravioleta para medir SO₂. Este método permite monitoramento contínuo e análise instantânea do gás em seu estado inalterado. O analisador é equipado com um dispositivo de redução de hidrocarbonetos que utiliza uma membrana permeável e substituível para eliminação da interferência de hidrocarbonetos no gás de amostra.

6.4 MEDIDORES DE PARTICULADOS

➤ **BAM 1020 (PI) – MEDIDOR DE PARTÍCULAS INALÁVEIS – MET ONE**

O BAM-1020 utiliza o princípio de atenuação de raios Beta para fornecer uma determinação simples de concentração de massa. Um pequeno elemento de C14 (<60 μCi) emite uma quantidade constante de elétrons de alta energia, também conhecida como partículas beta. Estas partículas são detectadas por um contador de cintilações colocado próximo a essa fonte. Uma bomba externa succiona uma quantidade predeterminada de ar da atmosfera através de uma fita/filtro. Esta fita, impregnada com a poeira do ambiente, é colocada entre a fonte e o detector,

causando atenuação do sinal de medição das partículas beta. O grau de atenuação do sinal de partículas beta é utilizado para medir a concentração de material particulado na fita, onde a concentração volumétrica de material particulado no ar ambiente e expressada em mg/m³.

→ **TSP MEDIDOR DE PARTÍCULAS TOTAIS EM SUSPENSÃO**

O nome de “amostrador de ar de grandes volumes” é apropriado, porque a vazão de amostragem chega a níveis elevados. O amostrador utilizado modelo 305-2000 da Sierra Andersen, coleta partículas suspensas e, é composto por um motor de 0,6 HP, um controlador de vazão, um registrador de vazão e um suporte de filtro onde ficam depositadas as partículas (Figura 21).



Figura 14 – Equipamento Hi-vol (modelo 305-2000), utilizado para a análise de partículas totais em suspensão - MP.

O Hi-VOL é o método de referência adotado pela norma brasileira NBR 9547. Trata-se de um equipamento que aspira o ar através de um filtro de fibra de vidro de 203mm x 254mm a uma vazão entre 1,13 e 1,70 m³/min por período contínuo de 24 horas. As partículas com diâmetro aerodinâmico entre 0,1 e 100µm são retidas no filtro. A concentração do material particulado total em suspensão em µg/m³ é calculada determinando-se a massa de material coletado e o volume de ar

amostrado. A calibração da vazão pela bolha de sabão segue a norma NBR 10562 de Dezembro de 1988.

6.5 SENSORES METEOROLÓGICOS

➤ SENSOR DE VELOCIDADE DO VENTO MET ONE MODELO 014A

O Sensor de Velocidade do Vento 014A é um anemômetro preciso, durável e econômico, adequado para uma ampla gama de estudos a respeito da velocidade do vento.

Ele é projetado para operação prolongada e desassistida na maioria dos ambientes meteorológicos. A construção do sensor foi feita para atender os requisitos de confiabilidade e durabilidade. Foram utilizados os materiais com ótima resistência à corrosão, tais como aço inoxidável e alumínio anodizado.

- Escala de medição de 1,6 até 160 Km/h
- Ampla faixa de temperatura de operação -50°C a +70°C
- Exatidão de $\pm 1.5\%$

➔ SENSOR DE DIREÇÃO DO VENTO MET ONE MODEL 024A

O sensor de direção do vento Modelo 024A da Met One é um equipamento preciso, durável e econômico, sendo adequado para uma ampla gama de aplicações de estudo da velocidade do vento. O sensor possui um potenciômetro de precisão, para possibilitar uma ótima resolução da direção do vento. Este componente, que atinge rigorosas especificações militares para resistência a fungos, areia, pó e acúmulo de sais, é diretamente acoplado ao conjunto da pá. As variações da direção do vento produzem uma variação correspondente na voltagem de saída do sensor, que por sua vez pode ser conectada em sistemas de medição tanto digitais quanto analógicos.

- Escala de medição: 0 - 360°
- Exatidão de $\pm 5^\circ$
- Construção em Aço Inoxidável e Alumínio Anodizado

➔ SENSOR DE TEMPERATURA E UMIDADE MET ONE MODELO 083D

A sonda sensora Modelo 083D possui sensibilidade, exatidão, linearidade e estabilidade da umidade relativa. Ela é bem adaptável às aplicações meteorológicas, industriais, laboratoriais, e outras.

O Sensor de Umidade Relativa e Temperatura Modelo 083D-1-35 é baseado no princípio da mudança da capacitância de um capacitor de filme polimérico. Uma

camada de dielétrico de um micron de espessura absorve as moléculas de água através de um eletrodo de metal, causando uma alteração na capacitância proporcional à umidade relativa. A fina camada de polímero reage extremamente rápido e, portanto, o tempo de resposta é muito curto, tipicamente menos de 5 segundos para 90% do valor final de umidade relativa. O sensor responde à toda escala de 0 a 100% de umidade relativa. Esta resposta é essencialmente linear, com pequena histerese e dependência térmica desprezível.

→ **PROTETOR CONTRA RADIAÇÃO SOLAR MET ONE MODEL 5980**

O Radiation Shield 5980 é projetado para reduzir significativamente os erros nas medições de temperatura causados pela incidência de luz solar direta.

O sensor de temperatura é protegido por pratos de alumínio concêntricos, que são virados para baixo nas bordas externas e pintados de branco, a fim de refletir a energia solar.

→ **MEDIDOR DE PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA (PLUVIÔMETRO)**

Este item é o sensor destinado a medir a quantidade de chuva ocorrida no local da estação. O equipamento, juntamente com o Datalogger, mede a altura da lâmina de água que a chuva ocorrida teria depositado, sobre um solo plano e impermeável padrão. O valor da medição pode ser expresso em milímetros ou décimos de polegada, e é tipicamente a totalização da chuva acumulada em cada hora.

- Exatidão: -com intensidade de 13 mm/hora: $\pm 0.5\%$
- com intensidade de 25 a 75 mm/hora: 1.0%

→ **SENSOR DE RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL 096 MET ONE**

Este sensor realiza medições da intensidade da radiação solar global. Produz sinal elétrico diretamente proporcional à intensidade de luz solar que incide sobre ele. Elemento sensor de silício, Resposta espectral: 400 a 1100 nm

→ **SENSOR DE PRESSÃO BAROMÉTRICA 092D**

O Sensor de Pressão Barométrica Modelo 092D utiliza um dispositivo ativo de estado sólido para detectar a pressão barométrica. A eletrônica interna possui uma fonte de tensão regulada para o sensor de estado sólido e para o amplificador do sinal de saída.

O sensor de pressão barométrica converte a pressão atmosférica absoluta em uma voltagem proporcionalmente linear, que deve ser utilizada em qualquer programa meteorológico.

CAPITULO VII

RESULTADOS

7.1 APRESENTAÇÃO DOS DADOS DE EMISSÃO E QUALIDADE DO AR

Como já mencionado, a área em estudo é referente à cidade de Charqueadas/RS e as informações a respeito da qualidade do ar foram obtidas junto a Usina Termelétrica Tractebel Energia e serão apresentados a seguir.

Dentro da área de estudo, as informações de Material Particulado (MP) foram coletadas para o ano de 2005 e durante os meses de janeiro a março de 2010.

As imagens da Figura 26 apresentam os locais amostrais, denominados como Arranca Toco (1) e DEPREC (2). A estação Arranca Toco está localizada na Vila Arranca Toco, zona central e residencial do município de charqueadas.

Tal ponto enquadra-se aproximadamente nas coordenadas UTM: $X = 439.100$ $Y = 6.686.100$, situando-se aproximadamente a 500 metros da Usina de charqueadas.

Já a estação DEPREC está localizada na margem esquerda do Rio Jacuí, corresponde a uma área na periferia do município de Triunfo, em bairro residencial.

Está posicionada nas coordenadas UTM aproximadas $X = 433.358$ $Y = 6.687.479$, dentro de Departamento de Portos Hidrovias Rios e canais – DEPREC a aproximadamente 8.000 metros de distância da Usina de Charqueadas.

A Figura 26 mostra o mapa de localização das estações.

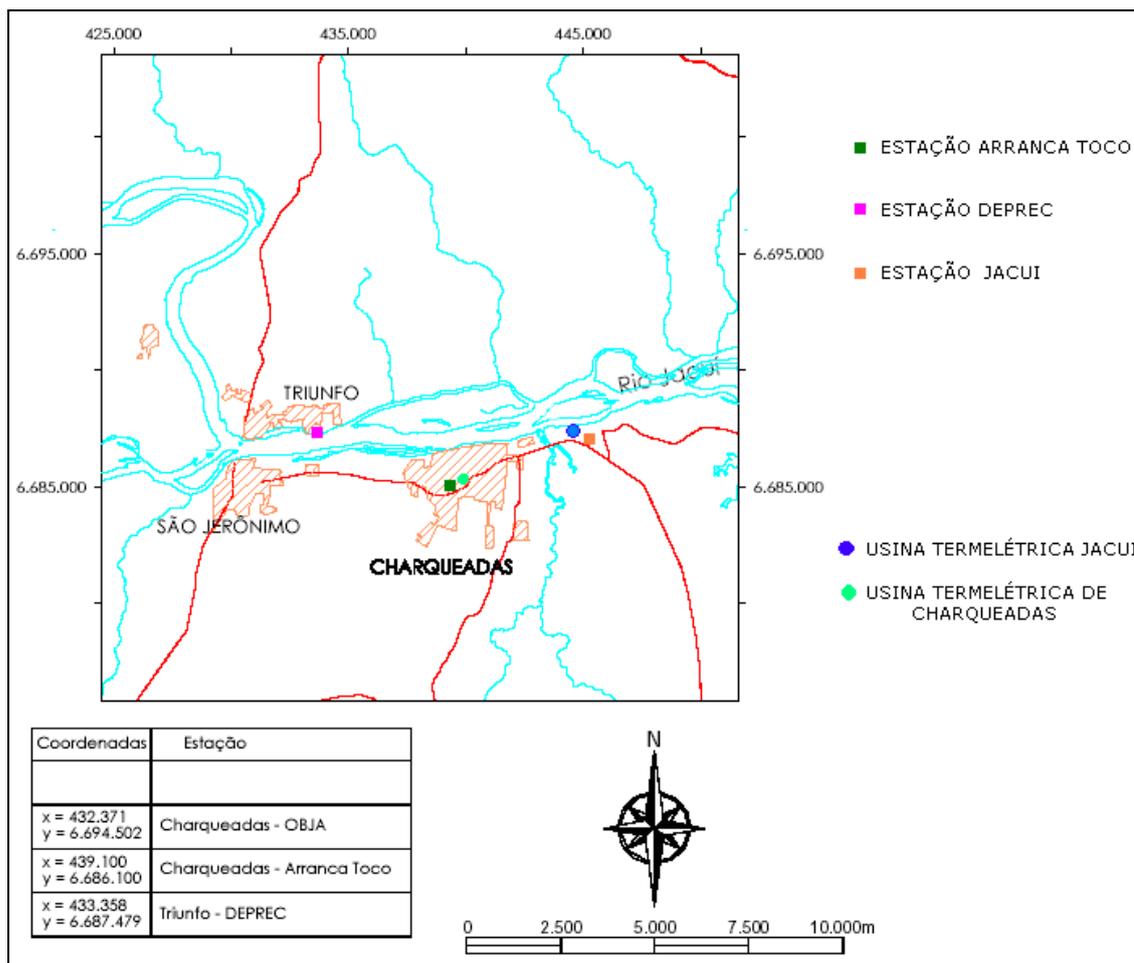


Figura 7 – Mapa de localização das estações

Para utilização do modelo ISCST são necessários dados meteorológicos , obtidos em tempo real, além de dados relativos à fonte de emissão.

Os parâmetros meteorológicos necessários para inicializar o modelo foram coletados na Estação Meteorológica operada pela Tractebel Energia localizada na Obra da Usina da Jacuí, também identificada no mapa acima.

Para um melhor entendimento os cenários estudados foram divididos da seguinte forma:

- Usina termoelétrica de Charqueadas equipada com precipitadores - atual;
- Usina termoelétrica de Charqueadas equipada com filtro de mangas – nova.

7.2 DADOS DE EMISSÃO DA USINA TERMELÉTRICA

Os dados de temperatura e velocidade de saída dos gases, bem como a altura da fonte, diâmetro interno da fonte, taxa de emissão, relacionados a fonte de emissão equipada com precipitadores e equipada com filtros de mangas, são

apresentados nas tabelas a seguir. A partir da obtenção desses dados é possível inicializar o modelo de dispersão.

Os dados da fonte para inicializar o modelo com os dois cenários são visualizados nas tabelas abaixo:

Tabela 10 – Usina Termelétrica de Charqueadas equipada com precipitadores - **atual**

Taxa de emissão de MP	31,86 g/s
Diâmetro interno da fonte	5,0 m
Temperatura de saída dos gases	495 K
Velocidade de saída dos gases	11,5 m/s

Tabela 11 – Usina Termelétrica de Charqueadas equipada com filtro de mangas – **nova**

Taxa de emissão de MP	2,67 /s
Diâmetro interno da fonte	5,0 m
Temperatura de saída dos gases	335 K
Velocidade de saída dos gases	19,0 m/s

7.3 DADOS DE QUALIDADE DO AR

Os dados de qualidade do ar para material particulado obtidos nas estações de monitoramento ambiental, são apresentados nos gráficos a seguir e a variação dos mínimos e máximos obtidos para nas duas estações são apresentados na tabela 12.

No ano de 2005 foram realizadas 71 amostragens de material particulado na estação Arranca Toco e 41 na estação DEPREC.

Destas medições, os maiores valores encontrados foram da ordem de 108 ug/m³ e 50 ug/m³ nas estações Arranca Toco e DEPREC respectivamente.

Os valores máximos encontrados foram registrados em amostragens realizadas no mês de julho, mês típico de ocorrência de inversão térmica, fenômeno que desfavorece a dispersão dos poluentes.

Mas considerando os padrões de qualidade do ar, primário e secundário, identificados nos gráficos pelas barras vermelha e azul, verificamos que não houve ultrapassagem desses padrões e principalmente que, em ambas estações o padrão secundário de qualidade do ar não foi ultrapassado, padrão este mais restritivo e adotado no estado do Rio Grande do Sul pela legislação vigente como padrão a ser cumprido.

No primeiro trimestre de 2010, foram realizadas 14 medições de material particulado na estação Arranca Toco e 9 na estação DEPREC.

Os maiores valores encontrados foram de 85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na estação Arranca Toco na amostragem de 03 de março de 2010 e de 45 na estação DEPREC no dia 16 de março de 2010.

Comparando os resultados do monitoramento ambiental nas estações com a fonte equipada com precipitadores eletrostáticos (2005) e com filtros de mangas (2010), observamos uma redução de aproximadamente 20% nos resultados de material particulado e em torno de 5% na estação DEPREC esta última mais distante da fonte.

É importante ressaltar que com o novo sistema (FM) a redução da emissão de material particulado na fonte foi da ordem de no mínimo 50%, e no ar ambiente, essa redução se reflete, com base nos dados amostrais apresentados, em torno de 20% para a estação mais próxima à usina e em 5% para a estação mais distante.

