

## **APLICAÇÃO DO MODELO DE DISPERSÃO AERMOD ÀS EMISSÕES ODORANTES ORIUNDAS DE UM FRIGORÍFICO**

Julio Braga Mandu

Orientador: Henrique de Melo Lisboa

Co-orientador: Magnun Maciel Vieira

2010/02

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E  
AMBIENTAL**

**JULIO BRAGA MANDU**

**APLICAÇÃO DO MODELO DE DISPERSÃO AERMOD ÀS  
EMISSIONES ODORANTES ORIUNDAS DE UM FRIGORÍFICO**

Trabalho apresentado à  
Universidade Federal de Santa  
Catarina para Conclusão do Curso  
de Graduação em Engenharia  
Sanitária e Ambiental.

Orientador  
Prof. Dr. Henrique de Melo Lisboa

Co-orientador  
Eng.º Magnum Maciel Vieira

**FLORIANÓPOLIS, (SC)  
DEZEMBRO/2010**

Mandu, Julio Braga

Aplicação do modelo de dispersão AERMOD às emissões odorantes oriundas de um frigorífico.

Julio Braga Mandu – Florianópolis, 2010. 50f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal de Santa Catarina. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Título em inglês: Application of the dispersion model AERMOD to odorous emitted by a frigorific.

1. Mathematical Modeling. 2. Odorous Emissions. 3. AERMOD.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E  
AMBIENTAL

APLICAÇÃO DO MODELO DE DISPERSÃO AERMOD ÀS EMISSÕES  
ODORANTES ORIUNDAS DE UM FRIGORÍFICO

JULIO BRAGA MANDU

Trabalho submetido à Banca Examinadora como  
parte dos requisitos para Conclusão do Curso de  
Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental –  
TCC II

BANCA EXAMINADORA:

  
Prof. Dr. Henrique de Melo Lisboa  
(Orientador)

  
Eng.º Magnum Maciel Vieira  
(Co-orientador)

  
Prof. Dr. Paulo Belli Filho  
(Membro da Banca)

  
Prof. Dr. Reinaldo Haas  
(Membro da Banca)

FLORIANOPOLIS, (SC)  
DEZEMBRO, 2010

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e minha família que proporcionaram a minha existência, especialmente aos meus pais os quais sempre me apoiaram desde a decisão em iniciar a graduação longe de casa.

Ao professor Henrique, que me acolheu e me orientou durante os estudos sendo muitíssimo atencioso durante as revisões do trabalho.

Ao amigo e co-orientador Magnun, que esteve sempre ao meu lado durante o trabalho. Agradeço principalmente a sua disponibilidade em acompanhar diretamente o desenvolvimento do trabalho.

A equipe LCQAr que também me acolheu e pude ter o prazer de dividir o mesmo espaço que eles durante o semestre.

Aos amigos que me acompanharam durante o curso nos momentos de felicidade e de dificuldade que todos nós passamos juntos.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização do trabalho, especialmente o colega e acadêmico Filipe Souza.

## RESUMO

Este trabalho visa efetuar simulações da dispersão dos odores oriundos de uma indústria frigorífica, localizada no interior do Paraná. Para tanto, será utilizado o modelo *AERMOD View*, desenvolvido pela *Lakes Environmental Software*, recomendado pela Agência de Proteção Ambiental Americana (EPA). No Brasil, não há legislação que considere o estudo de dispersão do odor. No Estado do Paraná, a legislação estadual estabelece limite para taxa de emissão para atividades geradoras de substâncias odoríferas, sem considerar a concentração nos receptores devido à dispersão dos gases. A partir dos resultados de duas campanhas de amostragens, uma em 2009 e a outra em 2010, realizadas pelo Laboratório de Controle e Qualidade do Ar (LCQAr), que pertence ao Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina, foram efetuadas duas simulações. Para aplicar o modelo, também foram necessários os dados meteorológicos da região e dados do terreno. Os resultados obtidos mostraram que, em 2009, a chaminé do frigorífico emitia substâncias odoríferas com concentração superior a 5 UO./m<sup>3</sup> fora dos limites da propriedade da indústria. Já para a simulação baseada nas medições efetuadas em 2010, observa-se que, para as condições operacionais do frigorífico daquele instante, a concentração dos gases não ultrapassava os limites da propriedade da indústria, para concentrações acima de 0,1 UO/m<sup>3</sup>.

