ESTUDO DA DISPERSÃO ATMOSFÉRICA DE POLUENTES, UTILIZANDO O MODELO ISCST3 (*INDUSTRIAL SOURCE COMPLEX*) PARA A USINA TERMOELÉTRICA DE AGUDOS DO SUL (MUNICÍPIO DE AGUDOS DO SUL/PR)

KCC – GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA LTDA

ELABORAÇÃO E RESPONSABILIDADE:

envex
Engenharia e Consultoria Ambiental

&

SIMILAR
CONTROLE DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

André Luciano Malheiros, MSc.
Eng. Civil – CREA PR-67038/D

Helder Rafael Nocko, Eng.
Eng. Ambiental – CREA PR-86285/D

Andréas Grauer, Dr.
Eng. de Processos

Curitiba/PR

Outubro de 2009

Divulgação irrestrita, desde que mencionada a fonte	
Divulgação restrita	*X*

APRESENTAÇÃO

Apresentamos à KCC GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA LTDA o presente relatório referente à modelagem da dispersão de partículas na atmosfera no entorno da USINA TERMOELÉTRICA DE AGUDOS DO SUL e respectiva avaliação de impactos ambientais da emissão originada na queima de combustível para geração de energia.

EnvEx Engenharia e Consultoria Ambiental S/S

&

SIMILAR Controle de Emissões Atmosféricas

SUMÁRIO

SUMÁRIO 1
LISTAS DE FIGURAS 2
LISTAS DE TABELAS 3
LISTAS DE TABELAS 3
1 INTRODUÇÃO 4
1.1 Objetivo 4
2 CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO 5
3 Fontes de Efluentes Atmosféricos 6
4 PADRÕES LEGAIS A SEREM ATENDIDOS 7
4.1 Padrões de Emissão 7
4.2 Altura mínima da chaminé 8
4.3 Padrões de Qualidade do Ar 9
5 MODELAGEM DA DISPERSÃO ATMOSFÉRICA 11
5.1 METODOLOGIA DO ESTUDO DE DISPERSÃO 11
5.2 Implementação do Modelo ISC3 13
5.3 Configuração do ISCST3 14
5.4 Condições Meteorológicas 15
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES 21
6.1 Resultados das Médias Anuais de PTS 21
6.2 Resultados das Médias Diárias Máximas de PTS 23
6.3 Resultados das Médias Anuais de NO_2 24
6.4 Resultados das Médias Horárias Máximas de NO_2 26
7 CONCLUSÕES 28
8 PROGRAMA DE AUTOMONITORAMENTO 29
8.1 Empreendimento 29
8.2 Fonte de emissão atmosférica 30
8.3 Monitoramento da fonte 30

EnvEx Engenharia e Consultoria Ambiental
CNPJ 08.418.789/0001-07
envex_engenharia@yahoo.com.br

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da Usina (Fonte: Simepar / Modificado: Envex, 2009) 5
Figura 2 – Esquema de Pluma Gaussiana, utilizado pelo modelo ISCST3.12
Figura 3 – Rosa-dos-ventos para a região. 17
Figura 4 – Velocidade média mensal de vento. 17
Figura 5 –Classes de Estabilidade Pasquill.....18
Figura 6 – Temperatura mensal média. 18
Figura 7 – Radiação solar mensal média. 19
Figura 8 – Umidade relativa mensal média.....19
Figura 9 – Precipitação mensal média. 20
Figura 10 – Concentração média anual de PTS 22
Figura 11 – Envoltória das concentrações máximas de 24 h para PTS.....24
Figura 12 – Concentração média anual de NO_2 25
Figura 13 – Envoltória de máximas concentrações horárias de NO_x 27

EnvEx Engenharia e Consultoria Ambiental
CNPJ 08.418.789/0001-07
envex_engenharia@yahoo.com.br

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1 – Características da chaminé e emissões (Fonte: Biochamm Caldeiras) 6
Tabela 2 – Padrão de emissão estadual – 11% de O_2 (Fonte: Resol. SEMA 054/06) 7
Tabela 3 - Padrões de emissão conforme Resolução CONAMA 382/06 8
Tabela 4 – Altura mínima da chaminé conforme artigo 8 da Resolução SEMA 054/06 9
Tabela 5 – Padrões de Qualidade do Ar (Res. CONAMA 03/90) 10
Tabela 6 – Taxas de emissões (Fonte: Biochamm Caldeiras) 21
Tabela 7 – Concentrações máximas (média anual) de PTS 22
Tabela 8 – Concentrações máximas (média de 24 horas) de PTS 23
Tabela 9 – Concentrações máximas (média anual) de NO_2 25
Tabela 10 – Concentrações máximas (média de 1 hora) de NO_2 26

EnvEx Engenharia e Consultoria Ambiental
CNPJ 08.418.789/0001-07
envex_engenharia@yahoo.com.br

1 INTRODUÇÃO

Este relatório apresenta os resultados referentes à modelagem matemática da dispersão de poluentes atmosféricos no entorno da Usina Termoelétrica de Agudos do Sul.

O estudo contempla um prognóstico quanto aos possíveis impactos ambientais causados à qualidade do ar pela operação da usina térmica com respectiva queima de biomassa, totalizando uma potência instalada de 16,5 MW.

O estudo conta com um histórico de 4 anos de dados meteorológicos, a fim de avaliar a variação da poluição ao longo de alguns anos, e possibilitar o cálculo de médias anuais e verificação de poluições máximas diárias para um período representativo de dados.

São calculadas as concentrações dos principais poluentes emitidos que podem causar impactos na área de influência do empreendimento: óxidos de nitrogênio (NO_x) e material particulado total (MPT). A emissão de monóxido de carbono (CO) também é estimada.

A metodologia inclui o uso do modelo de dispersão ISCST3 (*Industrial Source Complex – Short Term*), cujo detalhamento será feito ao longo deste relatório.

1.1 Objetivo

O principal objetivo do estudo é, portanto, avaliar os impactos das emissões de óxidos de nitrogênio e material particulado, principais substâncias emitidas pela queima de biomassa para geração de energia elétrica na usina térmica. Os resultados são comparados com os padrões de qualidade do ar e eventuais emissões e concentrações já existentes na região e o que será acrescentado em função da implantação da usina.

EnvEx Engenharia e Consultoria Ambiental
CNPJ 08.418.789/0001-07
envex_engenharia@yahoo.com.br

2 CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

A Usina Termoelétrica de Agudos do Sul será instalada no Município de Agudos do Sul, no estado do Paraná, localizado 68 km ao sul da capital Curitiba. Este município faz limite com o estado de Santa Catarina. O terreno da usina está localizado nas coordenadas geográficas 26º03'15" S e 49º21'24" W, com altitude média de aproximadamente 955 m acima do nível do mar. A Figura 1 mostra a localização do empreendimento.

A usina será interligada à subestação da Copel (Tafisa/Arauco) localizada próxima à cidade de Piên, a 8,5 km de distância (em linha reta).

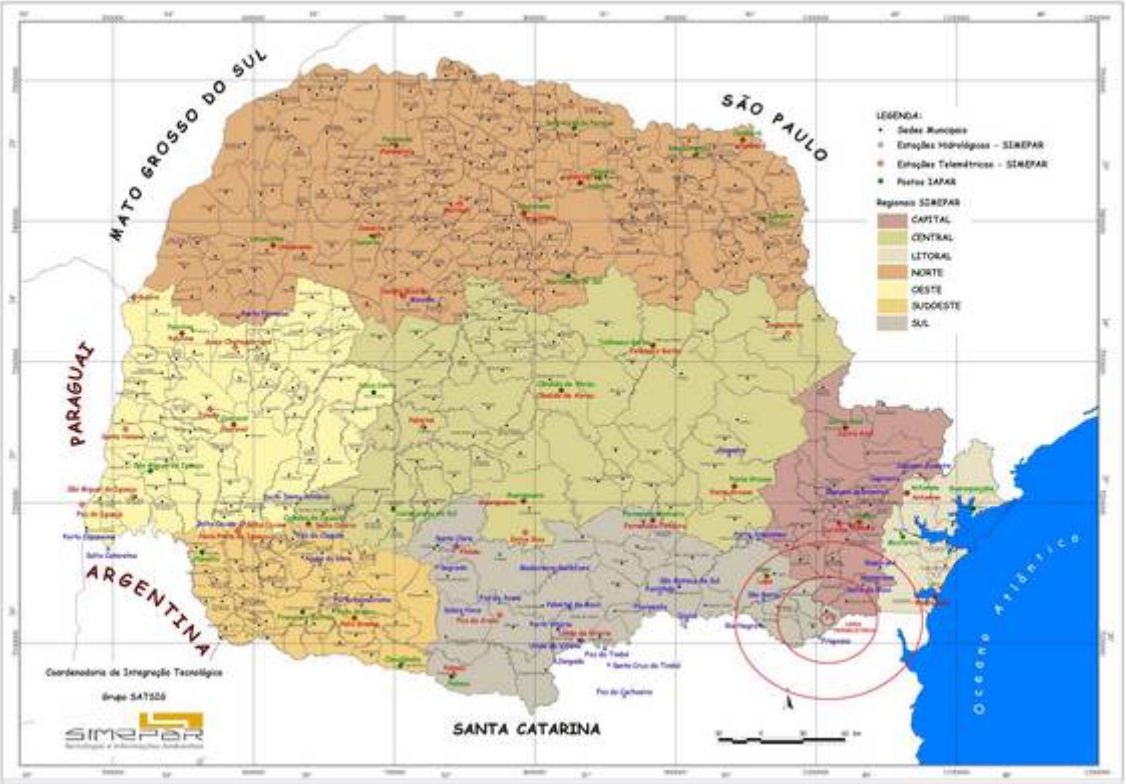

Figura 1 – Localização da Usina (Fonte: Simepar / Modificado: Envex, 2009)

A usina terá potência elétrica bruta instalada de 16,5 MW e queimará biomassa, sendo que existirão 3 pátios para acumulação de biomassa, totalizando uma área de armazenamento de 5.793 m^2, com volume aproximado de 23.848 m^3.