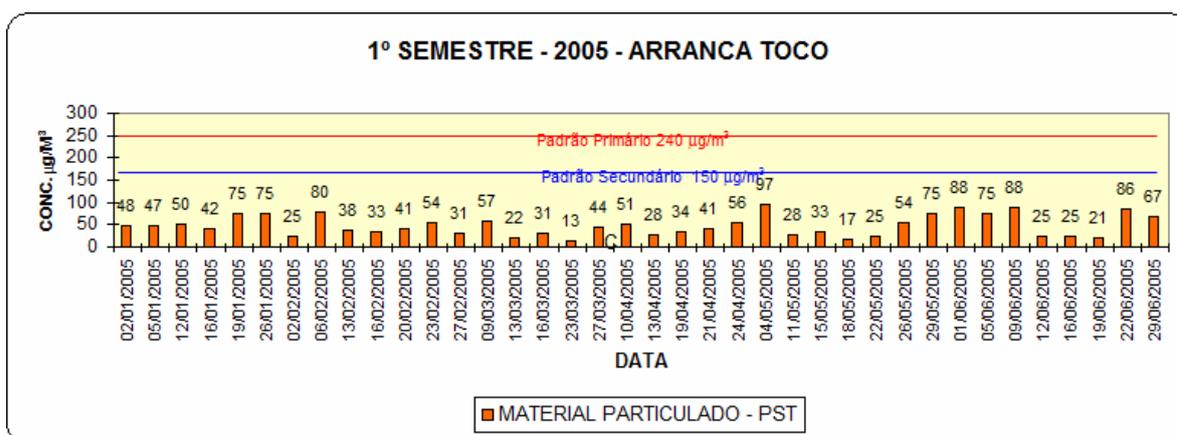


Figura 17 – Dados de monitoramento Estação Arranca Toco 1º sem-2005

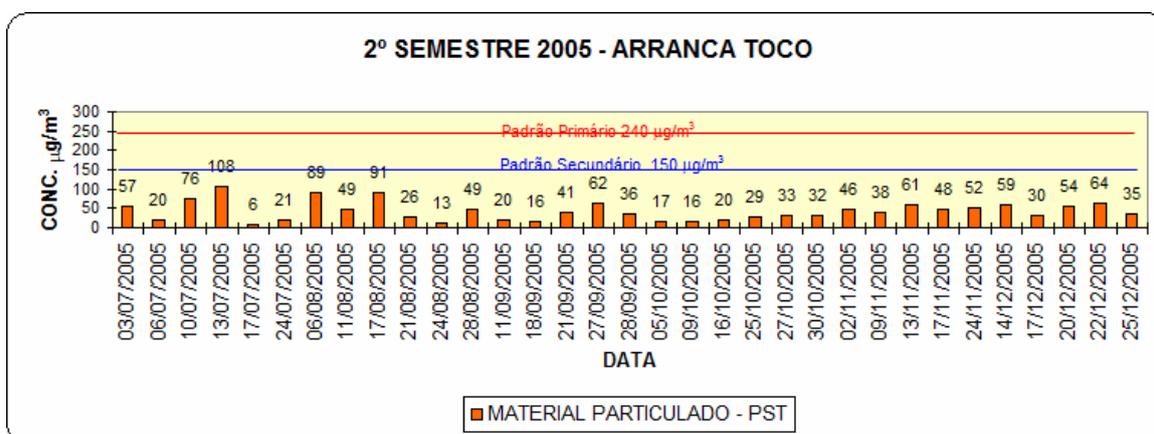


Figura 18 – Dados de monitoramento Estação Arranca Toco 2º sem-2005

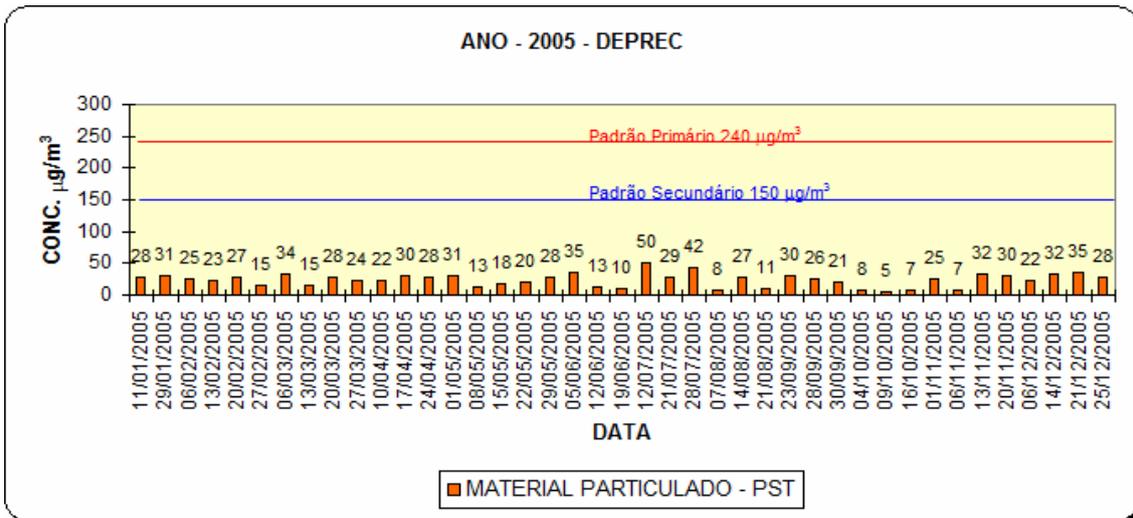


Figura 19 – Dados de monitoramento Estação DEPREC-2005

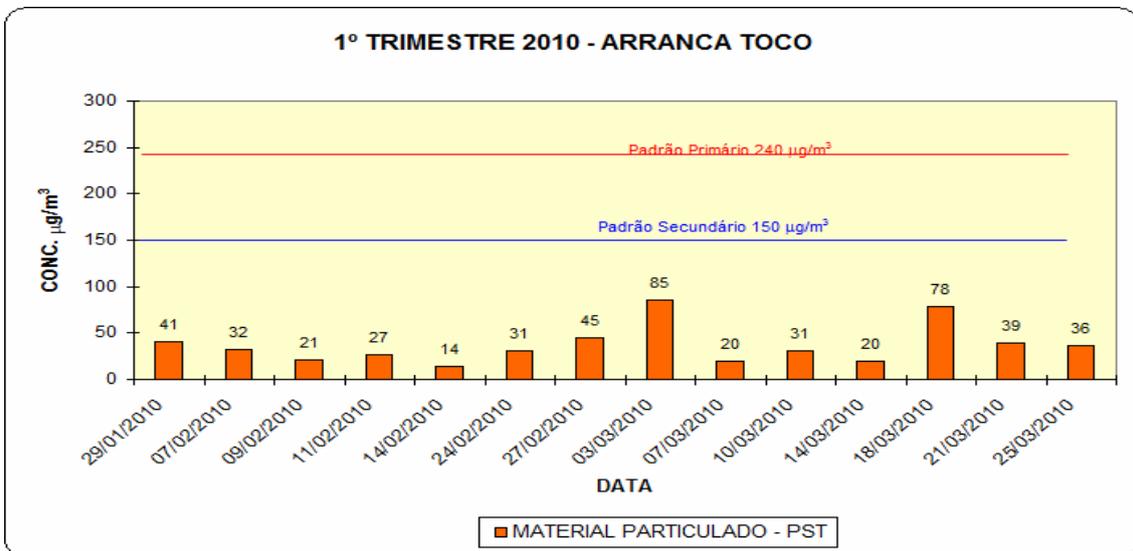


Figura 20 – Dados de monitoramento Estação Arranca Toco 1º Tri-2010

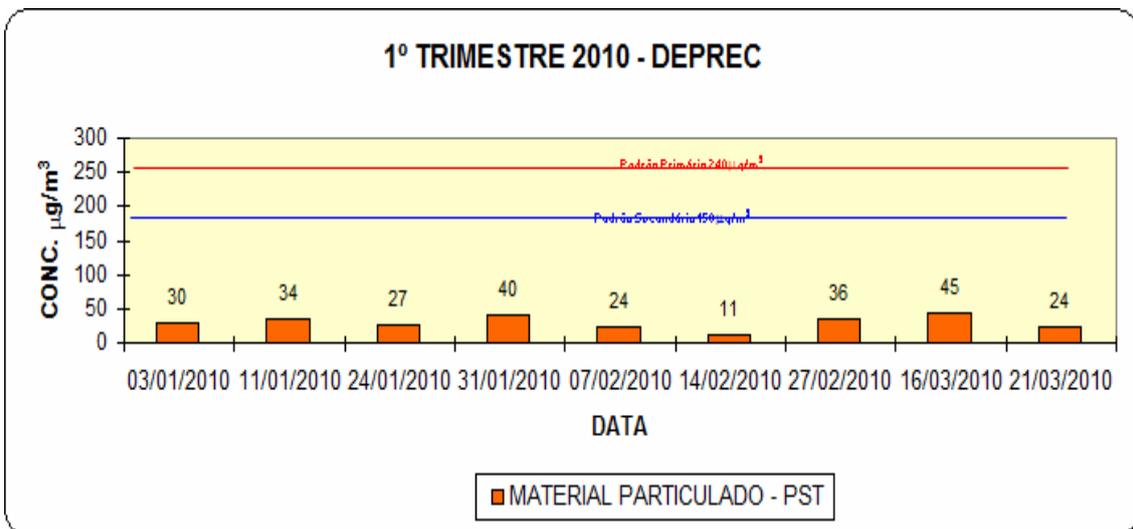


Figura 21 – Dados de monitoramento Estação DEPREC 1º Tri-2010

Tabela 12- Comparativo dos resultados do monitoramento nas estações AT e DEPREC

Monitoramento Ambiental Material Particulado	Com Precipitador Atual ug/m3	Com Filtro de Mangas Nova ug/m3
Arranca Toco	6 - 101	14 - 85
DEPREC	5 -50	11 - 45

7.4 DADOS METEOROLOGICOS

A seguir encontram-se os dados meteorológicos utilizados para inicializar o modelo de dispersão de poluentes, como já mencionado são considerados dados horários para todo o ano de 2005.

Através dos dados relacionados a direção dos ventos, figura 27, observamos uma predominância do vento de sudoeste, com intensidade praticamente insignificante, o que podemos dizer calma, explicado pela circulação local dos ventos, visto que a mesma esta localizada, próximo ao Rio Jacui, explicado pela figura 28. Em Anexo encontram – se os dados meteorológicos utilizados da estação localizada em Charqueadas-RS para o período de 2005, usados para inicializar o modelo de dispersão de poluentes. A nível de comparação consideramos as informações meteorológicas obtidas para o ano de 2005, pela estação instalada no 8 distrito de meteorologia, esta localizada no município de Porto Alegre-RS, através dos mesmos observamos a diferença entre as duas estações meteorológicas.

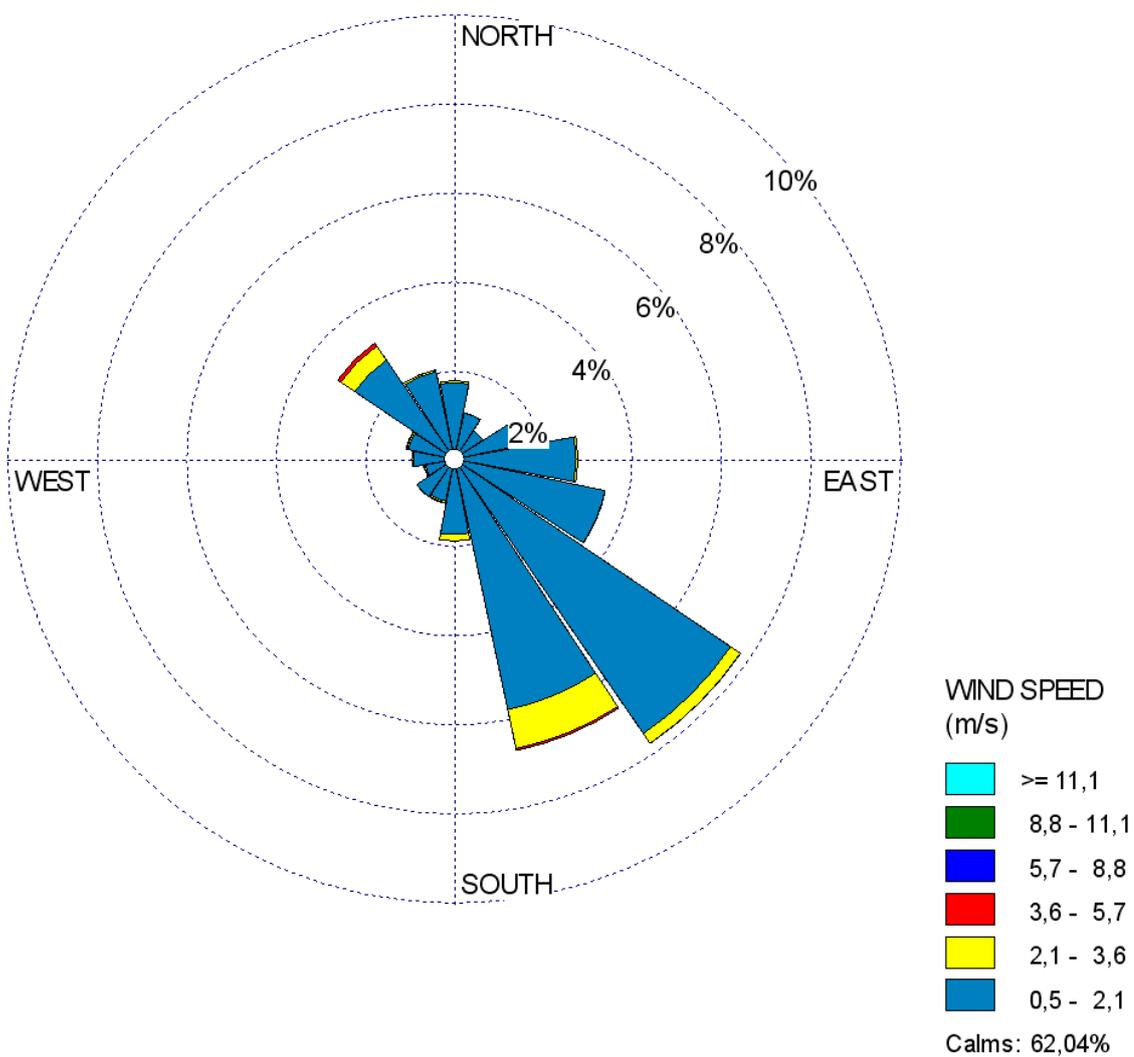


Figura 27- Rosa dos ventos obtida através dos dados meteorológicos do ano de 2005.

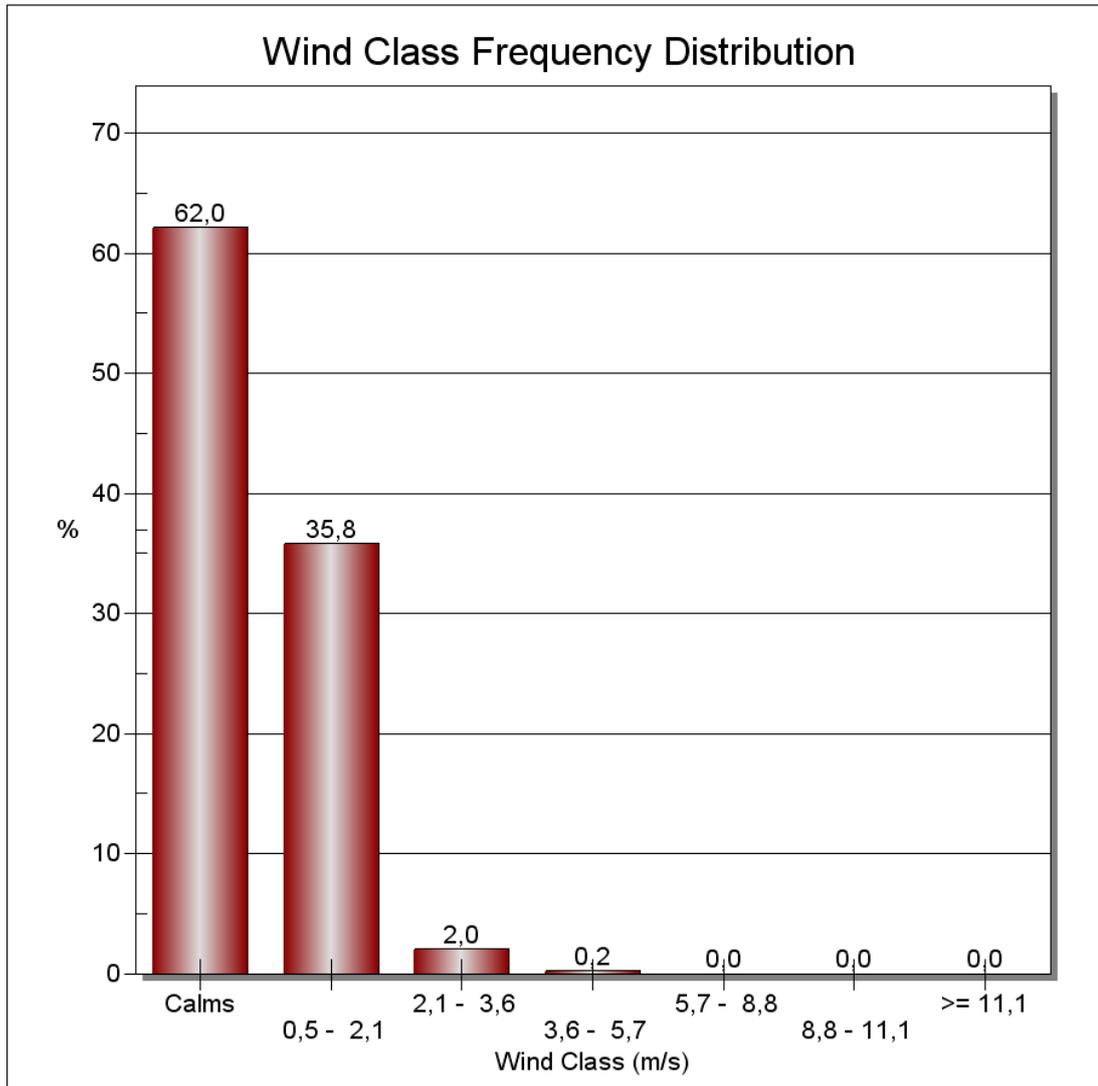


Figura 28 – Distribuição de frequência para a velocidade dos ventos, ano 2005.