**PALAVRAS-CHAVE:** Modelagem Matemática, Emissões Odorantes, AERMOD.

## ABSTRACT

This work aims to perform simulations of the dispersion of odors from a meat-packing industry, located in Paraná. For this purpose, it will be used the model AERMOD View, developed by Lakes Environmental Software, recommended by the U.S. Environmental Protection Agency (EPA). In Brazil, there is no law that considers the study of odor dispersion. In the State of Parana, the state law only sets out limits for emission rate for activities that generate odoriferous substances, without considering the concentration in the receptors due to the dispersion of gases. From the results of two sampling campaigns, one in 2009 and another in 2010, performed by the Laboratory of Control and Air Quality (LCQAr), which belongs to the Department of Sanitary and Environmental Engineering, Federal University of Santa Catarina, were made two simulations. To apply the model, have also been needed meteorological data of the region and terrain data. The results obtained showed that in 2009 the chimney of the frigorific was emitting odoriferous substances with concentration higher than 5 OU/m<sup>3</sup> outside the boundaries of the property of the industry. As for the simulation based on measurements made in 2010, it was observed that, for the operating conditions of the frigorific, at that moment, the concentration of gases did not exceeded the limits of industrial property, for concentrations above 0.1 OU/m<sup>3</sup>.

**KEY-WORDS:** Mathematical Modeling, Odorous Emissions, AERMOD.

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	1
2.	OBJETIVOS.....	3
2.1.1	OBJETIVO GERAL.....	3
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	3
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1	A ATMOSFERA.....	4
3.2	POLUIÇÃO DO AR .....	5
3.2.1	Poluente Atmosférico.....	6
3.2.2	Classificação dos Poluentes Atmosféricos.....	6
3.3	ODOR .....	7
3.3.1	Percepção Odorante.....	8
3.3.2	Inconvenientes dos Odores .....	9
3.3.3	Compostos Odorantes e Avaliação .....	10
3.4	PADRÕES DE QUALIDADE DO AR E LEGISLAÇÃO .....	11
3.5	TRANSPORTES DE POLUENTES NA ATMOSFERA .....	12
3.6	MODELAGEM NUMÉRICA PARA DISPERSÃO DE POLUENTES... .....	13
3.7	VISÃO GERAL DO MODELO AERMOD .....	17
4.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	24
4.1	CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL.....	24
4.2	TOPOGRAFIA DO LOCAL DE ESTUDO.....	26
4.3	PARÂMETROS DA FONTE EMISSORA .....	27
4.4	DADOS METEOROLÓGICOS.....	29
4.4.1	Inserindo os Dados Meteorológicos no AERMET. ....	31
4.4.2	Dados de Ar Superior .....	35
4.5	PARÂMETROS DE SUPERFÍCIE .....	35
4.6	CONFIGURAÇÃO DOS RECEPTORES .....	37
4.7	EFETUANDO AS SIMULAÇÕES.....	38
5.	RESULTADOS.....	40
5.1	AVALIAÇÃO DO USO DO SOLO .....	40
5.2	DADOS METEOROLÓGICOS.....	41
5.3	SIMULAÇÕES .....	42
6.	CONCLUSÃO.....	45
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	46

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura vertical da atmosfera em função da temperatura.....	4
Figura 2 - Esquema do processo de poluição do ar .....	6
Figura 3 - Processo de percepção dos odores.....	8
Figura 4 - Sistemas de referência Euleriano (a) e Lagrangeano (b) .....	14
Figura 5 – Ilustração do comportamento gaussiano de uma pluma .....	16
Figura 6 - Fluxograma do processamento de informações no AERMOD...	19
Figura 7 - Definição das porção superior e inferior da pluma na CLC .....	20
Figura 8 - Tratamento da pluma na CLC pelo AERMOD .....	21
Figura 9 – Localização da chaminé da indústria .....	25
Figura 10 – Área de 4 km <sup>2</sup> de delimitação em torno da chaminé. ....	26
Figura 11 – Topografia do local de estudo.....	27
Figura 12 - Localização da chaminé do abatedouro em relação à Foz do Iguazu.....	29
Figura 13 – Arquivo SAMSOM construído a partir dos dados meteorológicos do INMET. ....	34
Figura 14 – Os setores da área de estudo. ....	36
Figura 15 – Configuração de receptores na área de estudo. ....	38
Figura 16 – Rosa dos ventos para os dados meteorológicos horários do dia 30 de Julho de 2010. ....	41
Figura 17 – Cenário 1: Concentrações máximas de odor para 4 minutos. ..	43
Figura 18 – Cenário 2: Concentrações máximas de odor para 4 minutos. ..	44