EnvEx Engenharia e Consultoria Ambiental
CNPJ 08.418.789/0001-07
envex_engenharia@yahoo.com.br

3 Fontes de Efluentes Atmosféricos

A usina está projetada geração de energia elétrica com potência até 16,5 MW bruto. A operação da usina será contínua, 24 h dos 365 dias do ano, totalizando 8760 h de operação anualmente.

A queima de biomassa (derivados de madeira) lança para a atmosfera material particulado total (MPT), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2), óxidos de nitrogênio (NO_x) e uma pequena parcela de hidrocarbonetos (Lora, 2000; EPA, 1995). Para fins de avaliação de impactos sobre a qualidade do ar, entretanto, considera-se neste estudo o impacto apenas as principais substâncias: MPT, NO_X e CO, que são as mais representativas e possuem limites de emissão regulamentados pelo CONAMA, através da Resolução 382/06, e pelo Estado do Paraná, através da Resolução 054/06, conforme será visto adiante.

A usina terá uma única chaminé, cujos dados estão na Tabela 1. As emissões foram calculadas considerando o consumo de combustível do projeto (empresa responsável pelo projeto: Biochamm Caldeiras) e as concentrações máximas permitidas pela legislação conforme Tabela 2.

Tabela 1 – Características da chaminé e emissões (Fonte: Biochamm Caldeiras)

Parâmetro	**Valor**
Localização (UTM), Zona 22	664,479 km; 7.117,193 km
Altitude	955 m
Altura de lançamento	30 m
Diâmetro da chaminé	2,5 m
Temperatura dos gases	125ºC
Velocidade de saída	9,0 m/s
Operação	8400 h/ano
Combustível	Resíduos de beneficiamento de madeira e florestais oriundos do corte raso dos reflorestamentos regionais
Consumo do combustível do projeto	18920 kg/hora
Emissão de MPT	27,77 kg/hora
Emissão de NO_x (como NO_2)	69,41 kg/hora
Emissão de CO	138,85 kg/hora

EnvEx Engenharia e Consultoria Ambiental
CNPJ 08.418.789/0001-07
envex_engenharia@yahoo.com.br

4 PADRÕES LEGAIS A SEREM ATENDIDOS

A seguir são descritos os padrões de qualidade e exigências normativas e legais que devem ser atendidos quanto aos poluentes atmosféricos.

4.1 Padrões de Emissão

Os padrões de emissão atmosférica têm o objetivo de controlar o lançamento das fontes fixas estacionárias.

A legislação paranaense estabelece, na sua Resolução SEMA 054/06, artigo 21, inciso IV, limites de emissão para fontes de "Geração de calor ou energia" utilizando derivados de madeira como combustível, sendo que os valores estão na Tabela 2. No caso da caldeira da usina, a potência térmica nominal é de 64 MW, enquadrando-se na faixa de potência entre 50 e 100 MW, na qual os limites de emissão são: 200 mg/Nm³ de MPT, 1.000 mg/Nm³ de CO e 500 mg/Nm³ de NO_x (condição referencial de oxigênio de 11%). Neste caso, a chaminé deverá ter seu monitoramento de MPT, CO, NO_x e O_2 em ritmo semestral, para atendimento à referida Resolução.

Tabela 2 – Padrão de emissão estadual – 11% de O_2 (Fonte: Resol. SEMA 054/06)

Potência Térmica Nominal[1)] MW	Densidade colorimétrica	MP-total mg/Nm³	CO mg/Nm³	NO_x mg/Nm³	SO_x mg/Nm³	Automonitoramento – Amostragem	
						Parâmetros	Freqüência
Até 0,5	20% equivalente ao Padrão 1 da Escala Ringelmann[2)]	560	6.000	NA	NA	CO ou MP-total, O_2	Anual
Entre 0,5 e 2,0		560	3.000	NA	NA		Anual
Entre 2,0 e 10		560	2.500	NA	NA		Semestral
Entre 10 e 50		400	2.000	500	NA	MP-total, CO, NO_x e O_2	Semestral
Entre 50 e 100		200	1.000	500	NA	MP-total, CO, NO_x e O_2	Semestral
Acima de 100		100	500	500	NA	MP-total, CO, NO_x e O_2	Contínuo

Notas: 1) Na faixa até 10 MW, o controle das emissões poderá ser comprovado através do atendimento ao padrão de MP-total ou atendimento ao padrão de CO
2) exceto nas operações de aquecimento, modulação e ramonagem, por um período que totalize 10 minutos, ao longo das 24 horas do dia.
NA: Não aplicável

EnvEx Engenharia e Consultoria Ambiental
CNPJ 08.418.789/0001-07
envex_engenharia@yahoo.com.br

As fontes de efluentes atmosféricos devem atender também aos limites da Resolução CONAMA 382/06. A Tabela 3 mostra os padrões estabelecidos para "emissão de poluentes atmosféricos provenientes de processos de geração de calor a partir da combustão externa de derivados de madeira". Para a usina em estudo, de 64 MW de potência térmica, os limites são 260 mg/Nm^3 para MPT e 650 mg/Nm^3 para NO_x (condição referencial de oxigênio de 8%). Convertendo estes limites para a mesma condição referencial de oxigênio utilizada no Paraná, que é de 11%, obtemos limites de emissão idênticos aos paranaenses: 200 e 500 mg/Nm^3, respectivamente.

Tabela 3 - Padrões de emissão conforme Resolução CONAMA 382/06

Potência térmica nominal (MW)	MP[1]	NOx[1] (como NO_2)
Menor que 10	730	N.A.
Entre 10 e 30	520	650
Entre 30 e 70	260	650
Maior que 70	130	650

[1] os resultados devem ser expressos na unidade de concentração mg/Nm^3, em base seca e corrigidos a 8% de oxigênio.
N.A. - Não aplicável.

Os limites acima estão sendo levados em consideração no projeto da caldeira e o presente estudo reforça a necessidade do cumprimento destas resoluções.

4.2 Altura mínima da chaminé

A Resolução SEMA 054/06 estabelece no seu artigo 8º como padrão de condicionamento de fontes estacionárias uma altura mínima de chaminés para garantir uma boa dispersão das emissões. Os critérios adotados para a determinação da altura mínima são estes três:

1. 3 metros acima da edificação onde a fonte potencialmente poluidora será instalada;
2. A altura física da chaminé terá que ser determinada em função da taxa de emissão do poluente crítico e da elevação da pluma;

EnvEx Engenharia e Consultoria Ambiental
CNPJ 08.418.789/0001-07
envex_engenharia@yahoo.com.br

3. 5 metros acima da altura da residência mais alta num raio de 300 m ou num raio de 30 vezes a altura da chaminé.

Calculando as alturas necessárias conforme as emissões dos principais poluentes MPT, NO_x e CO obtemos os resultados mostrados na Tabela 4. O poluente crítico é o NO_x, que exige uma altura de 48 metros da chaminé, maior do que a altura projetada de 30 m. Entretanto, a taxa de emissão real deste poluente deve ser bem inferior do que 69,41 kg/h, porque em vez de trabalhar com a concentração limite de 500 mg/Nm^3, este processo trabalha tipicamente em torno de 106 até 188 mg/Nm^3, conforme o levantamento do subgrupo de trabalho do CONAMA sobre limites de emissão atmosférica para fontes fixas que utilizam derivados de madeira. A altura de 30 m é o suficiente até uma concentração de 300 mg/Nm^3 na chaminé. Valores acima de 300 mg/Nm^3 são medidos apenas nos casos de queima de placas de MDF ou aglomerado.

Tabela 4 – Altura mínima da chaminé conforme artigo 8 da Resolução SEMA 054/06

Poluente	Taxa de emissão	Altura mínima	5 m acima de residências no raio de
MPT	27,77 kg/h	18,8 m	840 m
NO_x	69,41 kg/h	48,0 m	1438 m
CO	138,85 kg/h	-	840 m

4.3 Padrões de Qualidade do Ar

Em nível federal a Resolução CONAMA 03/90 estabelece padrões de qualidade ambiental para 7 poluentes principais e critérios para episódios agudos de poluição do ar, são os mesmos estabelecidos pelo Estado do Paraná na Resolução SEMA 054/06. São definidos como poluentes indicadores da qualidade do ar as substâncias descritas na Tabela 5, com seus limites máximos e com o método de medição. Com relação às substâncias regulamentadas, as de maior interesse para o empreendimento em estudo são PTS e NO_2, que são os poluentes que deverão ser monitorados na fonte e que este trabalho apresenta a simulação de dispersão.

EnvEx Engenharia e Consultoria Ambiental
CNPJ 08.418.789/0001-07
envex_engenharia@yahoo.com.br

Tabela 5 – Padrões de Qualidade do Ar (Resolução CONAMA 03/90)

POLUENTES	Padrão Primário [µg/m³]	Padrão Secundário [µg/m³]	Tempo Amostragem	Método de Medição
Partículas Totais em Suspensão (PTS)	240(1) 80	150(1) 60	24 h anual(3)	amostrador de grandes volumes (Hivol)
Partículas Inaláveis (PI)	150(1) 50	150(1) 50	24 h anual(2)	separação inercial/filtração
Fumaça	150(1) 60	100(1) 40	24 h anual(2)	refletância
Dióxido de Enxofre (SO_2)	365(1) 80	100(1) 40	24 h anual(2)	pararosanilina
Monóxido de Carbono (CO)	40.000(1) 10.000(1)	40.000(1) 10.000(1)	1 h 8 h	infravermelho não dispersivo
Ozônio (O_3)	160(1)	160(1)	1 h	quimilumines-cência
Dióxido de Nitrogênio (NO_2)	320 100	190 100(1)	1 h anual(2)	quimilumines-cência

Notas:
(1) não deve ser excedido mais do que uma vez por ano
(2) média aritmética
(3) média geométrica

O **padrão primário** de qualidade do ar, menos rígido, determina o valor máximo estabelecido com o objetivo de proteger a saúde humana. O **padrão secundário** é mais rígido e determina valores abaixo dos quais os danos sejam mínimos ao sobre o bem-estar da população, sobre a biota, ao patrimônio físico, aos materiais e ao meio ambiente em geral.