7.5 RESULTADOS MODELAGEM

Através da modelagem com o ISC3, para o ano de 2005 os seguintes valores máximos de concentração para o poluente MP, para os dois cenários de fontes Charqueadas, uma equipada com precipitadores “UTCH atual” e a simulação equipada com filtro de mangas, aqui chamada “UTCH nova”, encontram-se a seguir.

Os resultados a seguir ilustram os máximos valores para a dispersão de poluentes das fontes Usina Termoelétrica de Charqueadas.

Tabela 13 – Material particulado ano 2005 dados meteorológicos da estação de Charqueadas fonte UTCH atual

Ordem	µg/m3	Ano	Mês	Dia	Eixo X	Eixo Y
1	4,85941	5	3	11	1000	-1000
2	4,33128	5	12	2	-1000	2000
3	4,27024	5	1	11	-1000	2000
4	3,95969	5	2	11	1000	-1000
5	3,81114	5	10	2	-1000	2000
6	3,70372	5	3	11	2000	-2000
7	3,68368	5	11	14	-1000	2000
8	3,64703	5	2	10	1000	-1000
9	3,57216	5	12	13	-1000	2000
10	3,50987	5	11	15	1000	-1000
11	3,488	5	2	13	-1000	2000
12	3,48223	5	3	12	-1000	2000
13	3,45231	5	12	12	-1000	2000
14	3,34178	5	1	16	-1000	2000
15	3,31059	5	1	22	-1000	2000
16	3,26525	5	1	7	-1000	2000
17	3,26288	5	12	14	-1000	2000
18	3,26053	5	9	8	-1000	2000
19	3,20533	5	11	11	-1000	1000
20	3,18563	5	2	4	-1000	2000
21	3,17143	5	4	5	-2000	2000
22	3,04383	5	1	22	-2000	3000
23	3,0119	5	9	29	-1000	1000
24	3,00824	5	9	23	-2000	2000
25	2,98827	5	10	24	-1000	1000
26	2,96814	5	2	21	-1000	2000
27	2,96671	5	9	29	-2000	2000
28	2,92733	5	11	14	-2000	3000
29	2,90735	5	5	10	-2000	2000
30	2,89158	5	9	28	-2000	1000
31	2,85814	5	1	11	-2000	3000
32	2,84855	5	1	19	-2000	2000
33	2,84739	5	4	15	1000	-1000
34	2,84478	5	11	11	-2000	2000
35	2,83661	5	2	11	2000	-2000
36	2,83644	5	5	25	1000	-1000
37	2,7489	5	11	23	0	-2000
38	2,74037	5	10	10	-1000	2000
39	2,73592	5	3	9	-1000	2000
40	2,7339	5	1	5	-1000	2000
41	2,73323	5	11	10	-1000	1000
42	2,68172	5	10	2	-2000	3000
43	2,65946	5	7	29	-3000	2000
44	2,65003	5	11	9	-1000	2000
45	2,63339	5	12	27	-1000	2000
46	2,6302	5	10	26	-1000	2000
47	2,62986	5	11	11	-1000	2000
48	2,62074	5	12	11	-1000	2000
49	2,61931	5	11	16	-1000	2000
50	2,59106	5	4	7	0	-2000

Tabela 54 – Material particulado ano 2005 dados meteorológicos da estação de Charqueadas fonte UTCH nova

Ordem	µg/m3	Ano	Mês	Dia	Eixo X	Eixo Y
1	0,73997	5	3	11	1000	-1000
2	0,63562	5	2	3	-2000	4000
3	0,59873	5	10	8	3000	-3000
4	0,59804	5	9	18	-3000	4000
5	0,59344	5	5	8	-3000	4000
6	0,58331	5	10	8	4000	-4000
7	0,57322	5	4	13	-2000	4000
8	0,56852	5	2	3	-3000	5000
9	0,56092	5	5	8	-3000	5000
10	0,55846	5	5	8	-2000	3000
11	0,55772	5	2	3	-3000	6000
12	0,55275	5	4	13	-3000	5000
13	0,55088	5	9	18	-4000	5000
14	0,54093	5	2	3	-2000	5000
15	0,52708	5	11	17	-3000	4000
16	0,52544	5	2	11	1000	-1000
17	0,51171	5	5	8	-4000	6000
18	0,51022	5	3	23	-2000	5000
19	0,50848	5	3	22	1000	5000
20	0,50493	5	10	8	5000	-5000
21	0,50241	5	4	13	-3000	6000
22	0,498	5	9	18	-3000	3000
23	0,49544	5	11	15	1000	-1000
24	0,49025	5	1	11	-1000	2000
25	0,49019	5	3	22	1000	4000
26	0,48811	5	1	22	-1000	2000
27	0,486	5	11	11	-1000	1000
28	0,48476	5	9	17	-2000	5000
29	0,48165	5	5	8	-4000	5000
30	0,47648	5	11	17	-3000	5000
31	0,47595	5	9	18	-4000	4000
32	0,47567	5	2	10	1000	-1000
33	0,47448	5	10	8	4000	-5000
34	0,47106	5	9	18	-5000	6000
35	0,47035	5	3	23	-2000	6000
36	0,46828	5	10	8	3000	-4000
37	0,4659	5	9	18	-2000	3000
38	0,46532	5	4	13	-2000	3000
39	0,46384	5	3	22	1000	6000
40	0,46381	5	2	3	-4000	7000
41	0,45867	5	2	3	-3000	7000
42	0,45844	5	8	19	-2000	4000
43	0,45801	5	3	31	-4000	3000
44	0,45799	5	11	17	-2000	3000
45	0,45778	5	12	2	-1000	2000
46	0,45753	5	9	20	-2000	4000
47	0,45646	5	4	13	-3000	4000
48	0,45558	5	9	29	-1000	1000
49	0,45219	5	8	19	-3000	5000
50	0,45054	5	4	13	-2000	5000

Nas tabelas abaixo foram selecionados os cinco maiores valores encontrados para os cenários adotados.

Tabela 65 – Cinco maiores valores - Material particulado ano 2005 UTCH - atual

Ordem	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Ano	Mês	Dia	EixoX	EixoY
1	4,85941	5	3	11	1000	-1000
2	4,33128	5	12	2	-1000	2000
3	4,27024	5	1	11	-1000	2000
4	3,95969	5	2	11	1000	-1000
5	3,81114	5	10	2	-1000	2000

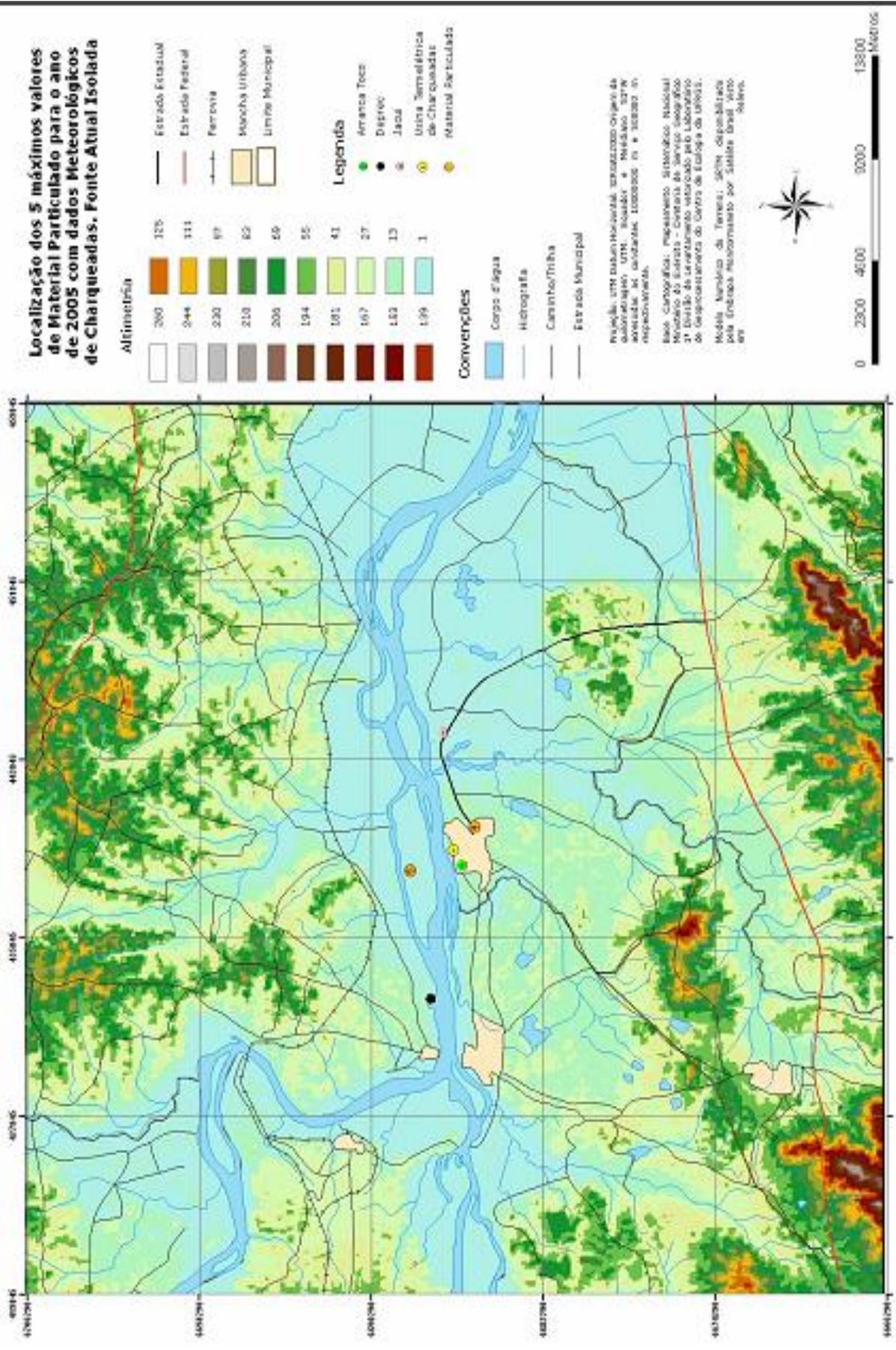
Tabela 76 – Cinco maiores valores - Material particulado ano 2005 UTCH - nova

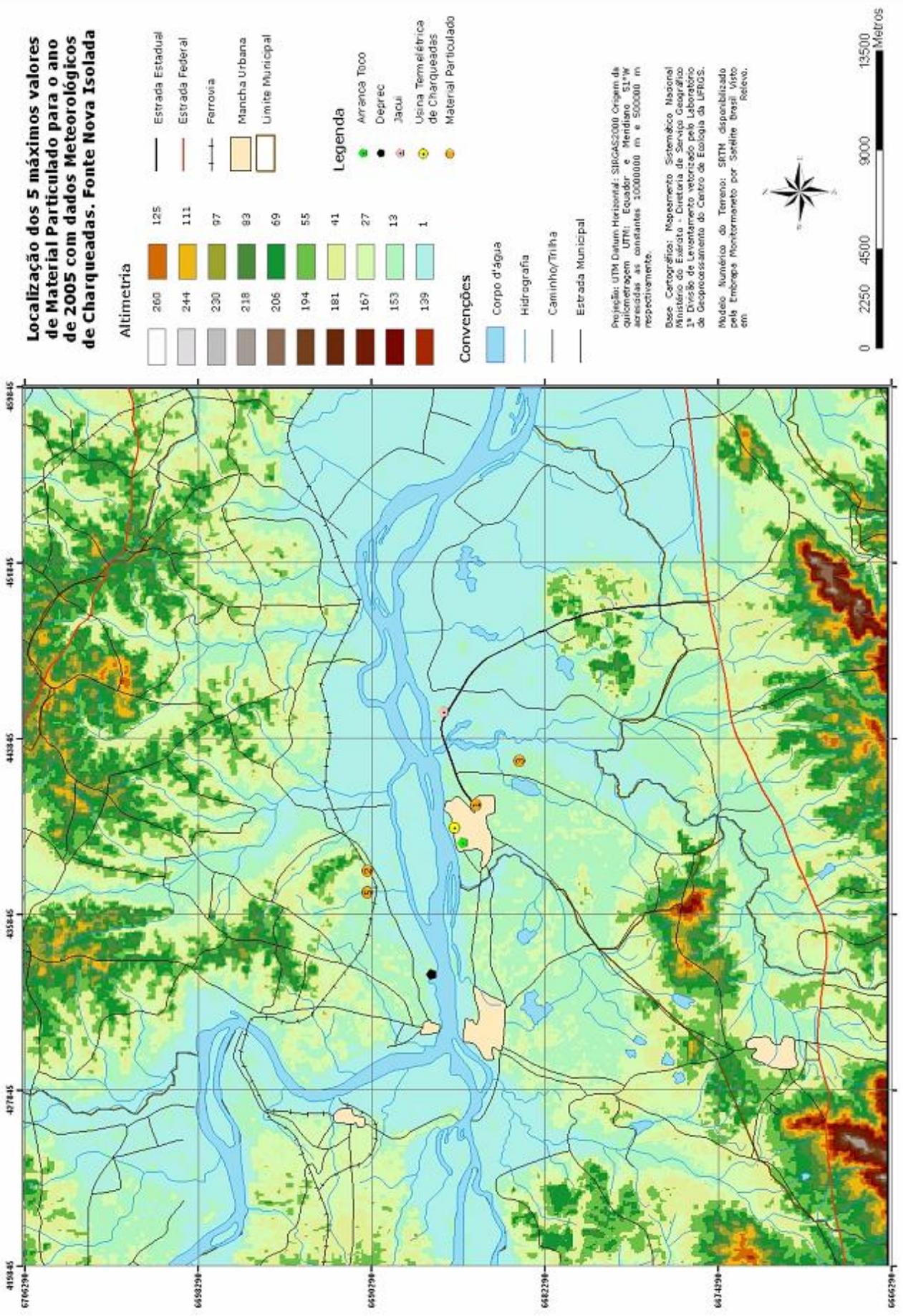
Ordem	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Ano	Mês	Dia	EixoX	EixoY
1	0,73997	5	3	11	1000	-1000
2	0,63562	5	2	3	-2000	4000
3	0,59873	5	10	8	3000	-3000
4	0,59804	5	9	18	-3000	4000
5	0,59344	5	5	8	-3000	4000

As figuras a seguir ilustram a distribuição relacionada aos cinco máximos valores de concentração de material particulado para o período de estudo distribuídos na área da UTCH, considerando os dois cenários de fontes.

Através dos resultados obtidos com a modelagem, quando comparados aos dados obtidos pelos equipamentos de qualidade do ar, observamos uma discrepância razoável entre os resultados, tal diferença pode ocorrer por não termos considerado as outras fontes de emissões localizadas próximas a UTCH, tais como as emissões relacionadas a Usina São Jerônimo, as emissões relativas ao Pólo Petroquímico, localizado em Triunfo, a siderúrgica e outras unidades industriais existentes em Charqueadas, tais concentrações também são medidas pelos equipamentos de qualidade do ar da UTCH, visto a direção predominante dos ventos e também pela modelagem aqui considerada estar relacionada ao período de um ano, diferente de trabalhos já desenvolvidos, onde foram considerados somente cenários meteorológicos para períodos de 24 horas.

Figura 18- Localização do 5 máximos valores – Fonte atual isolada





CAPÍTULO VIII

CONCLUSÕES

Os resultados apresentados representam a dispersão do MP pela Usina de Charqueadas.

Estes resultados gerados pela modelagem com o modelo ISCST3, mostram que os valores modelados se apresentam inferiores aos valores que foram medidos nas Estações.

Os valores modelados para MP variaram de 2,59 a 4,85 ug/m³ enquanto que os valores medidos variaram de 39 a 108 ug/m³ na Estação Arranca Toco com a usina equipada com precipitadores eletrostáticos e de 21 a 50 na Estação DEPREC.

Enquanto que os valores modelados para a usina equipada com filtro de mangas os valores medidos variaram de 0,45ug/m³ a 0,73 ug/m³, os valores medidos após a instalação dos filtros variaram de 14 a 85 ug/m³.