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Escalas de movimento e fenômenos associados.....	13
Tabela 2 – Dados meteorológicos para entrada no AERMET.....	30
Tabela 3 – Descrição da primeira linha do arquivo tipo SAMSOM.....	31
Tabela 4 – Descrição das posições dos dados no formato SAMSOM.....	32
Tabela 5 – Valores de Albedo, Razão de Bowen e Rugosidade para as superfícies identificadas na Figura 14. ....	37
Tabela 6 – Porcentagem das áreas de uso por setor.....	40
Tabela 7 – Valores calculados considerando a ponderação realizada em função dos diferentes tipos de uso do solo para a Primavera. ....	40
Tabela 8 – Parâmetros da fonte emissora .....	42

# 1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, devido à crescente industrialização e o nascimento das grandes metrópoles, intensificou-se a preocupação do homem em relação ao meio ambiente, qualidade de vida e bem estar. Um dos maiores incômodos que se pôde observar foi em relação à qualidade do ar, quanto à presença de odores irritantes.

Embora o olfato humano não seja tão desenvolvido a ponto detectar com precisão a presença ou não de determinadas substâncias, a percepção olfativa do ser humano não pode ser desprezada. Algumas substâncias tóxicas podem ser percebidas mesmo em teores da ordem da parte por bilhão (ppb). Desta forma, somada a percepção sensorial ligada às emoções, o ambiente com poluentes odorantes pode ser ainda mais desagradável.

Diversas são as fontes odorantes, principalmente as indústrias alimentícias, aterros sanitários, estações de tratamento de esgoto, etc., que causam grandes desconfortos nas comunidades próximas as mesmas. No Brasil, a Resolução CONAMA 03/90 apenas estabelece padrões de qualidade do ar para os poluentes convencionais, não havendo legislação federal que estabeleça padrões de qualidade do ar, ou de emissões, para compostos odoríficos.

O Estado do Paraná apenas estabelece limites para a taxa de emissão de gases odorantes diretamente na fonte, sem avaliar as concentrações nos receptores. No interior deste estado, encontra-se o objeto de estudo deste trabalho, um abatedouro de suínos.

Devido aos problemas atmosféricos verificados nas últimas décadas, a comunidade científica tem intensificado os estudos da qualidade do ar. A simulação da dispersão de poluentes na atmosfera gera uma informação valiosa para avaliar os impactos devidos às emissões de chaminés de indústrias, possibilitando prever as concentrações de poluentes odorantes num determinado ponto ou região. A Agência de Proteção Ambiental americana (EPA) recomenda, para estimar a concentração de poluentes ao nível do solo, o modelo de dispersão atmosférica AERMOD®

Nesse contexto, o objetivo principal deste trabalho é empregar o modelo AERMOD, como ferramenta para simular a dispersão de odores da unidade de graxaria de uma indústria abatedora de suínos<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Local onde ocorre o aproveitamento dos subprodutos gerados no abate de aves, suínos ou bovinos, a fim de incorporá-los na ração animal, gerando emissão de substâncias odoríferas (CETESB, 2006).

Simulando a dispersão da pluma, é possível mensurar as ocorrências de picos de concentrações dos poluentes odorantes nas proximidades da chaminé, estabelecendo um panorama comparativo com a legislação do Paraná, que define padrões de emissão de concentração dos odores apenas na fonte emissora, sem considerar a dispersão das substâncias odoríferas. Salienta-se aqui que os estudos de dispersão de poluentes odorantes constituem um importante instrumento de avaliação do impacto ambiental relativo às instalações de uma indústria.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1.1 OBJETIVO GERAL**

Aplicar o modelo matemático de dispersão atmosférica AERMOD como ferramenta para avaliar o impacto ambiental devido às emissões odorantes de uma indústria frigorífica localizada no interior do Paraná.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Efetuar simulações no modelo AERMOD a partir de resultados obtidos através de medições em campo e avaliações olfatométricas realizadas pelo LCQAr;
- Avaliar as concentrações odorantes resultantes da simulação e comparar com a legislação estadual do Paraná.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 A ATMOSFERA

A atmosfera pode ser entendida como uma camada constituída de vapores, gases, partículas líquidas e sólidas, em suspensão envolvendo a Terra, formando um sistema ambiental integrado (KEMP, 1994).