Na seção seguinte e nos resultados de modelagem de dispersão deste estudo, as concentrações existentes e futuras previstas após a instalação deste empreendimento serão confrontadas com os padrões, para verificar os níveis de qualidade do ar nos dois cenários.

EnvEx Engenharia e Consultoria Ambiental
CNPJ 08.418.789/0001-07
envex_engenharia@yahoo.com.br

5 MODELAGEM DA DISPERSÃO ATMOSFÉRICA

Esta seção aborda sobre o modelo utilizado e quanto aos dados de que o alimentam. Como visto anteriormente, o resultado depende muito do modelo de dispersão utilizado e igualmente dos dados de entrada (emissões, meteorologia e topografia), a seguir são mostrados esses detalhes.

5.1 METODOLOGIA DO ESTUDO DE DISPERSÃO

Como já mencionado anteriormente, este trabalho avalia a contribuição das principais fontes de emissões conduzidas de efluentes atmosféricos. Para isso, utiliza-se como principal ferramenta um modelo matemático de dispersão, que consiste em representar através de equações escritas em um programa computacional os processos físicos e químicos que ocorrem na atmosfera, representando analiticamente o comportamento dos poluentes durante o processo de dispersão no ar, levando em conta as características das fontes de emissão, da topografia da área de influência e condições meteorológicas de dispersão.

Os resultados desta modelagem permitem, no contexto deste estudo:

- avaliar a parcela de poluição gerada pelas fontes conhecidas, cujas emissões podem/devem ser estimadas;
- verificar a contribuição individual da fonte e comparar com outras fontes ou ainda com as concentrações de fundo (*background*) estimadas;
- determinar as áreas de maior impacto sobre a qualidade do ar, considerando todos os fatores meteorológicos atuando simultaneamente, junto com os efeitos topográficos;
- definir quais os poluentes merecem ser monitorados no ambiente, caso haja alteração significativa da qualidade do ar;
- avaliar impactos futuros das fontes ainda não instaladas.

A Figura 2 mostra esquematicamente como uma fonte e sua emissão são consideradas. A pluma, ao sair da chaminé, eleva-se em função de sua temperatura e da temperatura ambiente (cuja diferença provoca empuxo) e velocidade de saída. Ao ser lançada na atmosfera, a pluma sofre efeito de dispersão de acordo com parâmetros meteorológicos, tais como velocidade e direção do vento, temperatura,

estabilidade atmosférica, etc. O resultado é um processo de advecção pelo vento médio (que transporta para onde o vento está soprando) e de difusão turbulenta ("abertura" horizontal e vertical da pluma). Esse processo advectivo-difusivo pode ser representado por equações matemáticas e as concentrações resultantes no entorno da fonte (com coordenadas x, y e z) podem ser calculadas, em função dos aspectos meteorológicos e topográficos, e obviamente em função das características das emissões.

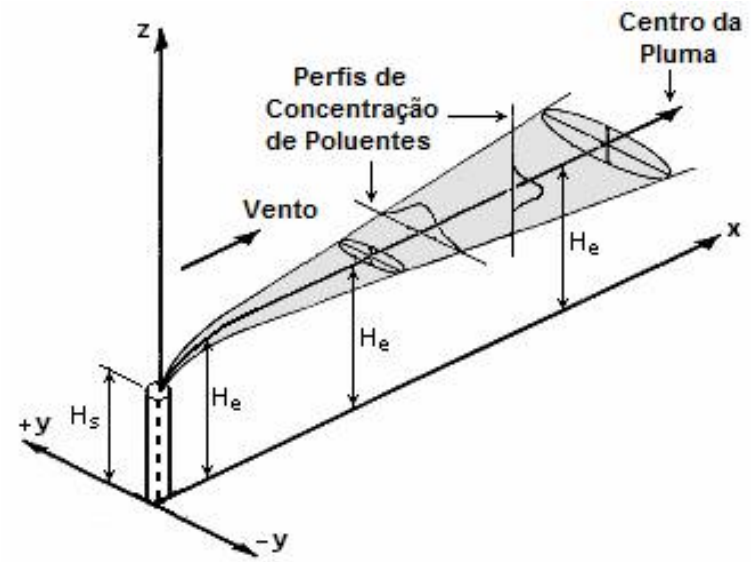

Figura 2 – Esquema de Pluma Gaussiana, utilizado pelo modelo ISCST3

O modelo ISCST3 baseia-se na teoria de dispersão Gaussiana, tal como ilustra a Figura 2. Ou seja, a "abertura" da pluma provoca uma distribuição normal de concentração a partir da linha de centro da pluma. Esta distribuição é função da variância da velocidade vertical e horizontal do vento, que são calculadas pelo modelo a partir de dados médios horários de meteorologia.

Portanto, justifica-se a importância de se avaliar todos os fatores simultaneamente: emissões, meteorologia (com destaque à temperatura, estabilidade atmosférica, altura de mistura, direção e velocidade do vento) e topografia. Esses fatores são avaliados detalhadamente a seguir.

EnvEx Engenharia e Consultoria Ambiental
CNPJ 08.418.789/0001-07
envex_engenharia@yahoo.com.br

5.2 Implementação do Modelo ISC3

O modelo de dispersão deste estudo é conhecido como ISCST3 – *Industrial Source Complex*, desenvolvido nos Estados Unidos, na EPA (U.S. *Environmental Protection Agency*) e utilizado mundialmente desde a década de 70. A versão utilizada aqui é a de 1995 (USEPA-b, 1995). Ele é também aceito como um "modelo regulatório", ou seja, é metodologia padronizada por várias agências ambientais do mundo para apresentação de resultados de simulações e avaliação de impactos ambientais. Este modelo é classificado como Gaussiano, pois é baseado primariamente na teoria de distribuição estatística normal (Curva de Gauss) e é fundamentado na metodologia descrita na seção anterior.

O sistema computacional é programado em linguagem FORTRAN e funciona, no mínimo, com dois arquivos de entrada: arquivo de definições e opções de simulação e arquivo de meteorologia. No primeiro estão definidas as opções de modelagem (cálculo de concentração, deposição, definição de área urbana ou rural e outras), a localização das fontes e seus parâmetros (taxa de emissão, altura e diâmetro da chaminé, velocidade e temperatura dos efluentes), localização dos receptores (pontos em que se deseja calcular as concentrações), especificação dos dados meteorológicos que serão utilizados (período, código da estação, altura de medição de vento) e as opções de saída (médias a serem calculadas, tabelas a serem geradas, etc.).

Outro arquivo necessário é o de meteorologia, que deve ter formatação adequada e conter informações necessárias para as simulações (direção e velocidade do vento, temperatura, precipitação, estabilidade atmosférica, altura de mistura - inversão térmica).

5.3 Configuração do ISCST3

Resumidamente, o ISCST3 lê um arquivo de entrada, em que se definem várias opções de modelagem, os dados de meteorologia e gera arquivos de saída com as concentrações na região desejada, médias horárias, diárias e anuais. O quadro abaixo apresenta um dos arquivos de entrada da simulação:

```
**
**                 @@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@
**                 @  RUNSTREAM FILE:MODELAGEM  -   KCC GERACAO  @
**                 @@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@

CO STARTING
   TITLEONE Modelagem da Dispersao Atmosferica: KCC Geração de Energia
   TITLETWO André Malheiros 41-9906-3860 - andremalheiros@yahoo.com.br
   MODELOPT CONC RURAL NOCALM MSGPRO
   AVERTIME 1 24 ANNUAL
   POLLUTID PTS
   TERRHGTS ELEV
   RUNORNOT RUN
   ERRORFIL ARQ.ERR
CO FINISHED

SO STARTING
** -----------------------------------------------------------------
   LOCATION CHAMINE POINT 664479.0 7117193.0 0.0
** Point Source      QS(g/s) | HS(m) | TS(K)  | VS(m/s) | DS(m)
** Parameters       ---------------------------------------------
   SRCPARAM CHAMINE  7.714    30.0    398.0     9.0       2.5
** -----------------------------------------------------------------
   SRCGROUP ALL
SO FINISHED

RE STARTING
   ELEVUNIT METERS
   INCLUDED recep.txt
RE FINISHED

ME STARTING
   INPUTFIL  lapa.met
   ANEMHGHT  10.0 METERS
   SURFDATA  3333  1999
   UAIRDATA  13333 1999
   STARTEND 2000 01 01 01 2004 12 31 24
   WDROTATE 180
ME FINISHED

OU STARTING
   RECTABLE ALLAVE FIRST
   MAXTABLE 24 50
   MAXTABLE 1 20
   PLOTFILE 24 ALL FIRST PTSDAY.PLF
   PLOTFILE ANNUAL ALL PTSANO.PLF
OU FINISHED
```


EnvEx Engenharia e Consultoria Ambiental
CNPJ 08.418.789/0001-07
envex_engenharia@yahoo.com.br

Dentre as definições no arquivo de entrada, tem-se (a) opções da modelagem ou de controle, (b) as características das fontes, (c) definição dos pontos receptores, (d) a meteorologia e (e) opções de saída, detalhadas a seguir:

a) OPÇÕES DE CONTROLE (CONTROL OPTIONS – CO): onde se definem: calculo de concentração, ocupação do solo no entorno predominantemente rural, substância simulada (PTS, neste caso), altura para cálculo de concentração a partir do solo e terreno elevado (no presente caso, considerou-se terreno *flat*, por se tratar de um local alto – divisor de águas);
b) OPÇÕES DE FONTES (SOURCE OPTIONS – SO): referem-se aos dados das fontes pontuais, com os seus parâmetros: coordenadas, taxa de emissão, temperatura e velocidade dos gases e diâmetro e altura de chaminé;
c) OPCÕES DE RECEPTORES (RECEPTOR OPTIONS – RE): o arquivo "recep.txt" possui uma grade com pontos em coordenadas UTM espaçados a cada 250 m, preenchendo uma área de 12 km x 12 km no entorno da usina. No total são 2.401 receptores, onde são calculadas as concentrações horárias durante quatro anos de dados meteorológicos;
d) OPÇÕES DE METEOROLOGIA (METEOROLOGY OPTIONS – ME): o arquivo "lapa.met" contém quatro anos completos de dados horários de meteorologia para a região, incluindo o cálculo de parâmetros secundários e formatado exclusivamente para uso no ISCST3;
e) OPÇÕES DE SAÍDA (OUTPUT OPTIONS – OU): são gerados resumos de máximas concentrações horárias e outros arquivos secundários contendo para todos os pontos simulados os valores máximos de 24 horas e anuais, para posterior plotagem e interpretação.