As incertezas relacionadas aos resultados são as seguintes:

- Presença de outras fontes fixas de emissão de poluentes na região de estudo, tais como siderúrgica, indústria metal mecânica, cerâmica;
- A região apresenta sua história de desenvolvimento baseada na extração utilização e deposição de resíduos, pois as atividades industriais nessa localidade são anteriores aos padrões e normas atuais, por esse motivo os agravos ao ambiente podem ser sentidos até hoje e o passivo ambiental resultante do tratamento inadequado dos resíduos gerados nos processos industriais influencia a qualidade do ar no município;
- Para o cálculo da estabilidade atmosférica são utilizados parâmetros empíricos representados através da classe de estabilidade proposto por Pasquill-Gifford;
- A limitação do próprio modelo, pois o tratamento da pluma como uma dispersão Gaussiana, considera a turbulência estacionária e homogênea e sabe-se na prática que a atmosfera não é estacionária e verticalmente ela nunca é homogênea, apresentando eventualmente homogeneidade horizontal; Fornecendo no máximo uma estimativa grosseira da dispersão real da pluma na atmosfera;
- Outra limitação do modelo, é que esse deixa de ser válido quando há mudanças na direção do vento, especialmente sob condições estáveis. Para

esses casos a distribuição não é satisfatoriamente representada por uma distribuição gaussiana (Turner, 1994).

- Os ventos medidos na Estação de monitoramento, indicam que a velocidade do vento em sua maioria está na condição estável, o que pode ter interferido na representação Gaussiana e esta não ser representativa da emissão da fonte nestas condições;
- Outras hipóteses simplificadoras do modelo como considerar que o vento tem intensidade, direção e sentido constantes, que o terreno é totalmente plano, que a carga poluidora é pontual e constante, que a difusão turbulenta na direção do vento é desprezada em função da maior importância da advecção nessa direção como também os coeficientes de difusão turbulenta nas outras direções também são constantes e não existe perda de material poluidor por qualquer mecanismo físico, químico e biológico fazem com que os resultados obtidos na modelagem possam ser muito diferentes do realmente encontrados;
- A pluma Gaussiana é um modelo bastante simplificado da realidade e passível de uma série de críticas do ponto de vista teórico e de aplicação prática. Todavia, tal modelo tem sido aceito como “ferramenta de trabalho” em estudos de avaliação de impacto ambiental, pois serve para ilustrar comparativamente diferentes cenários de emissão de poluentes. Além disso, não existe ganho significativo de informação gerado pela aplicação de modelos mais sofisticados se não existirem dados adequados para uso de tais modelos. Portanto, a aplicação do modelo de pluma gaussiana deve ser considerada em função dos objetivos da análise em questão, dos recursos disponíveis e condições locais existentes.

PERSPECTIVAS FUTURAS

- Realizar experimentos meteorológicos e de qualidade do ar, onde dados relacionados a estrutura da camada limite possam ser medidos através de radiossondagens para diferentes períodos diurnos;
- Verificar os elementos químicos envolvidos nos filtros de material particulado através de uma análise química mais detalhada onde todos os elementos

químicos possam ser quantificados e assim verificar qual a influencia de outras fontes industriais na área da UTCH;

- Considerar na modelagem da dispersão de poluentes anual, outras fontes industriais instaladas nas imediações da UTCH;
- Avaliar através da modelagem x estação de qualidade do ar, outros poluentes atmosféricos tais como SO₂, NO₂ e O₃.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRANCHES, S. Brasil descarbonizado – Principais obstáculos para um futuro sem carbono estão em questões institucionais e comportamentais. Revista Scientific American. Edição especial Brasil, Ano 5, n. 53, outubro 2006, p. 23.

ABREU, M.L. P REVISORES Sinótico – Meteorológicos para a dispersão de poluentes na região da grande São Paulo. 1985

ALVES, Rita de Cássia Marques. Estudo da dispersão de SO₂ emitido pela usina termelétrica de Candiota- RS, Brasil. Dissertação de Mestrado. USP –IAG. São Paulo, 1996

AMARAL, D. M.; Piubeli, F. A. A poluição atmosférica interferindo na qualidade de vida da sociedade. In: X Simpósio de Engenharia de Produção, 2003, São Paulo, 2003.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica - Atlas de Energia Elétrica do Brasil disponível em <<http://www.aneel.gov.br> acesso em março de 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9547: Material particulado em suspensão no ar ambiente - Determinação da concentração total pelo método do amostrador de grande volume - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1986. 14 f.

BANCO MUNDIAL. Brasil: Gestão dos Problemas da Poluição. A agenda Ambiental Marron, Brasil, 1998.

BEYRICH, F. Schaller E. Et alli. An observational study of sulphur dioxide transport across the Erzgebirge mountains. Atmospheric Environment, 1998

BOELTER, J.K. and H.J. DAVIDSON. Ozone geration by indoor, eletrostatic air cleaners. Aerosol science and technology. Volume 27 nº 6, 1997

BRAGA, Benedito et al. Introdução à Engenharia Ambiental, 2002

CERQUEIRA, J. P. de; Martins, M. C. Auditorias de Sistemas de Gestão ISO 9001-ISO14001-OHSA18001- ISSO/IEC17025-SA8000-ISO19011. 2005

CÓDIGO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE – Estado do Rio Grande do Sul, 2001

CUNHA, Rosa Maria Poccoli – Estudo do transporte de poluentes na região do pólo petroquímico , localizado em Triunfo-RS – 2002

DÁMASO T. Lluvia Acida Candiota. Editado por Ideas. 1992

ELETROBRÁS. Compatibilização entre a expansão da oferta e demanda de carvão mineral e a política nacional do meio ambiente. Protocolo SCT, FINEP, MINFRA, SNIIEC, 1992.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – Balanço Energético Nacional 2009 – ano base 2007 Disponível em <<http://www.epe.gov.br> acesso em março de 2010.

EIA – RIMA – UTE –JACUÍ – Instalação da Usina Termelétrica Jacuí .

Vol. 2 – MRS – Consultoria Ambiental – Porto Alegre

FULLONE, A. V.; BECKER, A. Poluição atmosférica e seus efeitos na saúde humana. 2006. 46 f. Monografia (Especialização em Toxicologia Aplicada) - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA. Disponível em: <http://www.fee.tche.br/sitefee/pt/content/resumo/pg_municipios-detalle.php?municipio=Charqueadas>. Acesso em março 2010.

GALVÃO FILHO, J.B. 1989. Poluição do ar – Aspectos técnicos e econômicos do meio ambiente. Disponível em: <<http://www.poluicao.com.br/artigos/32.pdf>>. Acesso em jan. 2010.

GPCA – MEIO AMBIENTE. Disponível em: <www.gpca.com.br/poluicao1.htm>. Acesso em jan. 2010.

HAWKINS, D.G.; LASHOF, D.A. e WILLIAMS, R.H. 2006. Que fazer com o carvão? Revista Scientific American. Edição especial Brasil, Ano 5, n. 53, outubro 2006, p. 38-45.

NANNA, R.S., G.A. Briggs, R.P. Hosker. Handbook on Atmospheric Diffusion. Technology Information Center, U.S. Department of Energy. 1982

HINRICHS, Roger A. Energia e meio Ambiente – tradução da 3ª edição Norte-Americana, - 2009.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – disponível em [www. lea.org](http://www.iea.org), acesso em março de 2010.

KERR, A.A.F.Sansigolo. Caracterização física do aerosol atmosférico de Cubatão e uma experiência de aplicação de modelo de pluma gaussiana. USP 1983.

Lei nº 6.938/1981 e seu decreto regulamentador nº 88.821/1983: define as regras gerais para políticas ambientais, para o sistema de licenciamento e cria o Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, que tem a responsabilidade de estabelecer padrões e métodos ambientais.

Lei Estadual nº 11.520 de ago/2000, que institui o Código Estadual de Meio Ambiente.

Lei Federal nº 8723 de out/93, que estabelece os critérios básicos, prazos e limites de emissão para veículos novos e convertidos, define o percentual de álcool na gasolina e incentiva o planejamento dos transportes como meio de controle ambiental.

LYONS, T.J. SCOTT, W.D. Principles of air pollution meteorology. Belhaven Press. London, 1990

MARGULIUS, S. A regulamentação ambiental: instrumentos e implementação. Rio de Janeiro, 1996.

MINISTÉRIO da Ciência e Tecnologia – LBA – Experimento de grande escala da biosfera-atmosfera na Amazônia – Disponível em: <http://lba.cptec.inpe.br/lba/site/?p=oportunidade&t=0&s=6&lg=&op=1240>. Acesso em jan. 2010.

Organização Internacional para Padronização= International Organization for Standardization. ISO 14001: Sistema de Gestão Ambiental. 2004.

MORAES, Osvaldo L.L. de Meteorologia e poluição atmosférica: teoria, experimentos e simulação, 2010

NEDEL, Anderson Spohr, Aplicação de um Modelo de Dispersão Atmosférico na Região de Candiota-RS e sua Relação com as Condições Meteorológicas, 2003.

POLUIÇÃO Atmosférica – Chuvas Ácidas. Disponível em: <<http://www.rudzerhost.com/ambiente/chuvas.htm>>. Acesso em dezembro 2009.

POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA – POLUIÇÃO AMBIENTAL. Disponível em: <<http://www.rudzerhost.com/ambiente/introducao.htm>>. Acesso em dezembro 2009.

POLUIÇÃO do ar – CEFETSP. Disponível em: <<http://www.cefetsp.br/edu/eso/poluicaoar261.html>>. Acesso em dezembro 2009.

Portaria nº 231/1976 - Ministério do Interior estabelece os Padrões Nacionais de Qualidade do Ar para material particulado, dióxido de enxofre, monóxido de carbono e oxidantes.

Portaria nº 100/1980 - Ministério do Interior: estabelece os limites de emissão para fumaça preta para veículos movidos a diesel.

Portaria IBAMA nº 1937/90, que disciplina o controle de emissão para veículos importados.

ROSA, Annelise, Gestão da qualidade do ar para empreendimento termelétrico e percepção da população do seu entorno quanto a qualidade do ar local – Estudo de caso - PUCRS 2007

REIS, M.J.L. ISO14000: Gerenciamento Ambiental : um novo desafio para sua competitividade. 1995.

Resolução 507/1976 - Ministério da Justiça: estabelece os limites de emissão do cárter para os novos veículos a gasolina.

Resolução CONAMA nº 018/86, de 06/05/86, que estabelece os limites máximos de emissão para motores e veículos novos, bem como as regras e exigências para o licenciamento para fabricação de uma configuração de veículo ou motor e para a verificação da conformidade da produção.

Resolução CONAMA nº 003/90 de 28/06/90, na qual o IBAMA estabelece os padrões primários e secundários de qualidade do ar e ainda os critérios para episódios agudos de poluição do ar.

Resolução CONAMA nº 008/90 de 06/12/90, que estabelece limites máximos de emissão de poluentes no ar para processos de combustão externa em fontes novas fixas com potências nominais até 70 MW e superiores.

Resolução CONAMA nº 03/89, que estabelece os métodos de medição e os limites de emissão de aldeídos para veículos leves novos a álcool.

Resolução CONAMA nº 04/89, que estabelece metas para o desenvolvimento do método de medição da emissão de álcool em veículos.

Resolução CONAMA nº 06/93, que estabelece a obrigatoriedade dos fabricantes e importadores de veículos disporem de procedimentos e infra-estrutura para a divulgação sistemática das especificações de regulagem e manutenção dos motores e sistemas de controle de poluição.

Resolução CONAMA nº 07/93, que estabelece os padrões de emissão e procedimentos de inspeção para veículos em uso, bem como os critérios para a implantação dos Programas de I/M.

Resolução CONAMA nº 08/93, que estabelece novos prazos e limites de emissão para veículos novos (pesados em geral, leves a diesel e importados), bem como recomenda as especificações do óleo diesel comerciais necessárias ao controle ambiental.

Resolução CONAMA nº 16/93, que regulamenta a Lei nº 8723, ratificando as exigências das Resoluções CONAMA emitidas anteriormente sobre o assunto.

SANTOS, M. A. dos. A legislação ambiental no controle da poluição aérea e a geração termelétrica no Brasil. Disponível em: <<http://www.ivig.coppe.ufrj.br/doc/brasilatmtermeltricas.pdf>>. Acesso em jan. 2010.

SEINFELD, J.H. Atmospheric chemistry and physics of air pollution . Ed. John Wiley New York , 1986 (reprinted, 1998)

SILVA, E.S.B da. Dispersão Atmosférica das Emissões Aéreas da Usina Termelétrica de Charqueadas (ELETROSUL). 1995. 85 f. Monografia de graduação (Carvão e meio ambiente) Faculdade de Ecologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1995.

STERN, A.C. The effects of air pollution. Academic Press, INC. N.Y. , 1984

STIX, G. Como consertar o clima – O aquecimento global é uma realidade. Para enfrentar a situação, mudanças tecnológicas e político-energéticas se fazem urgentes. Revista Scientific American. Edição especial Brasil, Ano 5, n. 53, outubro 2006, p. 26-29.

VICÁRIA, L.; MANSUR, A. 2007. Que mundo será este? Revista Época, São Paulo, n. 455, p. 94-101, 5 de fev. 2007.

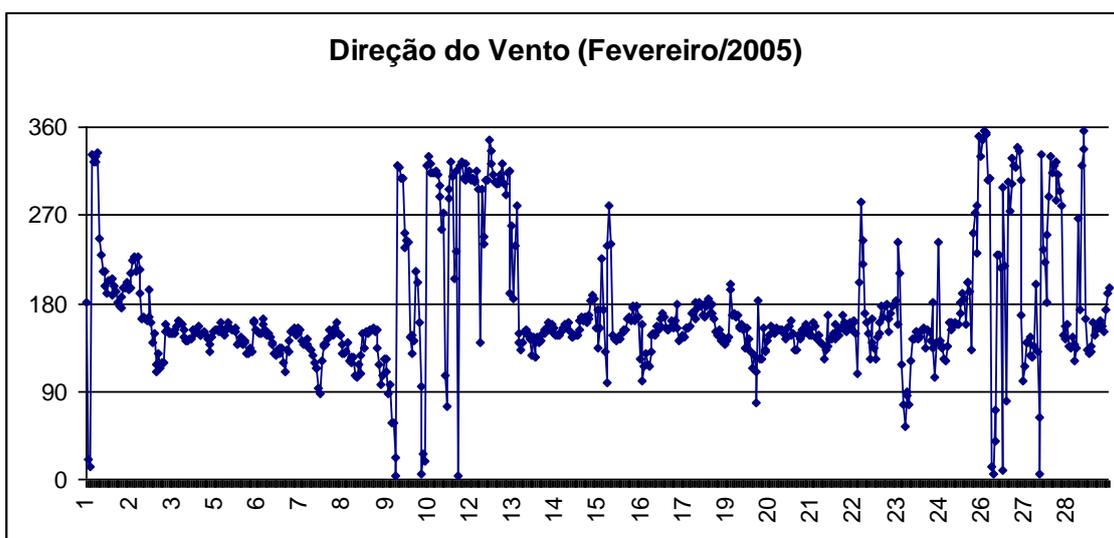
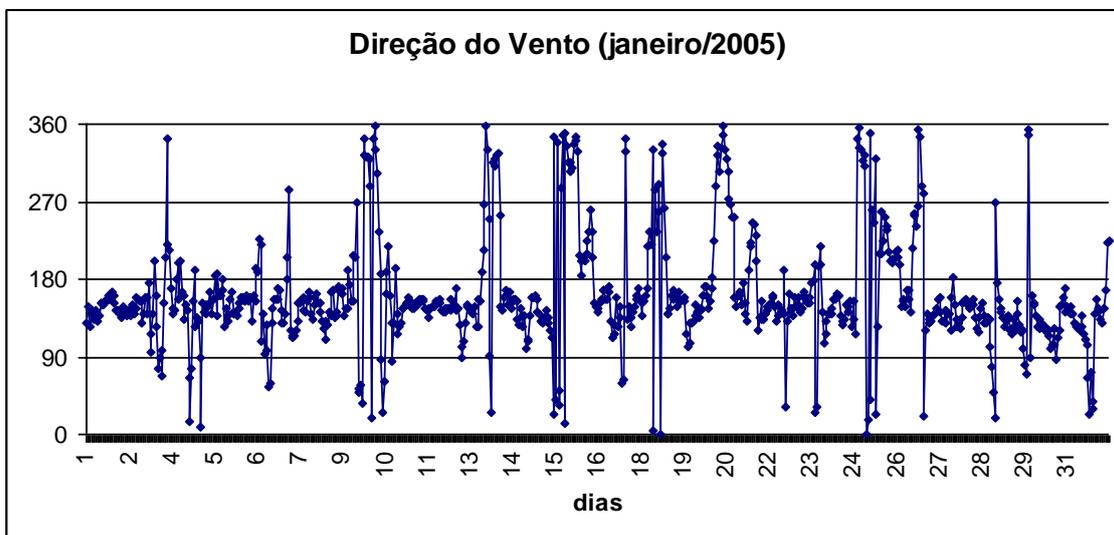
WIKIPÉDIA – Poluição Atmosférica. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Polui%C3%A7%C3%A3o_atmosf%C3%A9rica>. Acesso dezembro 2009.