As camadas de ar podem ser separadas na vertical em troposfera, estratosfera, mesosfera e ionosfera ou termosfera.

A troposfera é a camada de ar mais próxima à superfície da Terra. Ela é estreita e densa, contendo a maioria da massa gasosa da atmosfera (75%), vapor d'água e aerossóis. Nela ocorre a maioria dos fenômenos atmosféricos, como a chuva, os ventos, etc. (PIRES, 2005).

A estratosfera é a camada mais seca, onde residem as maiores concentrações de ozônio, que propiciam os processos de absorção e dispersão de parte dos raios solares incidentes.

A mesosfera e a ionosfera são as camadas mais distantes da Terra. As mesmas sofrem a distribuição espectral da energia solar que alcançam as camadas inferiores mais próximas do solo.

A estrutura vertical da atmosfera é traçada de acordo com o perfil da temperatura, como mostrado na Figura 1.

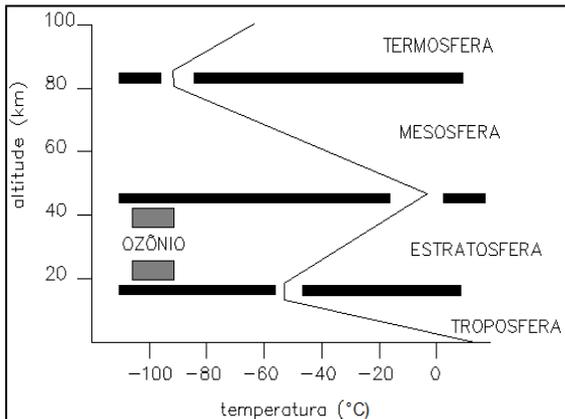


Figura 1- Estrutura vertical da atmosfera em função da temperatura (Fonte: Pires, 2005)

### 3.2 POLUIÇÃO DO AR

A poluição, segundo Soares (2008) é toda introdução num sistema de agentes químicos, físicos ou biológicos em quantidade suficiente para provocar anomalias do ecossistema e os seres vivos nele considerado ou a deterioração física de bens materiais. A poluição pode ser classificada como:

- Crônica local: aquela que insere “pequenas doses localizadas de poluentes, porém de modo continuado”;
- Crônica global, aquela que são “contínuas cuja repercussão se dá muito além do ponto emissor (gases a efeito estufa)”;
- Acidental, como a que foi emitida em “grande dose de poluente em curto intervalo de tempo.”

O autor também estabelece a distinção de conceitos entre poluição e contaminação. A segunda denomina a “passagem de um poluente de um meio a outro ou, em um mesmo meio, de um corpo ao outro”. Para Zanetti (1990) um poluente é responsável por alterar a composição média geoquímica do meio ambiente, diferentemente de um contaminante.

A poluição do ar pode ser definida como a “presença ou lançamento no ambiente atmosférico de substâncias em concentrações suficientes para interferir direta ou indiretamente com a saúde, segurança e bem estar do homem, ou com o pleno gozo de sua propriedade” (DE MELO LISBOA, 2008).

Para Assunção (1998) a poluição atmosférica é a consequência do “rápido crescimento populacional, industrial e econômico, da concentração populacional e industrial e dos hábitos da população”.

Embora se tenha aprimorado os estudos na área de poluição atmosférica, este fenômeno é considerado muito complexo, devido ao fato que é necessário considerar também a dispersão dos poluentes na atmosfera e as reações fotoquímicas que acontecem entre eles (LORA, 2000). Nesse contexto, faz-se necessário o uso de ferramentas, como modelos matemáticos para avaliar a dispersão dos poluentes emitidos.

A Figura 2, a seguir, apresenta um breve esquema do processo de poluição do ar.