5.4 Condições Meteorológicas

Pela Figura 1, pode-se observar que para fins de avaliação meteorológica, a usina está na Regional Sul do SIMEPAR (Sistema Meteorológico do Paraná), sendo a estação de Lapa a mais representativa, por estar na região sul e próxima ao empreendimento (distância de 50 km). Os dados dessa estação serão utilizados posteriormente para avaliação dos impactos sobre a qualidade do ar.

EnvEx Engenharia e Consultoria Ambiental
CNPJ 08.418.789/0001-07
envex_engenharia@yahoo.com.br

O modelo ISC3 necessita como dados de entrada a meteorologia da região, sendo os parâmetros necessários: direção e velocidade do vento, temperatura, estabilidade atmosférica, altura da camada-limite atmosférica e precipitação. Adicionalmente, calculam-se também: velocidade de atrito superficial e comprimento de estabilidade de Monin-Obukov. Para as variáveis não medidas, deve-se utilizar métodos propostos pela literatura do próprio modelo, o manual do usuário (US-EPA, 1995), e de outras referências (SEINFELD & PANDIS, 1998; STULL, 2000; NSW-EPA, 2001).

A altura da camada-limite atmosférica (camada de mistura ou "inversão térmica") foi determinada pelo princípio da "altura de condensação por levantamento" (*lifting condensation level*), que é calculada a partir da temperatura e umidade do ar, para o período diurno, e em função da velocidade do vento para o período noturno (SULL, 2000; MALHEIROS, 2004).

Abaixo segue uma descrição da meteorologia do local, com base em dados de 2000 a 2004, representando as condições climáticas válidas para a região de estudo. Este período de dados está compatível com as informações meteorológicas utilizadas no estudo de modelagem.

A Figura 3 mostra a rosa-dos-ventos para o local, onde se verifica a predominância de ventos leste (28%), seguida da direção nordeste (19%). Isso significa que o lado oeste/sudoeste deve ser mais impactado pelo empreendimento, conforme será visto adiante. A velocidade média do vento é de 2,5 m/s e o histórico demonstra em torno de 5% de calmaria, situação com vento cuja intensidade é menor ou igual a 0,5 m/s, em que a dispersão de poluentes é prejudicada e há tendência de aumento das concentrações ambientais. Os meses de primavera e verão são os que têm ventos um pouco mais intensos, conforme o regime anual de intensidade do vento mostrado na Figura 4.

EnvEx Engenharia e Consultoria Ambiental
CNPJ 08.418.789/0001-07
envex_engenharia@yahoo.com.br

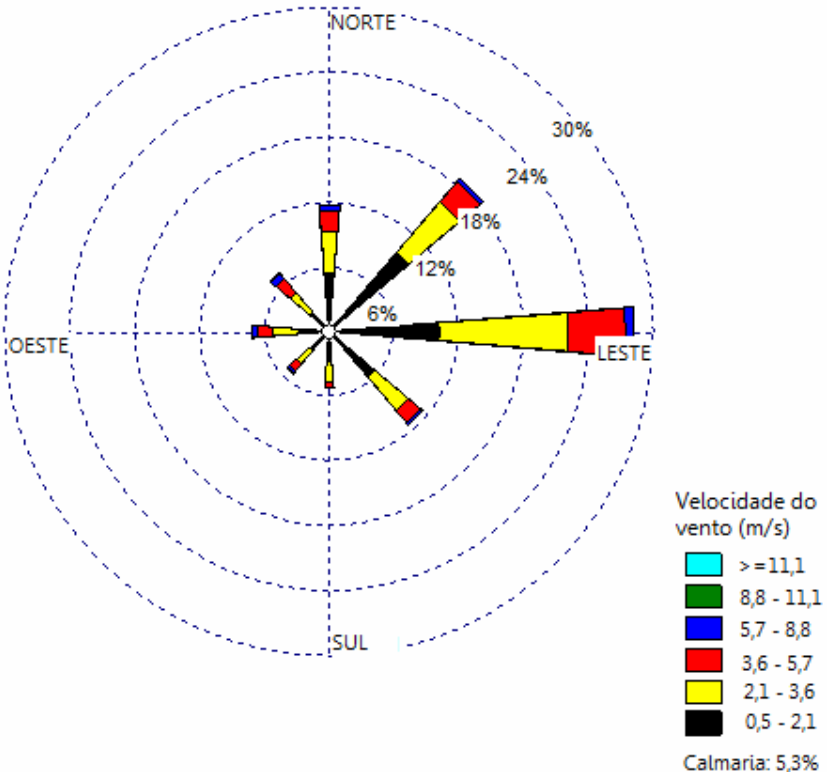

Figura 3 – Rosa-dos-ventos para a região.

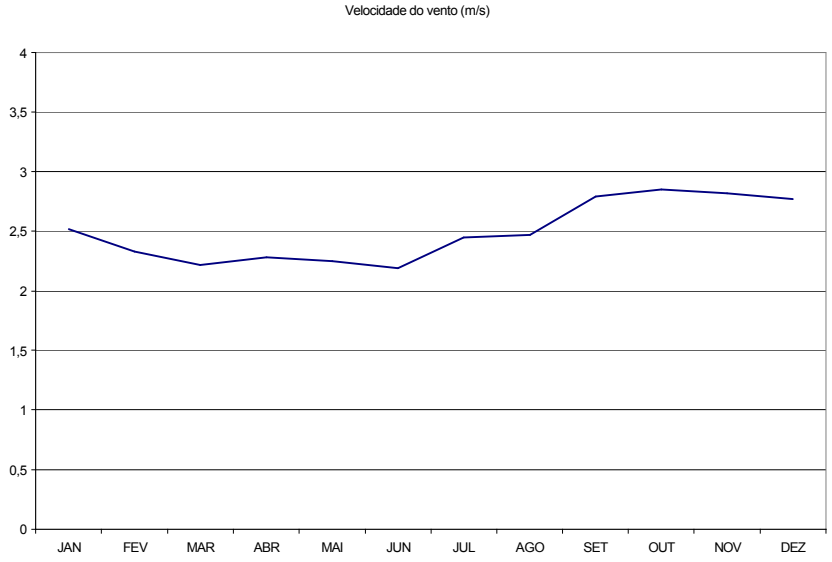

Figura 4 – Velocidade média mensal de vento.

As classes de estabilidade de Pasquill mostram a condição de dispersão, sendo as classes A, B e C favoráveis, D neutra e E e F desfavoráveis para a dispersão. Os dados mostram (Figura 5) que 35% do tempo a condição de dispersão é desfavorável (geralmente no período noturno).

EnvEx Engenharia e Consultoria Ambiental
CNPJ 08.418.789/0001-07
envex_engenharia@yahoo.com.br

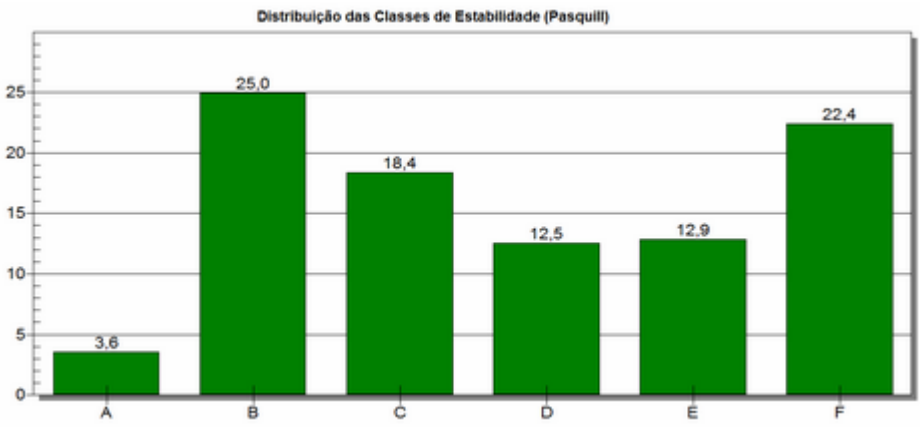

Figura 5 –Classes de Estabilidade Pasquill.

As temperaturas também são variáveis em função da estação do ano, sendo que o mês mais frio é julho, com 13ºC e o mais quente é janeiro, com 22ºC, conforme se observa na Figura 6. O inverno da região é marcado por freqüentes entradas de frentes frias, que são responsáveis pela queda de temperatura. Nessas situações, no inverno, é comum a altura de mistura estar mais baixa, piorando as condições de qualidade do ar. A temperatura responde à intensidade da radiação solar (Figura 7), que varia em função da inclinação da terra e sua inclinação. No inverno (julho) a radiação média é de 120 W/m² e no verão (dezembro) 225 W/m².