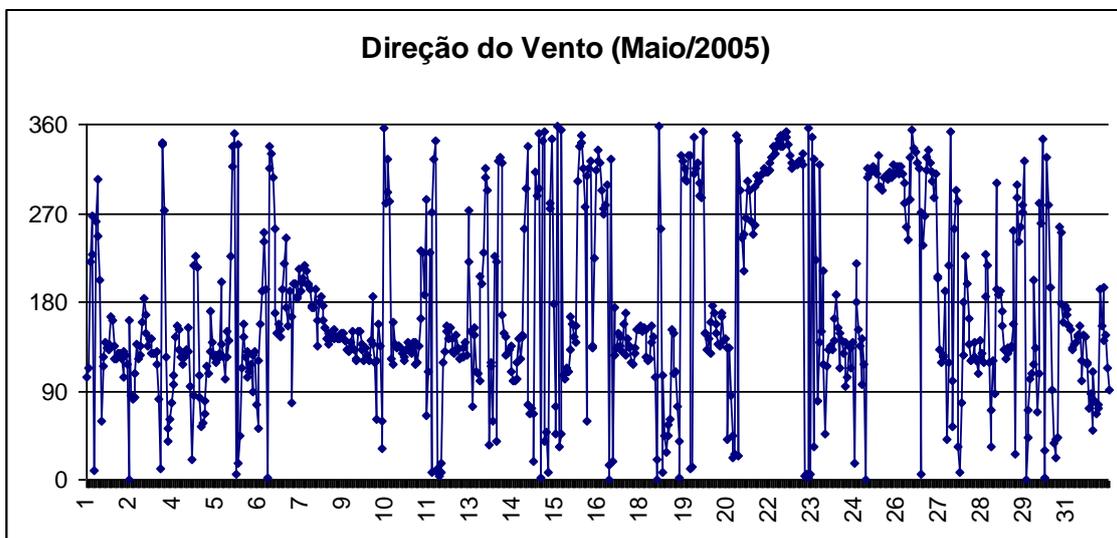
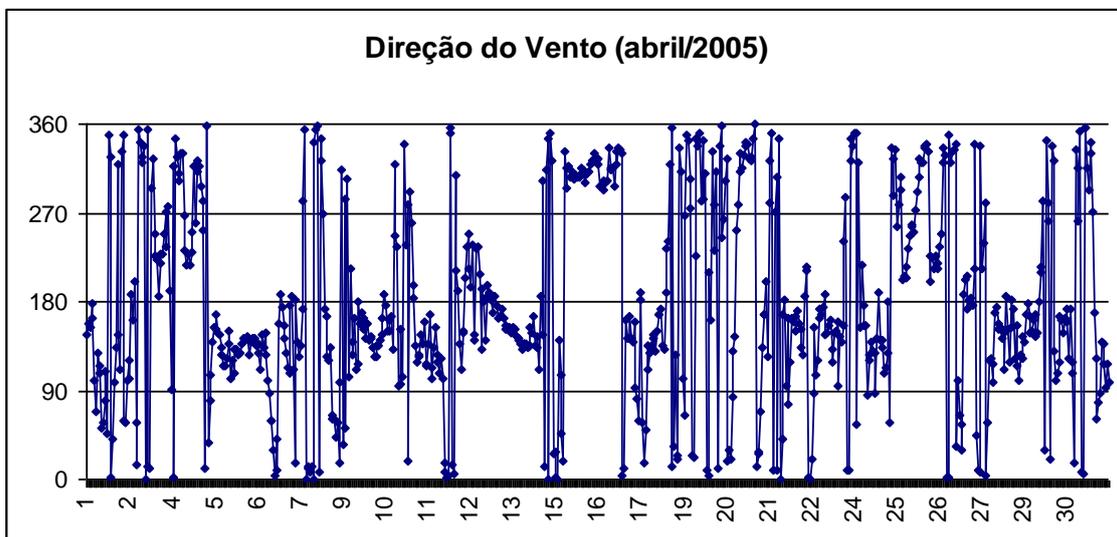
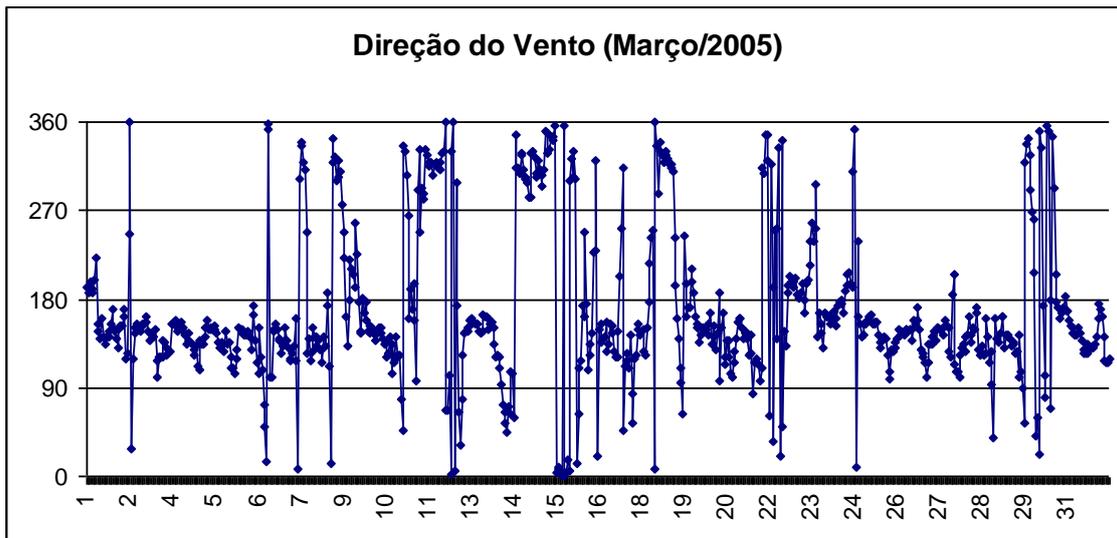
YIN, Robert K. Estudo de caso: planejamento e métodos. 3.ed. Porto Alegre : Bookman, 2005.

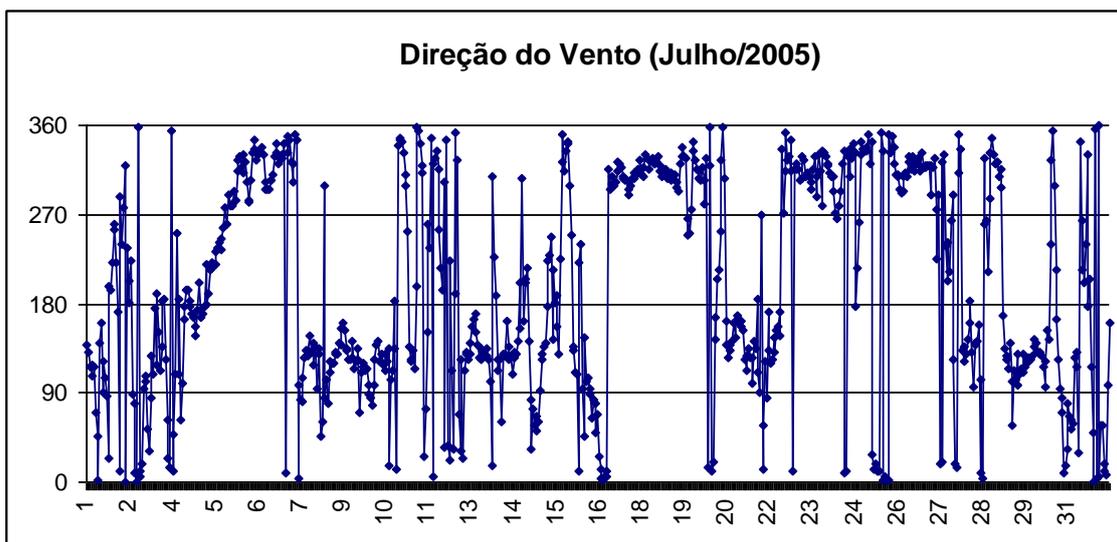
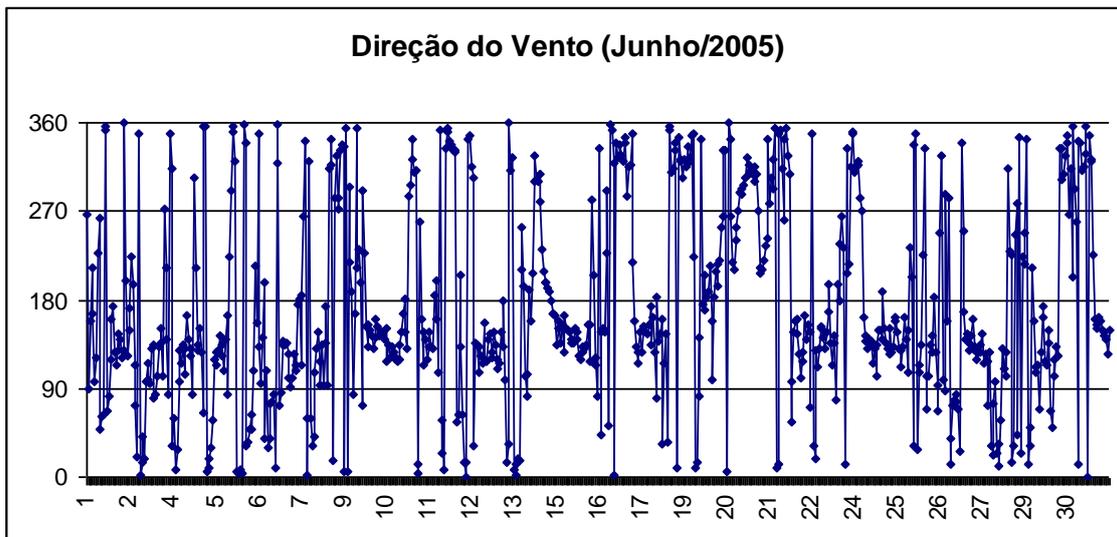
ZANETTI, P. Air Pollution Modeling. Published by Van Nostrand Reinhold. New York. U.S.A. , 1990.

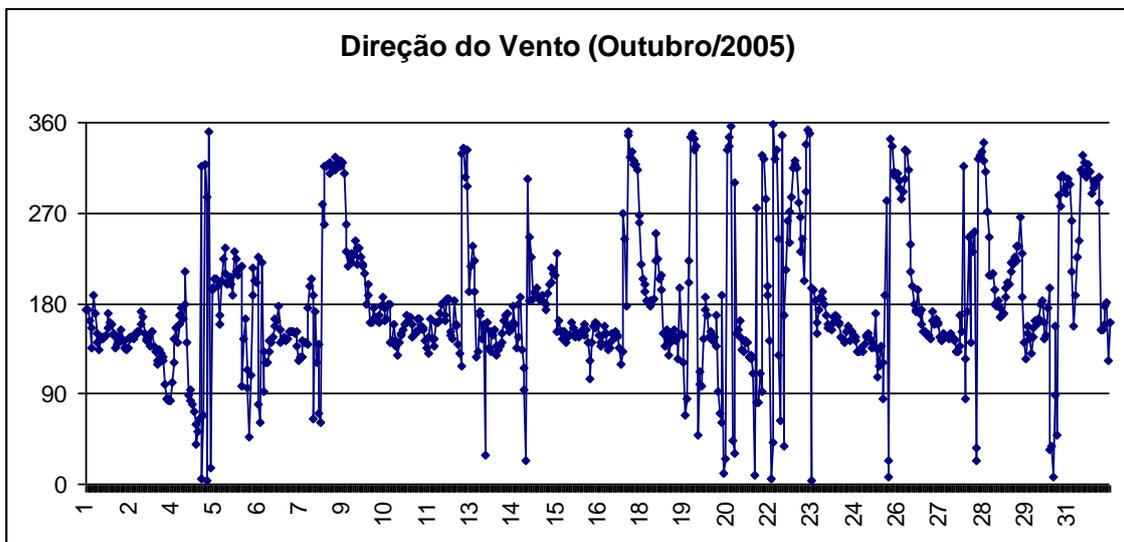
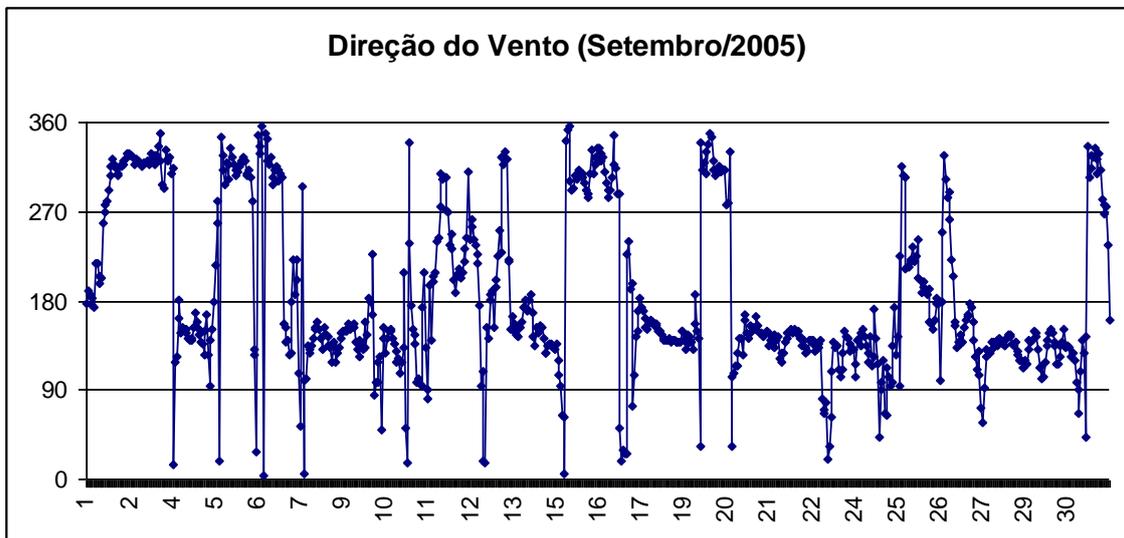
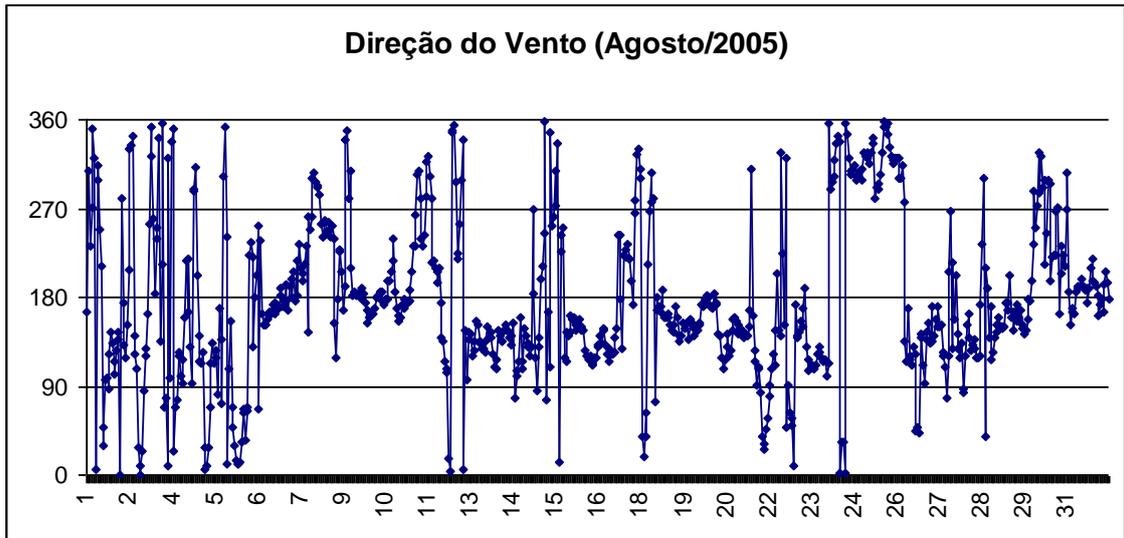
ANEXOS