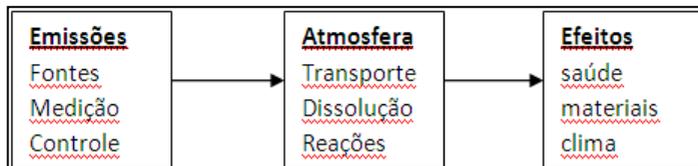


Figura 2 - Esquema do processo de poluição do ar (Fonte: Lora, 2000)

### 3.2.1 Poluente Atmosférico

Toda substância, qualquer que seja o estado físico, que traz prejuízo à composição química da atmosfera, ao bem estar do homem, dos animais e do meio ambiente, proporcionando efeitos sobre a sociedade que podem ou não ser expressos economicamente, pode ser considerada um poluente (PIRES, 2005).

De acordo com CONAMA (1990), considera-se poluente atmosférico “qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem ou possam tornar o ar:

*I - impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde;*

*II - inconveniente ao bem-estar público;*

*III - danoso aos materiais, à fauna e flora;*

*IV - prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade.”*

### 3.2.2 Classificação dos Poluentes Atmosféricos

Tendo em vista o fato de existirem uma grande variedade de agentes tóxicos na atmosfera, torna-se difícil a tarefa de se estabelecer uma classificação. De acordo com De Melo Lisboa (2008) os poluentes são classificados conforme com sua origem, estado físico e composição química.

#### **I – Origem**

Ia. - Primários: aqueles emitidos diretamente pelas fontes de emissão. Dentre eles os materiais particulados, dióxidos de enxofre (SO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NOx) e os hidrocarbonetos (CxHx).

Ib. – Secundários: os quais são formados, na atmosfera, resultante de interações fotoquímicas entre os próprios

poluentes primários ou com compostos originais da atmosfera. Destaca-se o trióxido de enxofre (SO<sub>3</sub>) e o ozônio (O<sub>3</sub>).

## **II – Estado Físico**

IIa. – Vapores e gases: cita-se os compostos derivados de enxofre (SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S, sulfatos), compostos de nitrogênio (NO, NO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, nitratos), compostos orgânicos de carbono (hidrocarbonetos, alcoóis, aldeídos, cetonas, e ácidos orgânicos), monóxido de carbono (CO) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), e os compostos halogenados (HCL, HF, cloretos, fluoretos).

IIb. – Material particulado: são aqueles resultantes da mistura de compostos no estado sólido ou líquido, formando os fumos, névoas, poeiras e fumaças (aerossóis ou aerodispersores).

## **III – Composição química**

IIIa. – Orgânicos: poluentes que possuem sua composição formada por hidrocarbonetos.

IIIb. – Inorgânicos: os poluentes que não são orgânicos.

### **3.3 ODOR**

A manifestação de poluição do ar mais imediatamente notada em uma comunidade é certamente o odor. As substâncias presentes no ar que causam percepção de odor são o principal motivo de reclamações do público aos órgãos ambientais (CARMO JR, 2005).

O incômodo que o odor pode causar depende da presença de uma mistura de moléculas químicas voláteis as quais reagem com a mucosa nasal causando uma sensação olfativa. A resposta do ser humano à este estímulo varia de acordo com a combinação entre as propriedades sensoriais do que se está avaliando, como a intensidade do odor, concentração de detecção e, principalmente, o tipo de emoção proporcionado (agradável ou desagradável) (ZURITA *et al.*, 1999).

Estações de tratamento de esgoto, aterros sanitários, indústrias alimentícias constituem algumas das principais fontes odorantes. Existem diferentes técnicas que podem analisar a qualidade odorante do ar nessas fontes, como a análise olfatométrica, o uso de nariz eletrônico e análises físico-químicas.

Um cheiro desagradável é algo subjetivo, portanto, legalmente indefinível. Torna-se razoavelmente difícil uma padronização que possa

orientar as autoridades a fim de caracterizar o problema odorante, de uma forma geral, e encontrar a solução para o incômodo, dificultando a avaliação do dano pelas autoridades (CARMO JR, 2005).

### 3.3.1 Percepção Odorante

De acordo com Frenchen (1994) o processo de percepção do odor pode ser separado em dois momentos: a recepção fisiológica e a interpretação psicológica. Neste contexto, como resultado final tem-se a impressão mental do odor. Abaixo, a Figura 3 mostra um esquema de como ocorre a percepção do odor.