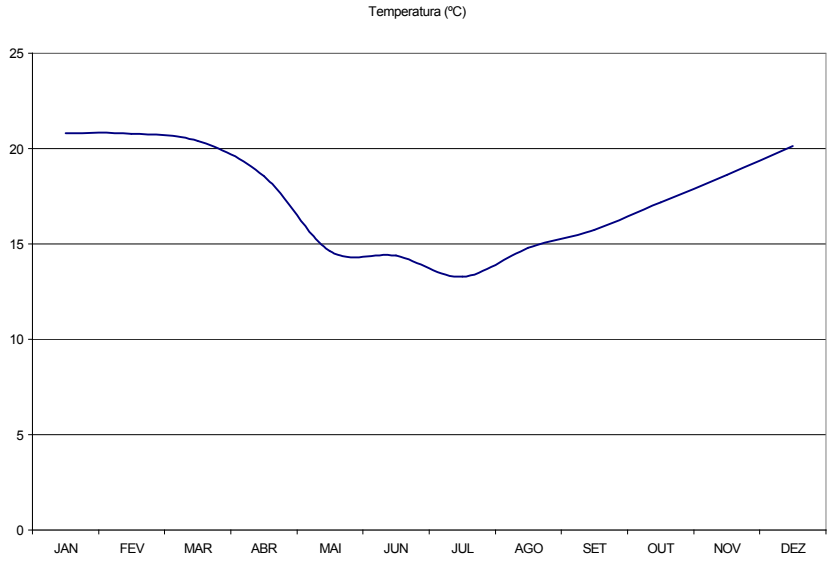

Figura 6 – Temperatura mensal média.

EnvEx Engenharia e Consultoria Ambiental
CNPJ 08.418.789/0001-07
envex_engenharia@yahoo.com.br

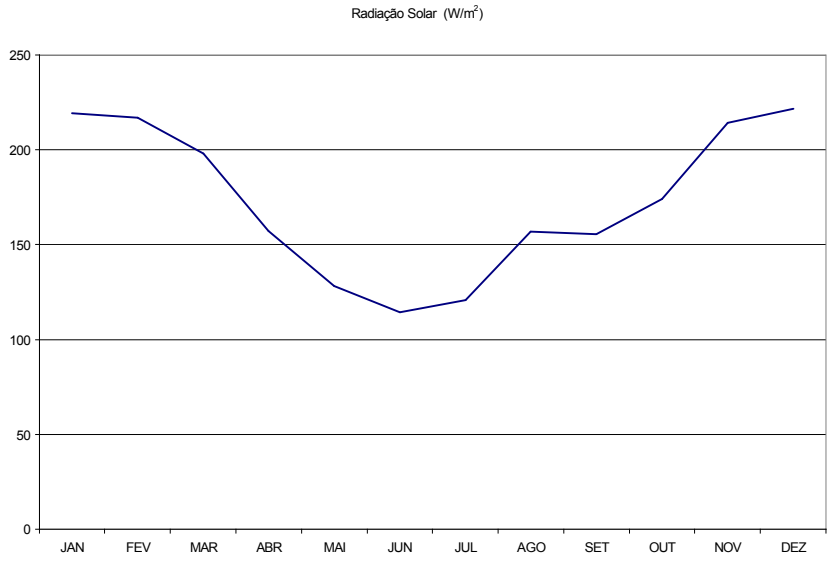

Figura 7 – Radiação solar mensal média.

A umidade relativa mostrada na Figura 8 varia ao longo dos meses sem mostrar variação sazonal. A umidade média é de 87%, sendo que em agosto tem-se o menor valor, em torno de 82%.

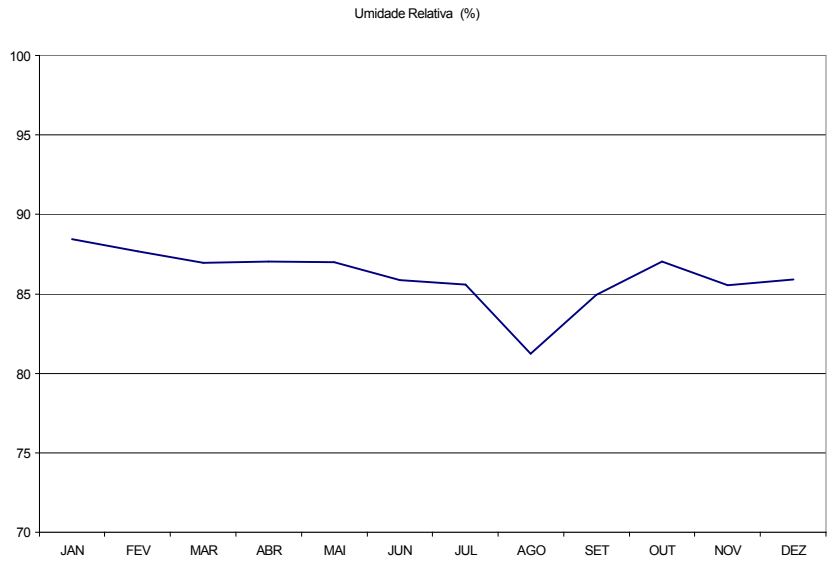

Figura 8 – Umidade relativa mensal média.

EnvEx Engenharia e Consultoria Ambiental
CNPJ 08.418.789/0001-07
envex_engenharia@yahoo.com.br

A distribuição de chuva é bastante importante nos processos de poluição do ar, uma vez que a água é o principal agente capaz de remover gases e partículas em suspensão na atmosfera. Períodos longos de estiagem estão geralmente associados ao aumento das concentrações ambientais de poluente, principalmente em regiões com elevada urbanização e industrialização.

Na região de Agudos do Sul, os dados mostram (Figura 9) que as chuvas não são bem distribuídas, mas que também não há mês de seca. O mês mais chuvoso é janeiro, com precipitação de aproximadamente 190 mm e o mês mais seco do período estudado é maio, com 76 mm. A média mensal geral é de 122 mm, o que representa uma chuva acumulada anual de 1467 mm.

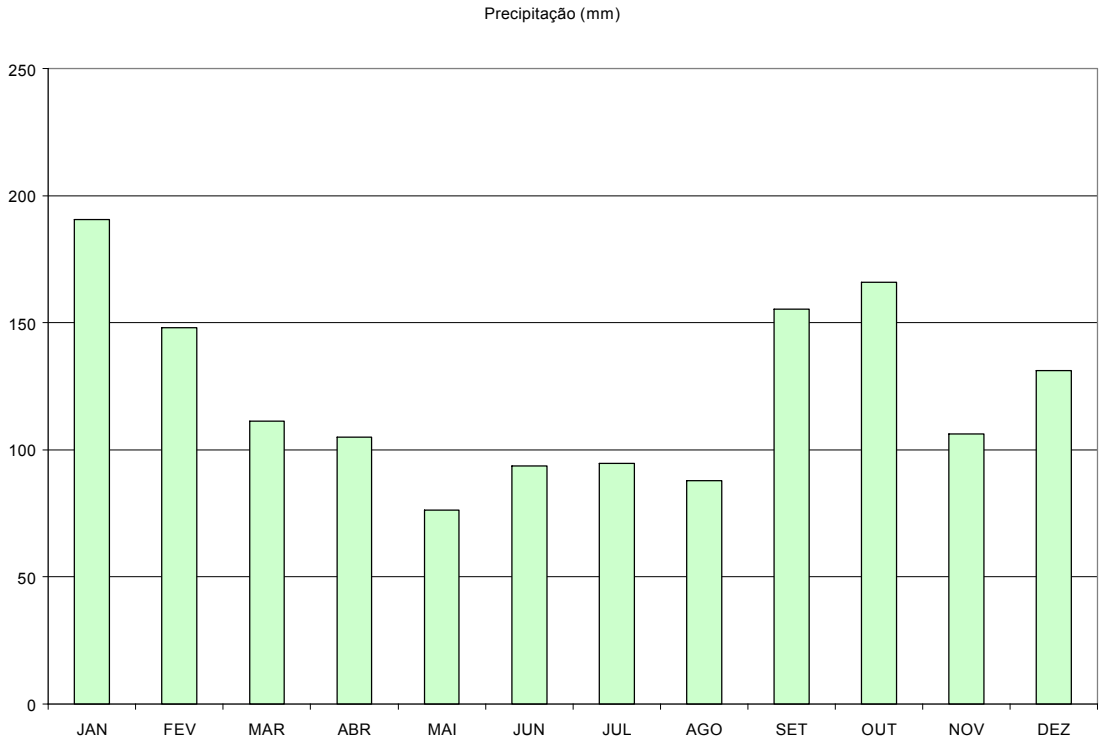

Figura 9 – Precipitação mensal média.

EnvEx Engenharia e Consultoria Ambiental
CNPJ 08.418.789/0001-07
envex_engenharia@yahoo.com.br

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir, os resultados são apresentados de acordo com os padrões de qualidade do ar. Os dados da fonte conduzida e das emissões já foram mostradas na Tabela 1 e são complementadas com os dados da Tabela 6 a seguir.

Tabela 6 – Taxas de emissões (Fonte: Biochamm Caldeiras)

Parâmetro	Valor
Emissão de MPT	7,714 g/s
Emissão de NO_x (como NO_2)	19,28 g/s
Emissão de CO	38,57 g/s

Este estudo considera apenas a emissão do setor de caldeiraria da usina, de sua fonte conduzida, embora haja em menor escala outras fontes de emissão, como, por exemplo, a circulação de caminhões, seja pela suspensão de partículas da via de circulação ou pela queima de combustível. Além disso, no período da construção da usina existem outras fontes de poluentes: serviços de terraplanagem, uso de máquinas e tratores, etc.

Dentre as 3 substâncias da Tabela 6, CO possui um padrão de qualidade do ar bem mais elevado (ver Tabela 5) e não se mostra importante neste estudo. Dessa forma, foram simulados os seguintes cenários: média anual e média máxima diária para PTS; e média anual e média máxima horária para NO_x, cujos resultados são mostrados a seguir.