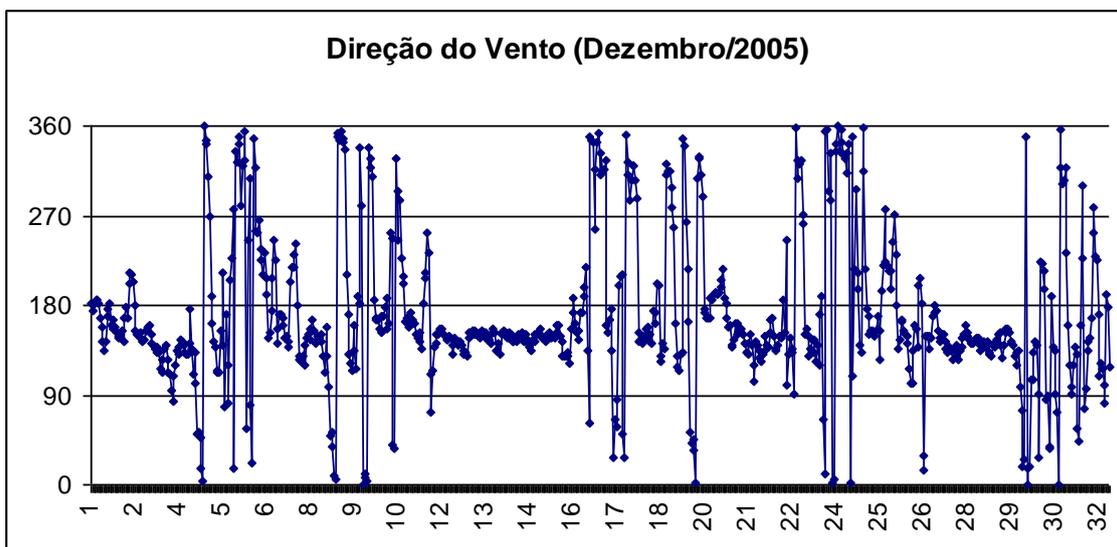
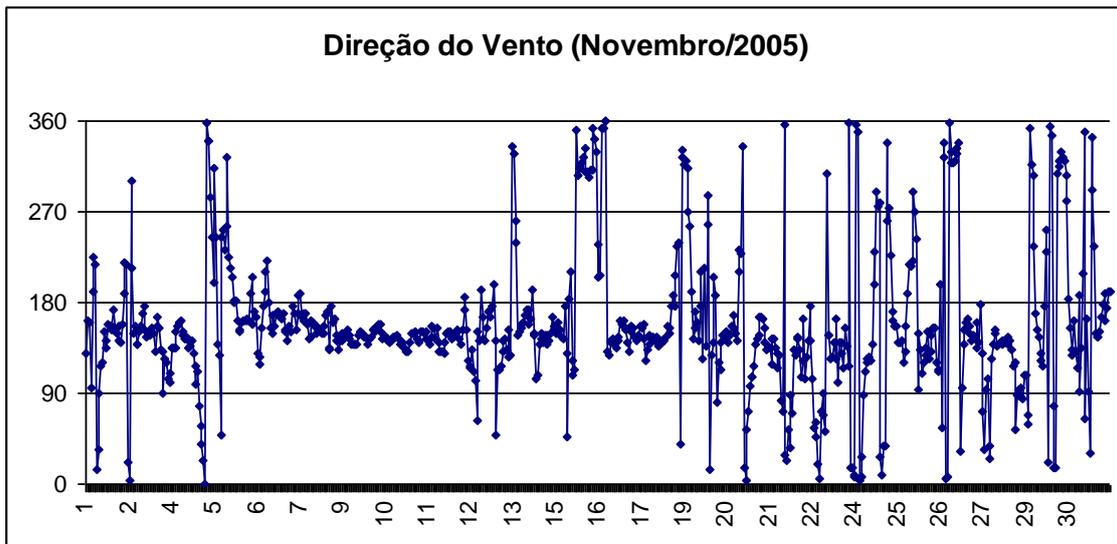
GRAFICOS DIRECAO DOS VENTOS



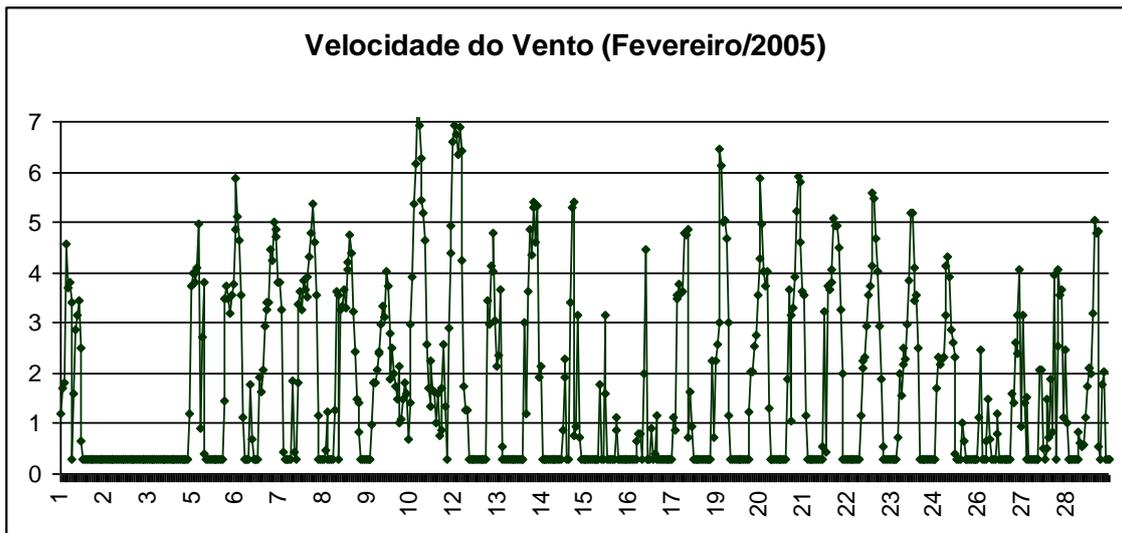
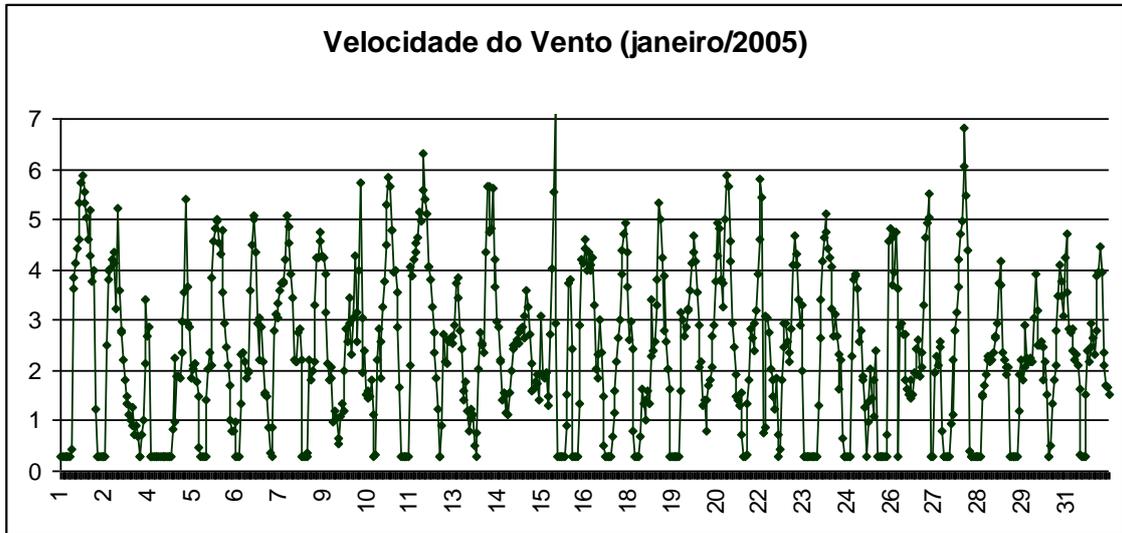


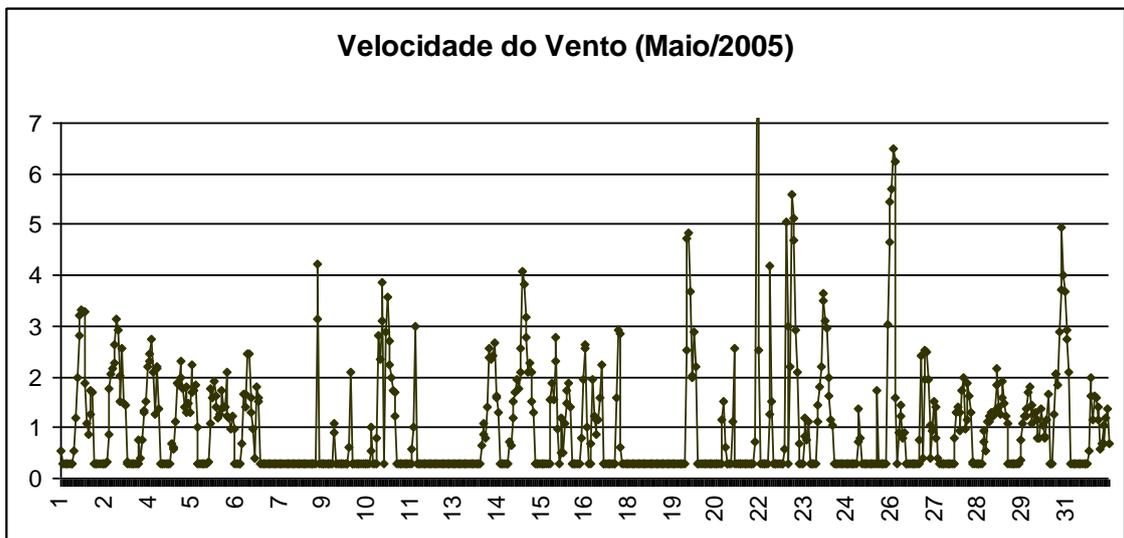
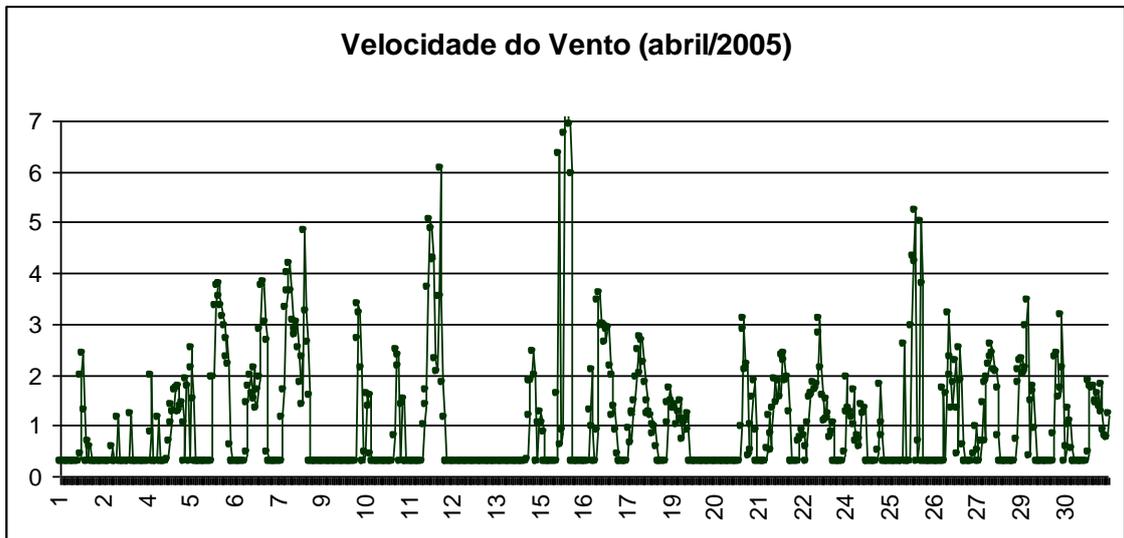
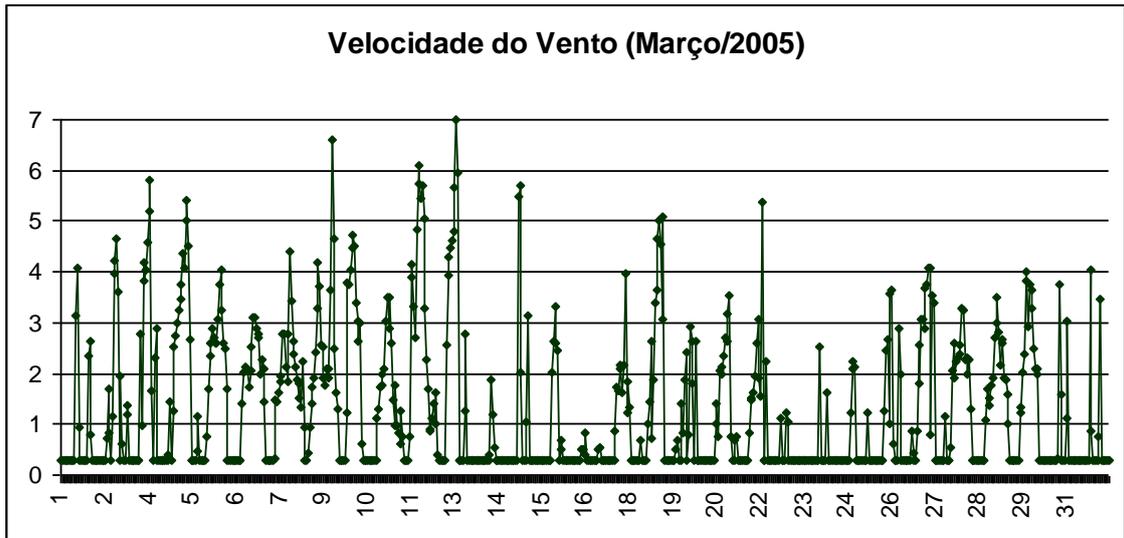