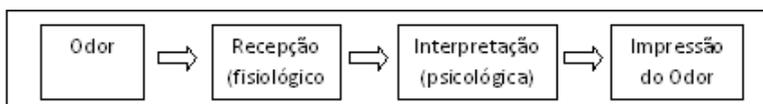


Figura 3 - Processo de percepção dos odores. (Fonte: Frenchen, 1994)

Contudo, há uma grande dificuldade em refletir sobre odor e percepção odorante devido à subjetividade das sensações e percepções que são características inerentes e distintas de cada indivíduo. Um determinado cheiro pode estar fortemente ligado às emoções, sentimentos e vida afetiva de cada ser humano. Os sistemas sensoriais (audição, visão, tato, olfato e paladar) levam a informação ao cérebro para perceber o mundo ao nosso redor. Já na percepção, acrescentamos aos estímulos traços da memória, raciocínio, juízo e afeto que representam elementos que revelam a experiência do mundo, diferente em cada indivíduo (SILVA, 2002).

No que tange à caracterização de um odor, Nuvolari *et al* (2003) enumeram quatro fatores que devem ser considerados para caracterizar um odor:

- Qualidade ou Caráter: é um parâmetro bastante subjetivo. Isto, pois, o odor sentido é associado a outro odor (cheiro de fruta, peixe, ovo, menta). Ou seja, o cheiro “lembra” outra substância;
- Detectabilidade ou Concentração do odor: reflete o número de diluições necessárias para se reduzir um odor à concentração mínima detectável de um odorante;
- Hedonicidade: refere-se à característica agradável ou desagradável de um odor. É uma categoria de julgamento que denuncia se um odor traz a sensação de prazer ou desprazer;

- Intensidade: remete a força de um odor, normalmente medido com o olfatômetro, tendo como composto de referência o butanol, por diluição até o limiar olfativo.

A percepção de um odor depende de inúmeras variáveis. Existem diferentes correlações entre o julgamento quanto a intensidade, caráter e força hedônica nas respostas aos odores diários. A intensidade percebida depende da concentração do estímulo, podendo variar mantendo as mesmas concentrações. Mesmos os odores prazerosos podem ser independentes da concentração, sugerindo que na avaliação do julgamento hedônico, outros fatores também podem ser considerados (SILVA, 2002).

Embora a sensação olfativa seja individualizada (varia de acordo com o estado fisiológico, cultura e hábitos de vida), as respostas às análises hedônicas tem se mostrado análogas em populações homogêneas (FERNANDEZ, 1997 apud MUNIZ, 2007)

Segundo McGinley e McGinley (2006) a percepção odorante em uma população varia de acordo com a concentração dos odores. Ela pode apresentar a seguinte configuração:

- 1 UO<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>: limite de percepção do odor, onde 50% das pessoas detectaria o odor no ambiente;
- 2 UO/m<sup>3</sup>: limite de reconhecimento do odor, onde 50% das pessoas qualificaria o odor no ambiente;
- 5 UO/m<sup>3</sup>: limite de discernimento, onde 50% da população identificaria o odor no ambiente;
- 10 UO/m<sup>3</sup>: limite onde se espera reclamações provenientes de incômodos gerados pelo odor.

### 3.3.2 Inconvenientes dos Odores

A primeira indicação da presença de um odor em uma comunidade é a manifestação da mesma na forma de reclamações. A presença de um cheiro potencialmente desagradável em uma população desencadeia uma série de impactos reais sobre o bem-estar das pessoas, podendo gerar complicações. O odor torna-se um incômodo quando está presente por um longo período, especialmente se retornar

---

<sup>2</sup> UO: Unidade de odor.

frequentemente e incomodar mais de uma pessoa em uma comunidade, ou seja, depende do grau de exposição das pessoas sobre o odor (CARMO JR, 2005; SILVA, 2002).

Há inúmeras conseqüências diretas e notáveis em comunidades expostas a odores. Cavalini (1994) verificou alta correlação entre os incômodos e os efeitos sócio-emocionais (como por exemplo, não gostar de ficar em casa, evitar visitas de amigos, alteração de humor, atividades de lazer prejudicadas) e somático-vegetativos (náuseas, dor de cabeça, distúrbio de sono e respiração).

Schiffman *et al.* (1995) relatam, além de conseqüências fisiológicas e psicológicas, o temor na comunidade em relação à perda do valor econômico de suas propriedades.

### **3.3.3 Compostos Odorantes e Avaliação**

Os efluentes odorantes, emitidos naturalmente e, principalmente por atividades antropogênicas, resultam das interações químicas e/ou biológicas (KOWAL, 1993 apud CARVALHO, 2001).