6.1 Resultados das Médias Anuais de PTS

A Tabela 7 mostra os resultados de concentração para os 5 pontos mais críticos. A maior concentração anual (média de 365 dias) é de 0,87 µg/m³ que se reduz a 0,81 µg/m³ para o quinto maior valor. Para fins de comparação, o padrão primário de qualidade do ar para PTS é de 80 µg/m³ e secundário 60 µg/m³. Assim pode-se afirmar que o impacto de longo prazo do empreendimento é muito baixo, já que todas as concentrações ficam abaixo de 1 µg/m³.

EnvEx Engenharia e Consultoria Ambiental
CNPJ 08.418.789/0001-07
envex_engenharia@yahoo.com.br

Tabela 7 – Concentrações máximas (média anual) de PTS

	Concentração [µg/m³]	Coordenadas UTM [m]	
1	0,87	663000	7117250
2	0,87	663250	7117250
3	0,85	662750	7117250
4	0,82	663500	7117250
5	0,81	663000	7117250

Para visualização da distribuição de concentrações no entorno da usina, a Figura 10 mostra os resultados para cada receptor, os quais estão espalhados com espaçamento de 250 m e cujos resultados foram interpolados (utilizando o método de Krigagem) para a geração das figuras.

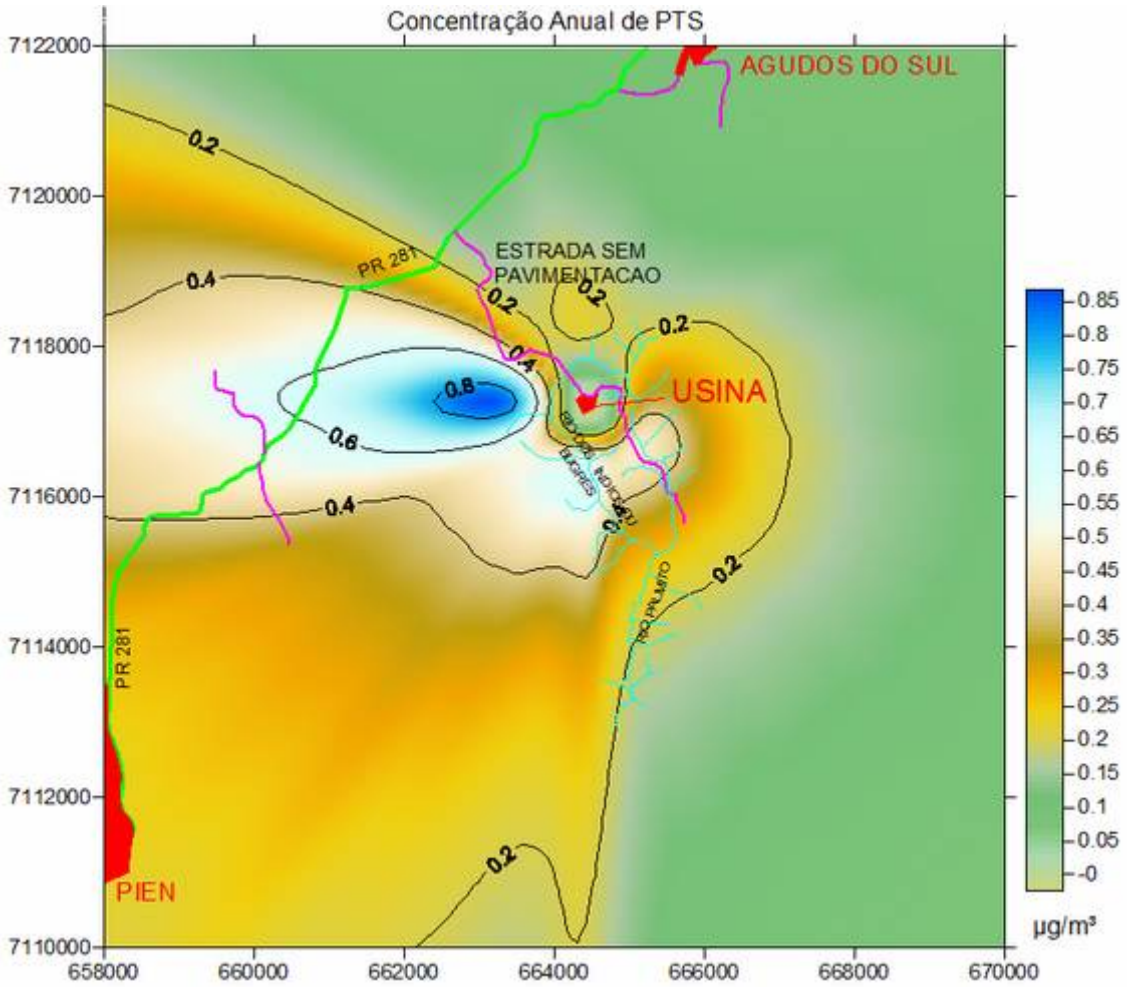

Figura 10 – Concentração média anual de PTS

EnvEx Engenharia e Consultoria Ambiental
CNPJ 08.418.789/0001-07
envex_engenharia@yahoo.com.br

Conforme se observa na Figura 10, em termos médios anuais os valores de concentração que são gerados pelas emissões das chaminés são pequenos, sendo que a máxima é 0,87 µg/m³. O lado oeste e sudoeste são os mais afetados, em função das direções predominantes do vento.

Para os núcleos urbanos de Agudos do Sul e Piên, as concentrações médias anuais serão menores do que 0,1 µg/m³ e 0,4 µg/m³, respectivamente. Pode-se afirmar que estes valores são insignificantes, na média anual.

6.2 Resultados das Médias Diárias Máximas de PTS

A Tabela 8 contém um resumo das 5 maiores concentrações diárias de PTS. Neste caso, os resultados correspondem a uma envoltória de máximos valores, ou seja, para cada um dos pontos armazenou-se o maior resultado das 35040 horas simuladas (4 anos). A Figura 11 mostra esses resultados de forma gráfica. Neste caso, o padrão primário de qualidade do ar para PTS na média de 24 horas é de 240 µg/m³ e secundário 150 µg/m³.

Tabela 8 – Concentrações máximas (média de 24 horas) de PTS

	Concentração [µg/m³]	**Coordenadas UTM [m]**	
1	7,36	664000	7116250
2	6,83	665250	7116750
3	6,80	664000	7116250
4	6,72	663250	7117750
5	6,65	663750	7117000

Observa-se na Figura 11 que neste caso a distribuição das concentrações mais elevadas não necessariamente é resultado da ação predominante do vento, pois os valores apresentados representam situações isoladas, com duração de 24 horas e a rosa-dos-ventos mostrou uma situação média anual. Mas ainda assim as áreas mais impactadas para as médias máximas diárias estão localizadas principalmente a oeste da chaminé, chegando a valores de até 7,36 µg/m^3. Esses valores ainda são baixos, pois, se forem comparados com o padrão de 240 µg/m³, representam uma fração de 3,5% do padrão. Mesmo considerando o padrão mais rigoroso de 150 µg/m³, a maior concentração é menor do que 5%.

Além disso, nas cidades de Agudos do Sul e Piên as concentrações chegam a apenas 2,0 µg/m³, mostrando-se ainda pouco impactantes para as máximas concentrações diárias.