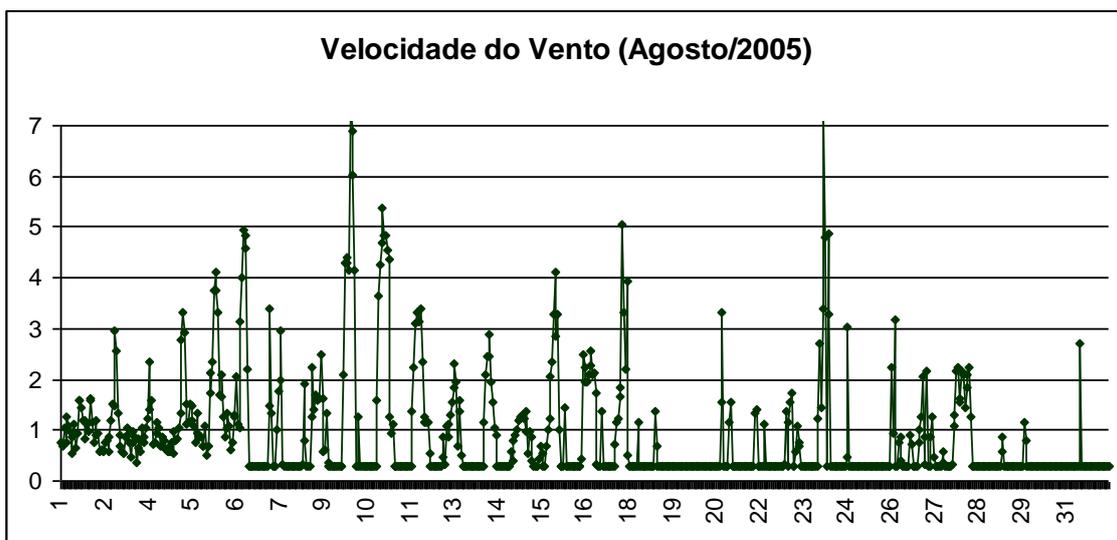
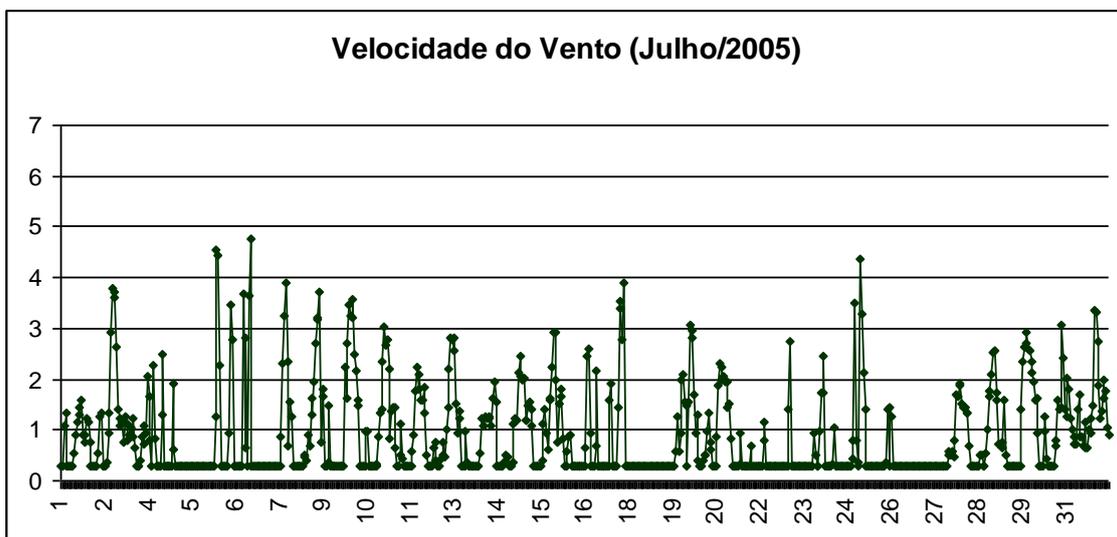
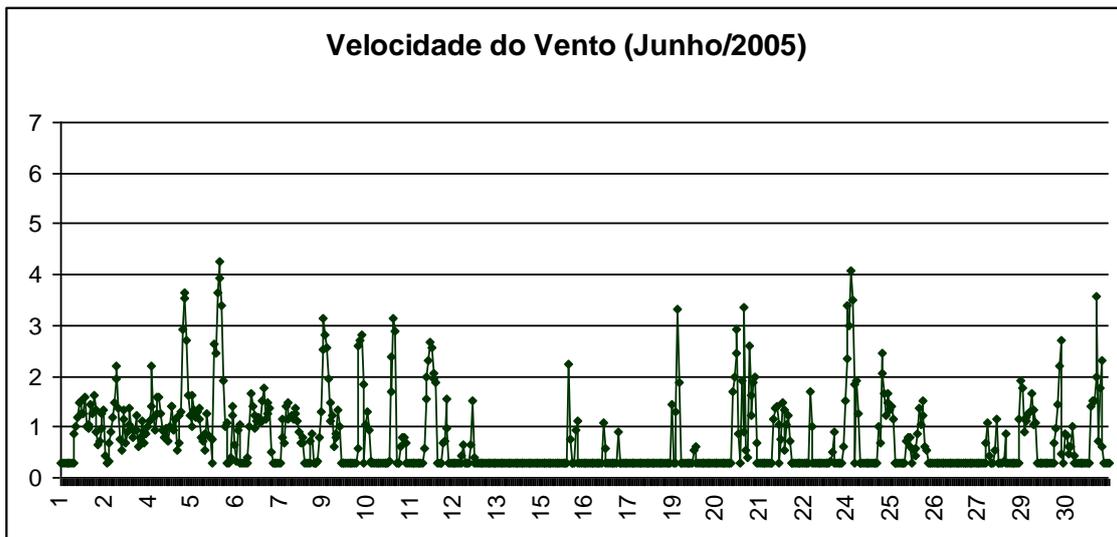


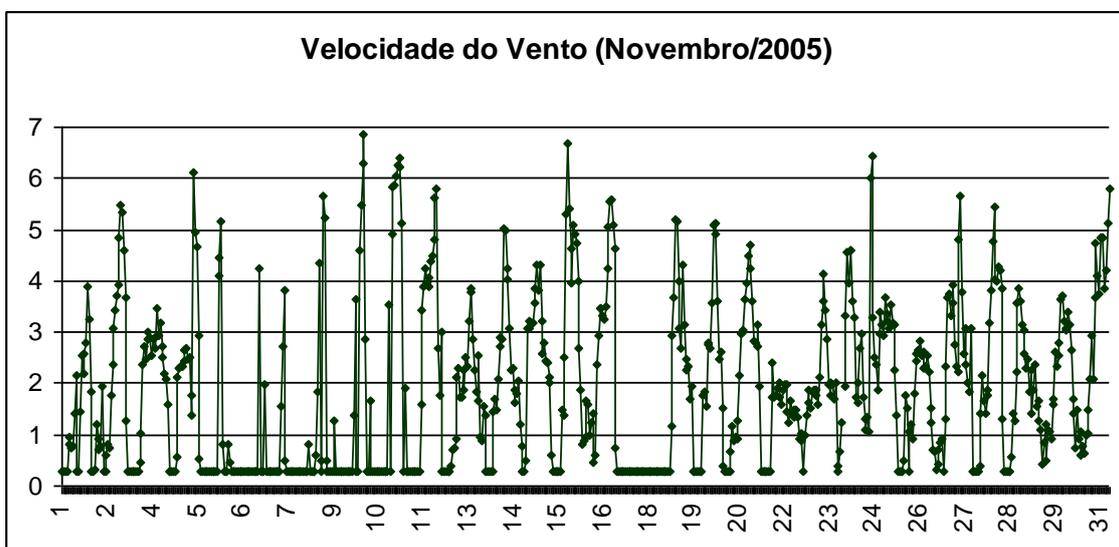
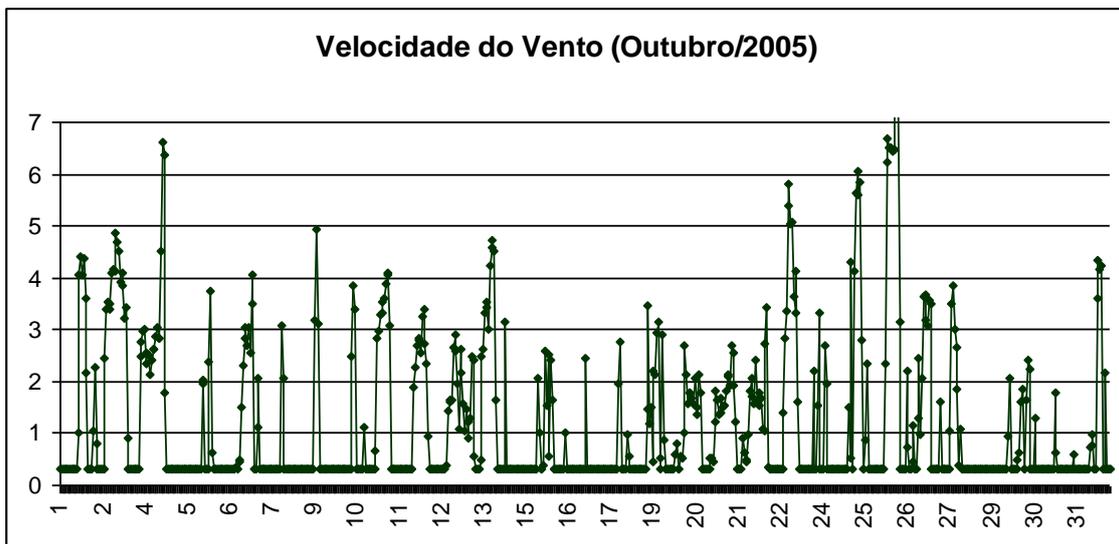
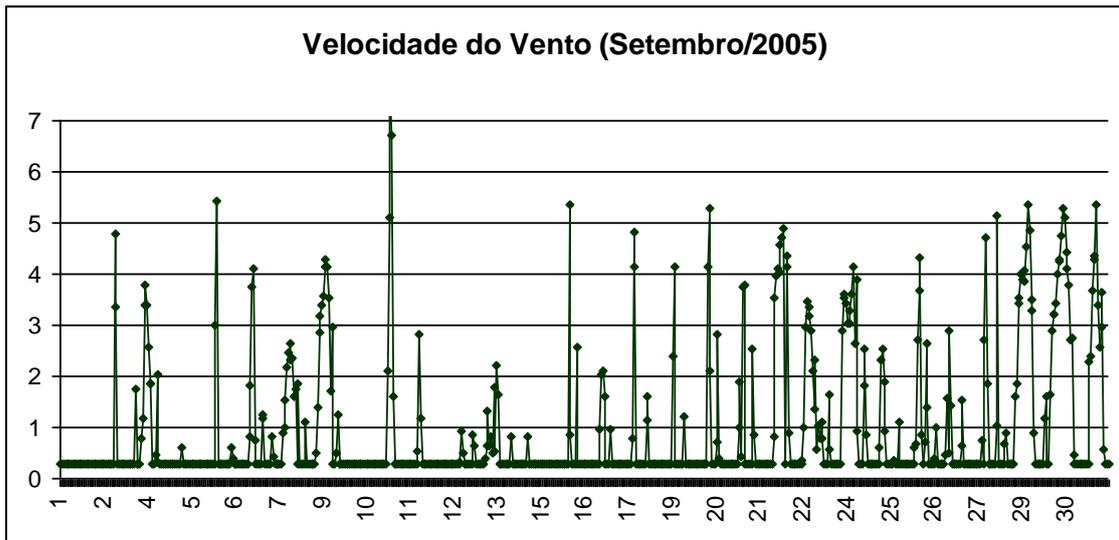


GRAFICOS VELOCIDADE DOS VENTOS

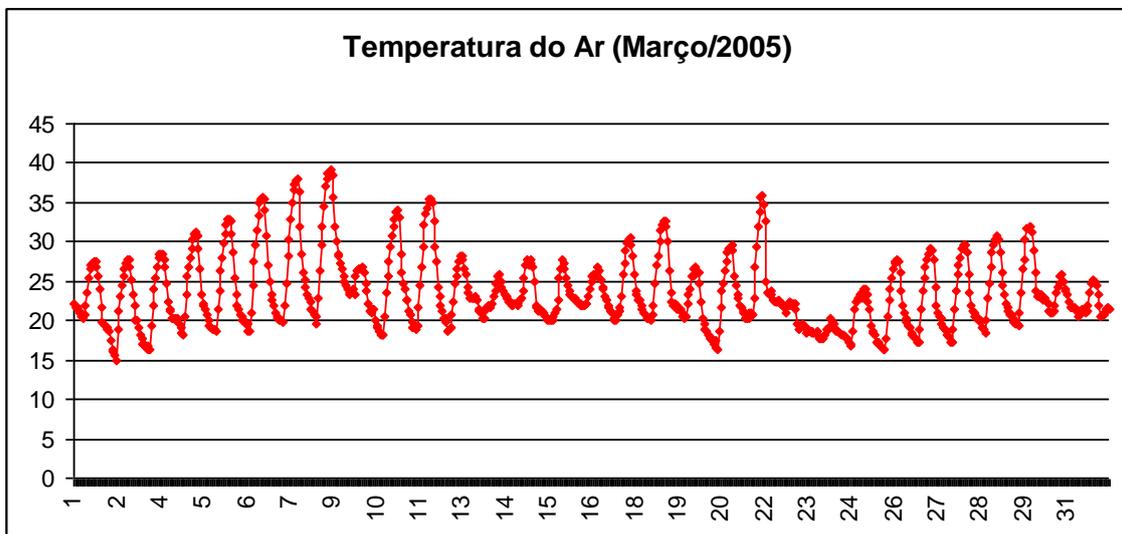
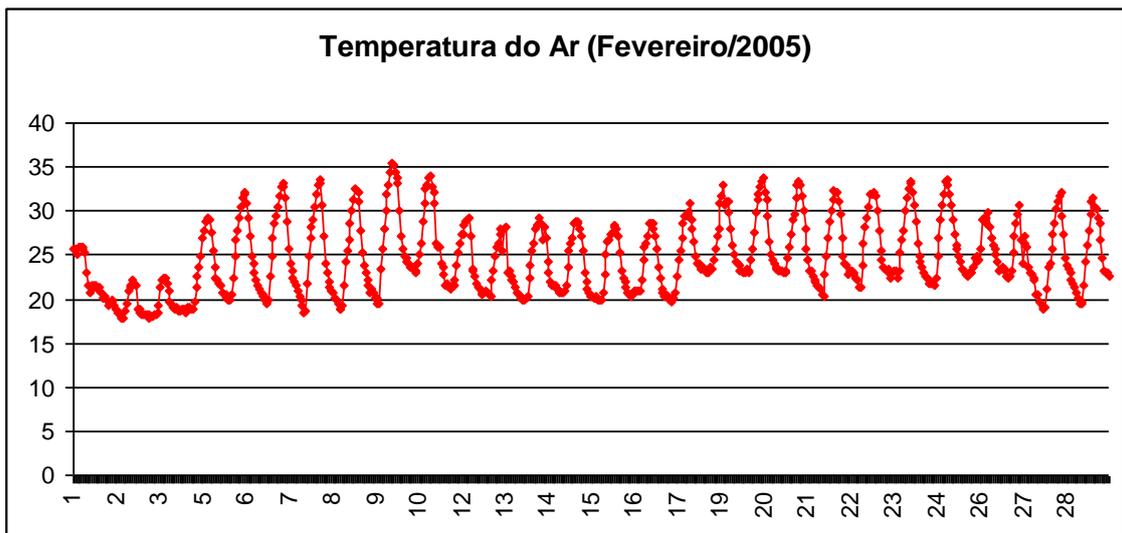
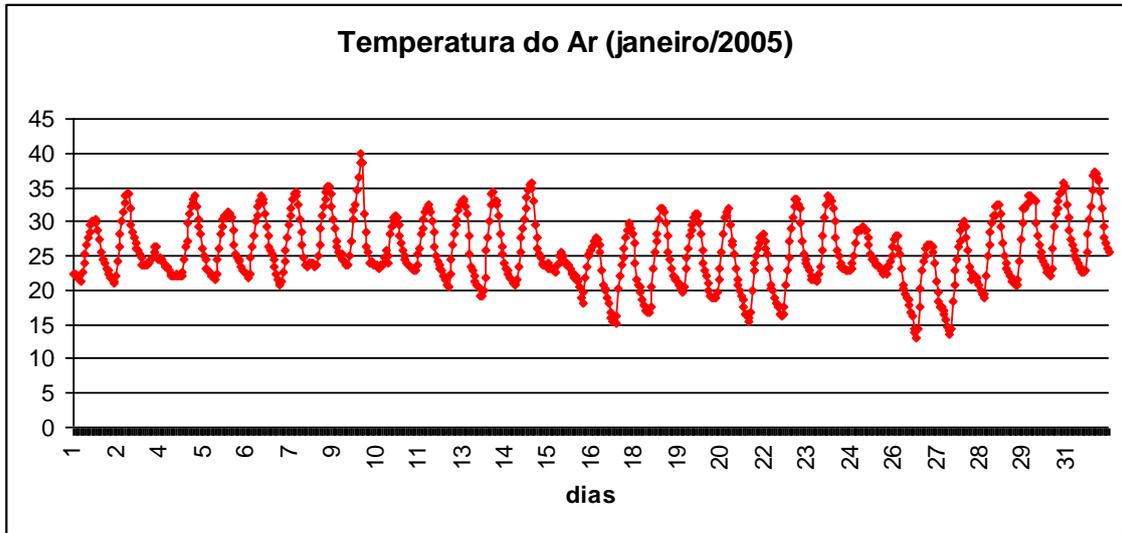