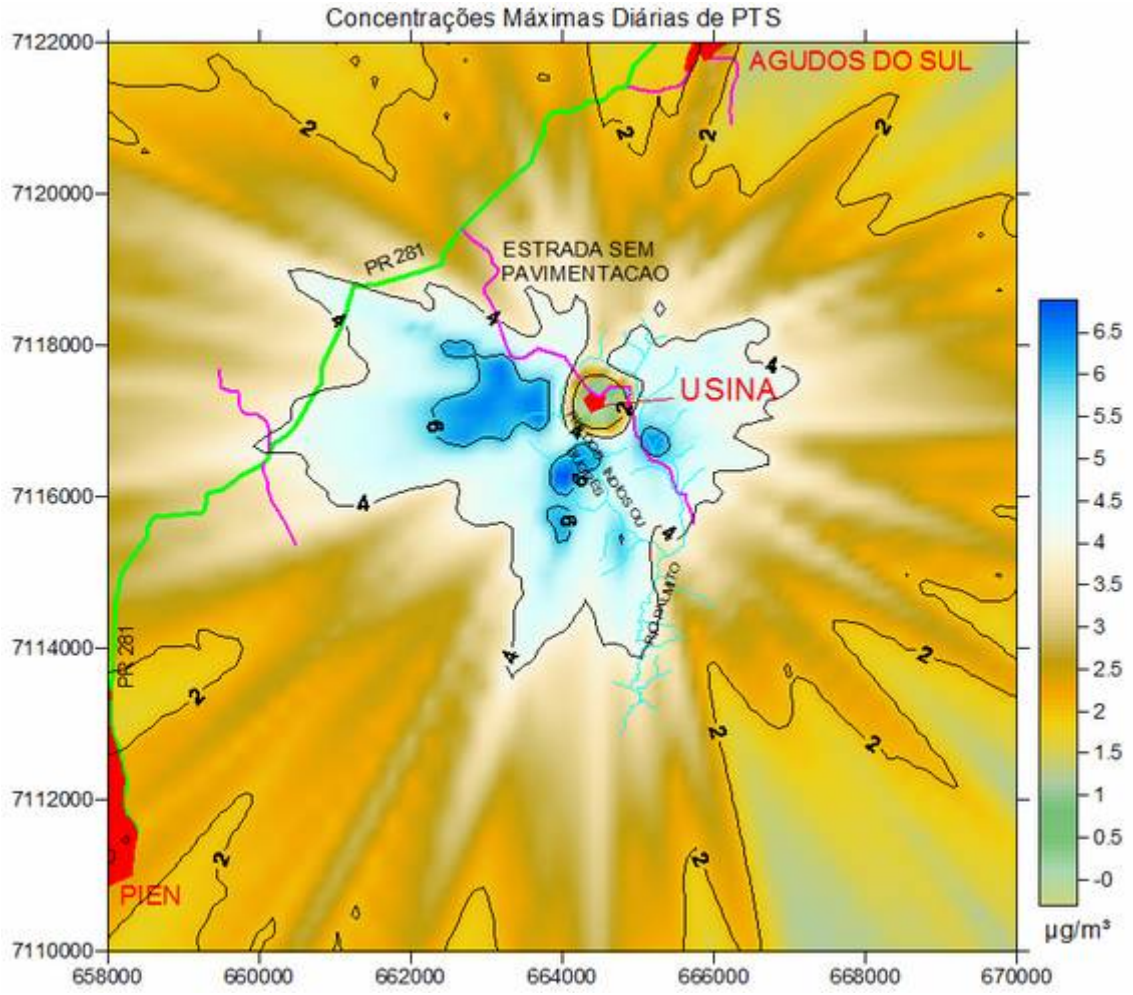

Figura 11 – Envoltória das concentrações máximas de 24 h para PTS

6.3 Resultados das Médias Anuais de NO_2

A seguir são mostrados os resultados para as simulações de NO_x como NO_2 considerando as médias anuais. A Tabela 9 mostra uma lista com os pontos com as 5 maiores concentrações desse poluente para as médias anuais. O maior valor é de 2,18 µg/m³ diminuindo para 2,03 µg/m³, sendo que os padrões anuais primário e secundário para NO_2 valem ambos 100 µg/m³. O impacto de longo prazo também é

EnvEx Engenharia e Consultoria Ambiental
CNPJ 08.418.789/0001-07
envex_engenharia@yahoo.com.br

baixo para essa substância. A Figura 12 mostra a distribuição média da concentração de NO_2, cujo comportamento é bastante semelhante ao PTS.

Tabela 9 – Concentrações máximas (média anual) de NO_2

	Concentração [µg/m³]	Coordenadas UTM [m]	
1	2,18	663000	7117250
2	2,17	663250	7117250
3	2,12	662750	7117250
4	2,05	663500	7117250
5	2,03	663500	7117250

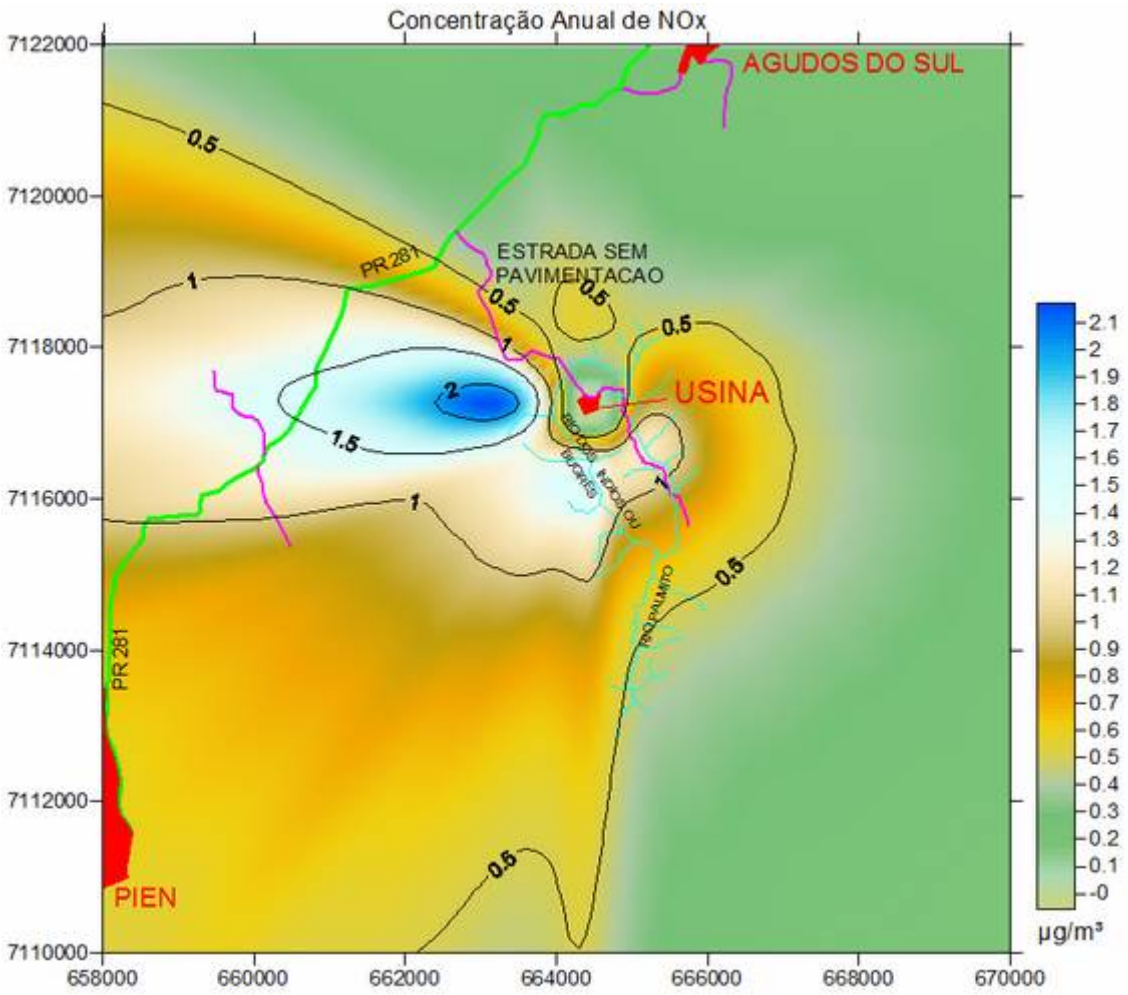

Figura 12 – Concentração média anual de NO_2

EnvEx Engenharia e Consultoria Ambiental
CNPJ 08.418.789/0001-07
envex_engenharia@yahoo.com.br

6.4 Resultados das Médias Horárias Máximas de NO_2

Diferentemente do que foi feito para PTS, o NO_2 é avaliado com sua média horária, para verificação de atendimento ao padrão que é também horário. A Tabela 10 contém um resumo das 5 maiores concentrações de NO_2. Neste caso, os resultados correspondem a uma envoltória de máximos valores. Os maiores valores são da ordem de 145 µg/m³, mostrados na Figura 13. As concentrações máximas horárias ocorrem a mais ou menos 500 m de distância da fonte. A partir de 2 km de distância as concentrações reduzem-se em torno de 50%. Para as médias horárias de NO_2, o padrão primário horário é de 320 µg/m³ e o secundário de 190 µg/m³. Nesta situação, o valor de 145 µg/m³ representa 45% do padrão primário e 76% do padrão secundário. Deve ser lembrando que ainda existe a concentração de fundo que não foi somada à contribuição da usina e nem foram consideradas as emissões da frota veicular que será acrescentada aos valores abaixo.

Tabela 10 – Concentrações máximas (média de 1 hora) de NO_2

	Concentração [µg/m³]	**Coordenadas UTM [m]**	
1	144,98	664750	7117750
2	131,65	665000	7117000
3	125,33	664000	7116750
4	124,39	664000	7116750
5	123,83	665000	7116750

EnvEx Engenharia e Consultoria Ambiental
CNPJ 08.418.789/0001-07
envex_engenharia@yahoo.com.br

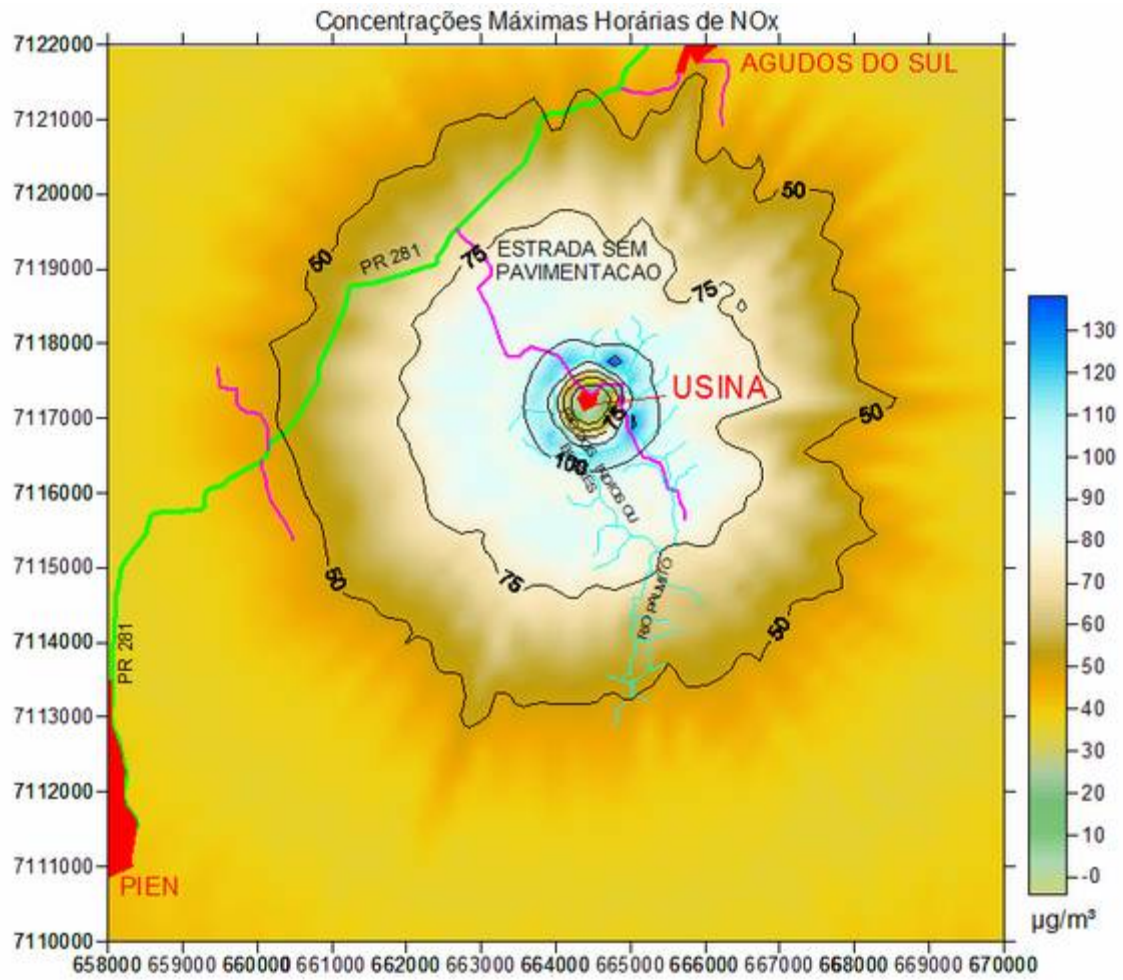

Figura 13 – Envoltória de máximas concentrações horárias de NO_x

EnvEx Engenharia e Consultoria Ambiental
CNPJ 08.418.789/0001-07
envex_engenharia@yahoo.com.br

7 CONCLUSÕES

O presente estudo avaliou, com base em modelagem de dispersão atmosférica de poluentes, a contribuição das emissões da Usina Termoelétrica de Agudos do Sul e a alteração da qualidade do ar na sua área de influência.

Para as duas substâncias avaliadas, PTS e NO_2, os impactos são baixos para PTS e medianamente baixos para NO_2, mesmo considerando o pior caso de operação da usina: a) operação contínua; b) operação na capacidade nominal de 16,5 MW bruto.

No caso de PTS, a maior média anual é de apenas 0,87 µg/m³ contra 80 µg/m³ de padrão de qualidade de PTS. Na média diária máxima, o valor de 7,36 µg/m³ também é baixo, comparando-se com 240 µg/m³ do padrão diário de PTS. Mesmo comparando-se com os padrões mais restritivos (secundários) os percentuais de aumento da poluição são baixos.

Para NO_2 os valores anuais máximos são da ordem de 2,18 µg/m³ e máximos horários de 144,98 µg/m³. Os padrões de qualidade do ar são de 100 µg/m³ para a média anual e de 320 µg/m³ (ou 190 µg/m³ para padrão secundário) para valores de 1 hora.

Para NO_2, portanto, o impacto é mais acentuado: a concentração máxima horária pode chegar a 76% do padrão mais restritivo. Entretanto, as máximas concentrações horárias ocorrem esporadicamente durante algumas horas ao longo do ano, em dias em que há piores condições de dispersão. Outro fator que ameniza a situação de NO_2 é o fato que o estudo se baseou na emissão máxima permitida de 500 mg/Nm^3, que deve ser aproximadamente o dobro até o triplo da emissão real, caso a unidade queime resíduos de madeira sem placas de MDF e aglomerado. Esta observação é importante também no que diz respeito à altura mínima da chaminé. Para uma emissão máxima de NO_x de 69,41 kg/h, a altura deveria ser de 48 metros, portanto, maior do que os 30 m projetadas. No entanto, a emissão real deve estar em torno de 30 kg/h e a altura de 30 metros é o suficiente para este caso.

Salienta-se que a região tem uma concentração de fundo não conhecida, como resultado a circulação de veículos na região e presença de outras fontes de poluição, o que torna importante a avaliação periódica das emissões atmosféricas,

EnvEx Engenharia e Consultoria Ambiental
CNPJ 08.418.789/0001-07
envex_engenharia@yahoo.com.br

conforme estabelece a legislação específica de emissões atmosféricas, bem como a garantia de atendimento dos padrões de qualidade do ar no entorno da usina.

8 PROGRAMA DE AUTOMONITORAMENTO

Seguem neste capítulo a identificação do empreendimento e de sua fonte conforme os critérios estabelecidos na Portaria IAP/SEMA 001 de 09 de janeiro de 2008.

8.1 Empreendimento

Empreendimento: KCC Geração de Energia Elétrica Ltda

Razão social	KCC Geração de Energia Elétrica Ltda		
CNPJ	007.787.038/0001-03		
Número de Funcionários	45		
Endereço	Rua Paraíba, 3109		
CEP	80630-000		
Cidade/Estado	Curitiba	/PR	
Coordenadas geográficas UTM norte e leste	7117,193 km	664,479 km	
Telefone	(0xx41) 3013-7995		
Fax	(0xx41) 3013-7996		
Email	kcc@kcc-cleanenergy.com.br		
Homepage	-		
Representante da Empresa	Carlos Alexandre Espires Emidio dos Santos		
Responsável pelo Automonitoramento	a definir		
Produção anual	126000	MWh de energia elétrica entregue para a rede	
Matérias primas	Resíduos de beneficiamento de madeira e florestais oriundos do corte raso dos reflorestamentos regionais		
Combustíveis utilizados	Resíduos de beneficiamento de madeira e florestais oriundos do corte raso dos reflorestamentos regionais		
Porte do Empreendimento	grande		
Freqüência de Apresentação de Relatórios de Automonitoramento	anual		
Observações	O endereço é de Curitiba, mas as coordenadas são do local da planta em Agudos do Sul ANEEL - O empreendimento por ser menor que 30 MW de geração de energia enquadra-se como uma PCT - Pequena Central Termoelétrica		

EnvEx Engenharia e Consultoria Ambiental
CNPJ 08.418.789/0001-07
envex_engenharia@yahoo.com.br

8.2 Fonte de emissão atmosférica

Processo: Caldeira Biochamm — sigla: Cald

Razão social	KCC Geração de Energia Elétrica Ltda
CNPJ	007.787.038/0001-03
Identificação do processo	Caldeira Biochamm
Tipo de fonte	Pontual
Comentário sobre o processo	capacidade de 65 t/h vapor superaquecido
Enquadramento do processo	artigo 21, IV
Padrões de emissão ou de condicionamento [mg/Nm³]	MPT: 200 | SOx: - | CO: 1000 | NOx: 500 | ref: 11 | %O2 outros: não
Produção/condição típica de operação	15 MW de eletricidade entregue para a rede
Freqüência de amostragem	semestral
Altura da chaminé	30 metros
Diâmetro da chaminé	2,50 metros
Consumo de combustível anual	158928 toneladas de resíduos de madeira
Potência térmica nominal (MW)	64
Horas de operação semanais	168
Horas de operação anuais	8400
Equipamento de remoção	☐ câmara de sedimentação ☐ ciclone ☑ multiciclone — número ciclones: ☐ filtro manga — número mangas: ☐ precipitador eletrostático ☐ lavador — Tipo de lavador: outros:
Observações	

8.3 Monitoramento da fonte

Processo	Parâmetros avaliados	Freqüência de amostragem	Metodologia de amostragem e de análise
Caldeira	MPT, NO_x, CO e O_2	semestral	NO_x, CO, O_2, temperatura: analisador portátil de leitura contínua e princípio de medição por célula eletroquímica vazão: tubo Pitot MPT: amostrador isocinético com princípio gravimétrico
Apresentação do Relatório de Automonitoramento: anual			

EnvEx Engenharia e Consultoria Ambiental
CNPJ 08.418.789/0001-07
envex_engenharia@yahoo.com.br

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BANCO MUNDIAL, J.C. **CD-ROM do Curso de Gestão da Qualidade do Ar em Centros Urbanos.** Rio de Janeiro, 2003.

BATCHVAROVA, E., GRYNING, S.-E. *An applied model for the height of the daytime mixed layer and the entrainment zone,* Boundary-Layer Meteorology. 71, pp.311-323, 1994.

BOUBEL, F.; TURNER, S.; **Fundamental of Air Pollution.** 3ª Edição. Academic Press; Califórnia, 1994.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente, Resolução CONAMA 03 de 28/06/90. Estabelece padrões de qualidade do ar. Brasília, 1990.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA 382 de 2006. Estabelece padrões de emissões atmosféricas. Brasília, 2006.

DE NEVERS, N.; **Air Pollution Control Engineering**. 2000.

ESTADO DO PARANÁ – Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Resolução 054/06. Curitiba, 2006.

LORA, J.E.E. **Prevenção e Controle da Poluição nos Setores Industriais, Energéticos e de Transportes.** 2ª Edição. Ed. Signus; São Paulo, 2000.

MALHEIROS, A. L. *Avaliação de modelos para a altura da camada-limite atmosférica urbana e seus efeitos sobre a qualidade do ar.* Tese de Mestrado, UFPR, 2004.

OPS/CEPIS/PUB. **Curso de Orientación para el Control de la Contaminación del Aire: Manual de auto-instrucción.** Lima, 1999.

SEINFELD, John H. Instituto de Tecnologia da Califórnia. **Air Pollution, Physical and Chemical Fundamentals.** Tradução para o Espanhol. Madrid, 1978.

STULL, R. B. **Meteorology for Scientists and Engineers.** Thomson Brooks, 2nd edition, 2000.

STULL, R. B. **Introduction to Boundary Layer Meteorology.** Kluwer, 1988.

USEPA. **User's Guide for the Industrial Source Complex (ISCST3)**. **Vol I e II,** 1995.

EnvEx Engenharia e Consultoria Ambiental
CNPJ 08.418.789/0001-07
envex_engenharia@yahoo.com.br

FINALIZAÇÃO

Segue o presente estudo em 34 folhas mais capa e contra-capa, todas elas rubricadas e esta última assinada pelo responsável técnico do estudo.

Curitiba, outubro de 2008.

André Luciano Malheiros
EnvEx Engenharia e Consultoria Ambiental S/S
CREA PR 67038/D

EnvEx Engenharia e Consultoria Ambiental
CNPJ 08.418.789/0001-07
envex_engenharia@yahoo.com.br