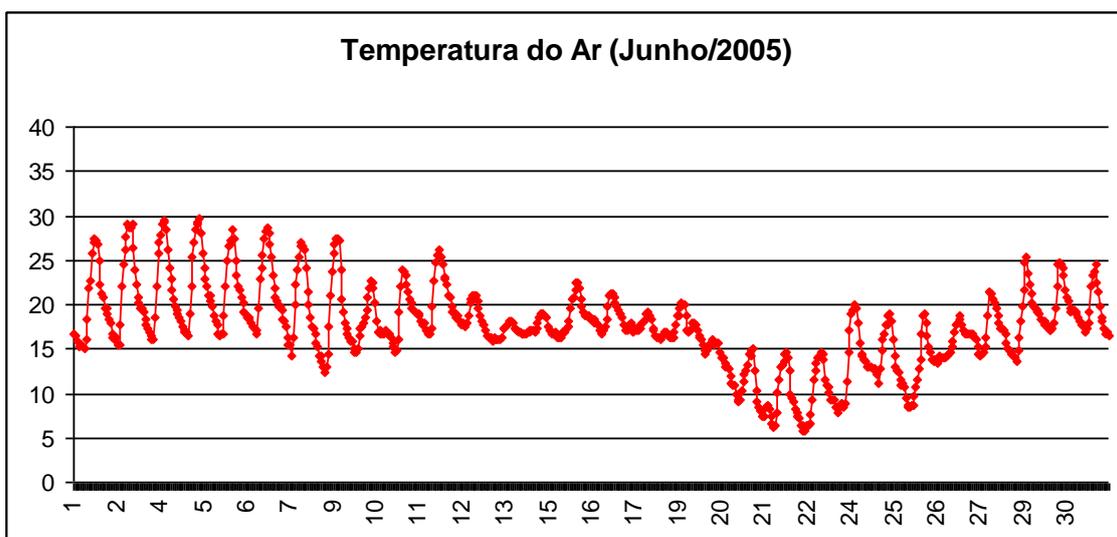
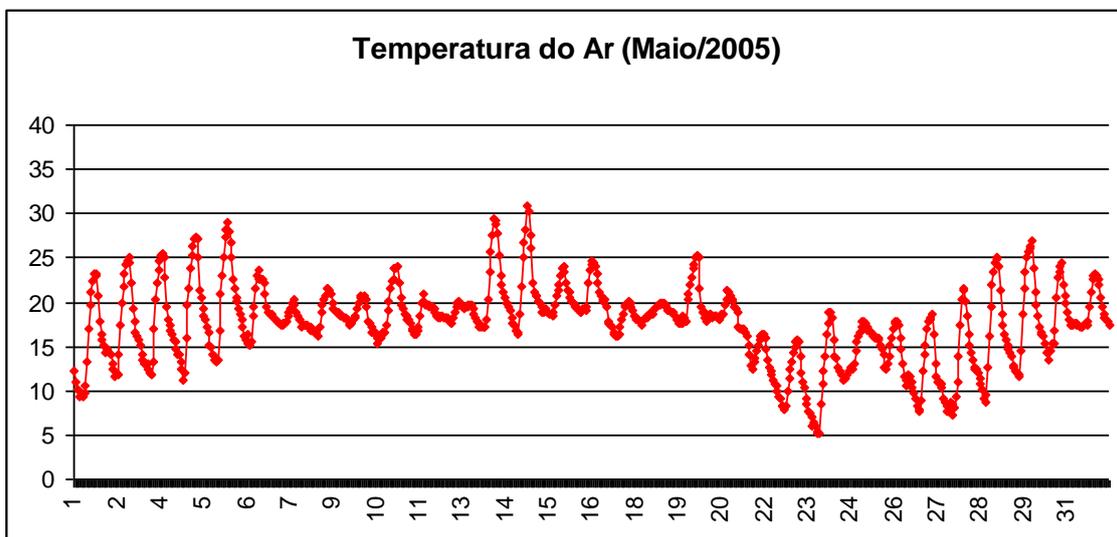
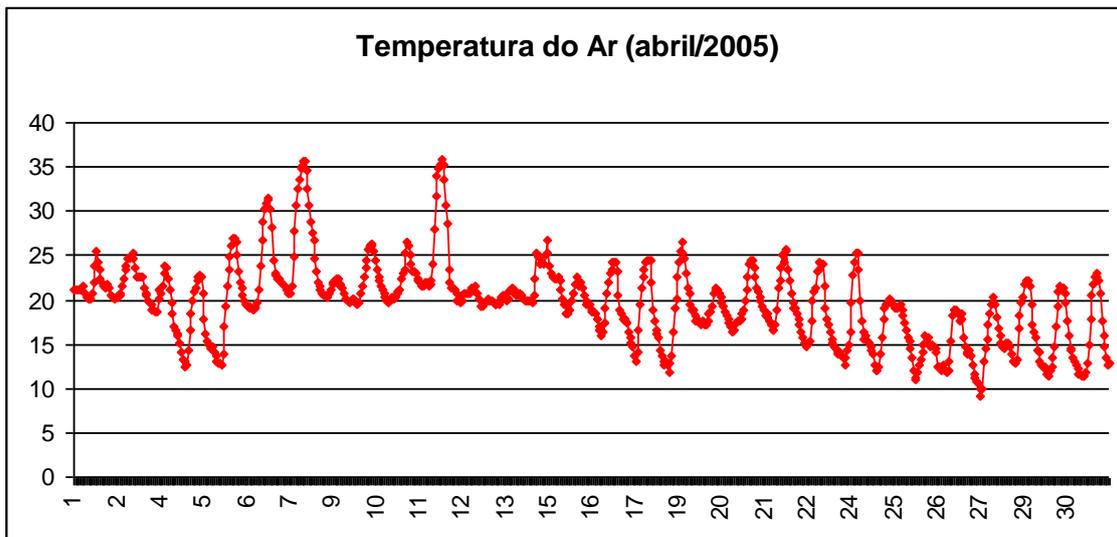


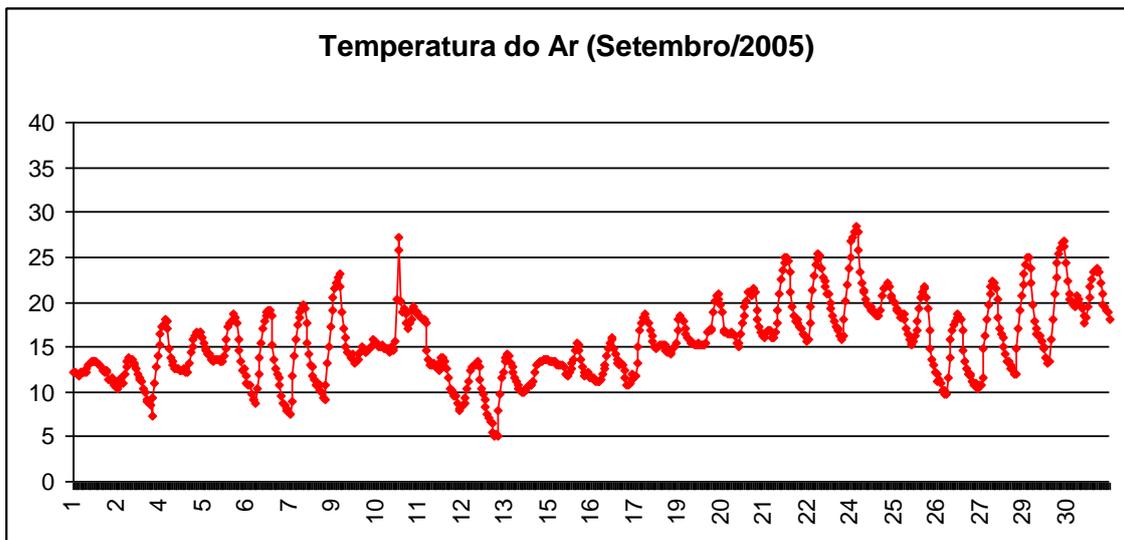
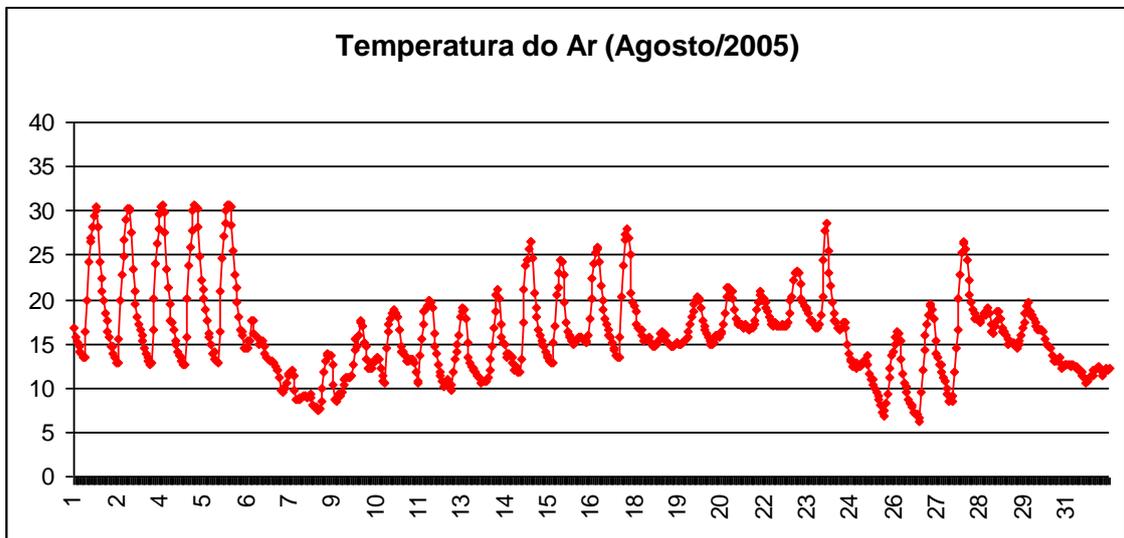
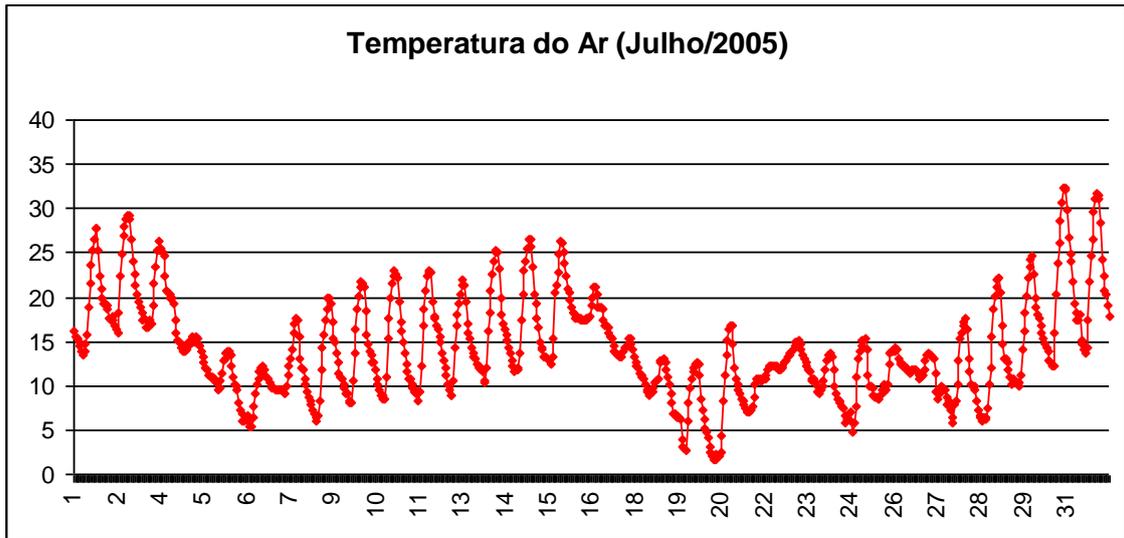


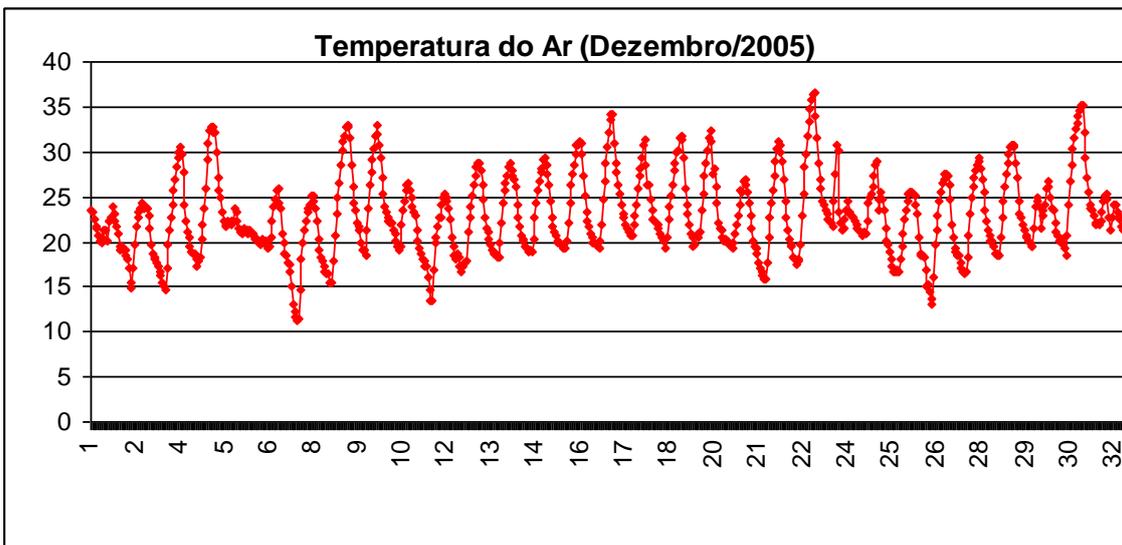
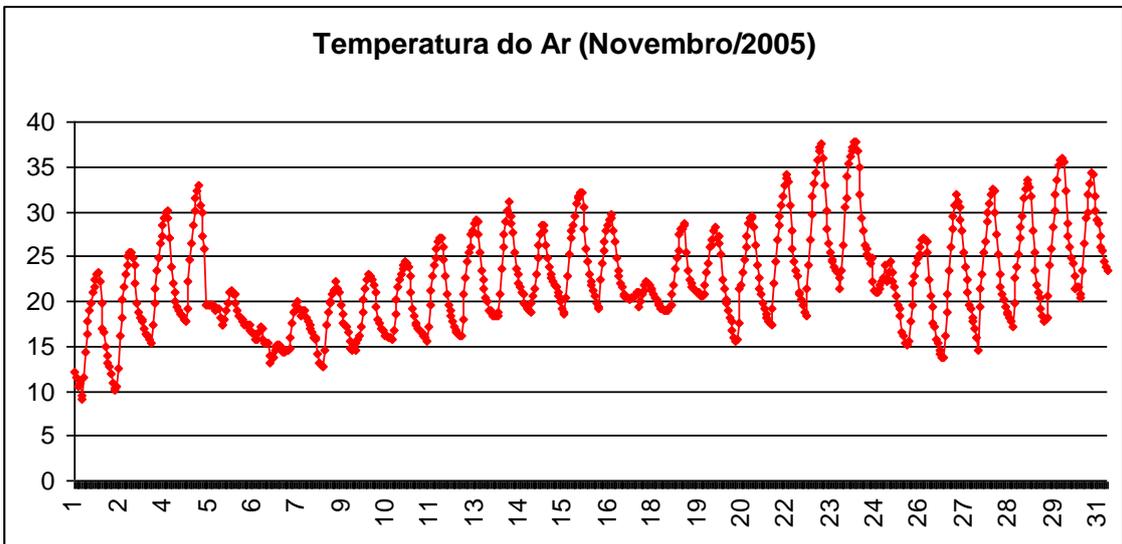
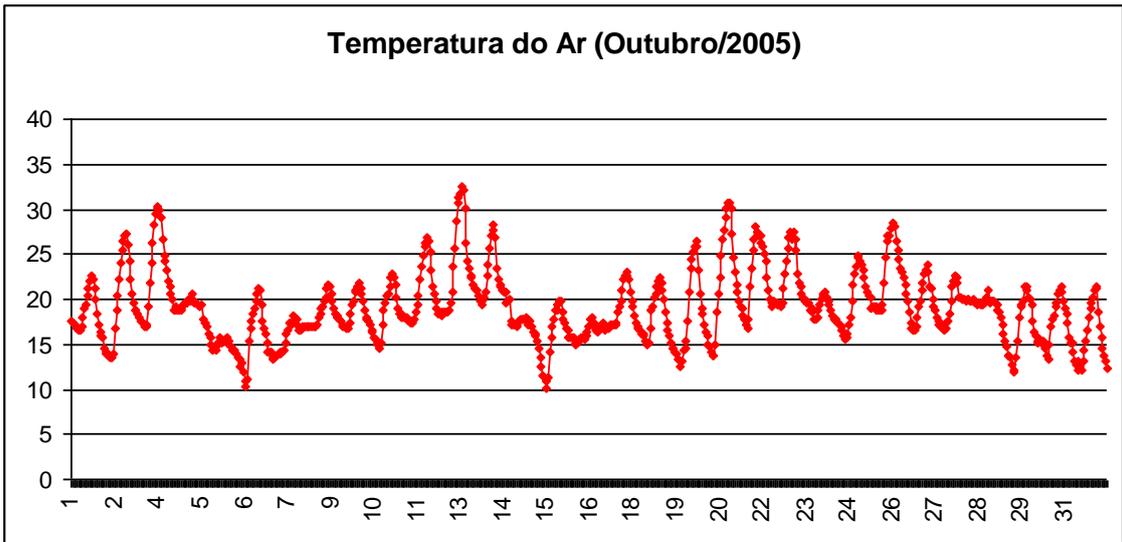


GRAFICOS DE TEMPERATURA DO AR









COMPARACAO ENTRE AS ESTACOES METEOROLOGICAS DO 8 DISME - POA E CHARQUEADAS