Para Gostelow *et al* (2001) os odores podem se medidos através da concentração, intensidade, caráter e hedonicidade. A concentração e a intensidade podem ser avaliadas por métodos analíticos. Porém a intensidade também pode ser avaliada por métodos sensoriais, assim como a hedonicidade. Já a análise da característica é realizada associando o odor com outro cheiro conhecido.

Incluem-se nos métodos analíticos os modelos matemáticos de dispersão, que consideram parâmetros ambientais como temperatura, pressão, umidade relativa, velocidade e direção do vento, além da duração do episódio. Outro método analítico consiste na medição de odor utilizando nariz eletrônico. Já os métodos físico-químicos consistem em pesquisar e quantificar os elementos químicos presentes na atmosfera.

As análises olfatométricas ou sensoriais são realizadas através de levantamentos psico-fisiológicos, que relacionam o funcionamento entre os mundos físico e psíquico (mental), buscando estabelecer os meios para evidenciar as relações existentes entre os estímulos físicos provocados pelo ambiente e sensações humanas (SIMON, 1992 apud SILVA, 2002).

### 3.4 PADRÕES DE QUALIDADE DO AR E LEGISLAÇÃO

Como destacado anteriormente, um padrão de qualidade do ar é construído com base nos efeitos causados nos receptores, principalmente, no homem. Partindo do princípio de que o ar puro é aquele inalável que não causa nenhum efeito adverso às pessoas, então se faz necessário estabelecer um padrão de qualidade a fim de assegurar a proteção e o bem estar das pessoas, definindo-se um limite máximo para a concentração de um poluente atmosférico (DERÍSIO, 2007).

Para verificar a qualidade do ar, é necessário realizar o monitoramento. Segundo a CETESB (1996), os principais objetivos do monitoramento da qualidade do ar são:

- fornecer dados para ativar ações de emergência durante períodos de estagnação atmosférica quando os níveis de poluentes na atmosfera possam representar risco à saúde pública;
- avaliar a qualidade do ar à luz de limites estabelecidos para proteger a saúde e o bem estar das pessoas;
- acompanhar as tendências e mudanças na qualidade do ar devidas a alterações nas emissões dos poluentes.

Embora a Resolução CONAMA nº 03 de 1990 fixe padrões nacionais de qualidade do ar, não há nenhuma restrição para compostos odoríferos, o que é contraditório uma vez que a presença de odor também caracteriza um ambiente inconveniente ao bem-estar público.

Alguns estados brasileiros, através de decretos e resoluções, proíbem a emissão de substâncias odoríferas na atmosfera em quantidades que possam ser perceptíveis fora dos limites da área da propriedade em que se encontra a fonte emissora. Este é o caso do Estado de Goiás (Decreto Nº 1.745/1979) e São Paulo, de acordo com o Decreto nº 8.468 de 1976, Art. 33. Este também era o caso de Santa Catarina, segundo a legislação ambiental existente até abril de 2009 (Decreto Nº 14.250 de 05 de junho de 1981, Art. 31), que foi substituída pela lei nº 14.675 de 13 de abril de 2009 (Lei 14.675, 2009), que instituiu o Código ambiental do Estado de Santa Catarina. Este código revogou o dispositivo anterior e agora não se dispõe, neste estado, de nenhum critério para constatação dos limites de concentração de substâncias odorantes presentes na atmosfera.

No Estado do Paraná, a Resolução SEMA 054/2006 estabelece uma taxa de emissão para atividades geradoras de substâncias odoríferas. Em seu Art. 12º menciona:

*“As atividades geradoras de substâncias odoríferas, com uma taxa de emissão acima de 5.000.000 UO/h (Unidades de Odor por hora), deverão promover a instalação de equipamento, previamente analisado pelo Instituto Ambiental do Paraná, visando a captação e remoção do odor. O tipo de equipamento de remoção de odor a ser instalado dependerá das condições locais de dispersão, da proximidade de áreas habitadas e da quantidade de substâncias odoríferas emitidas, a qual deverá ser quantificada por olfatometria e expressa em Unidades de Odor lançadas na atmosfera por hora. A eficiência do equipamento de remoção de odor, determinada por olfatometria deve ser no mínimo de 85%.”*

A Resolução do Paraná, embora estabeleça um limite para a concentração de substâncias odoríferas, apenas considera a concentração na fonte emissora, sem considerar o efeito da dispersão odorante nos receptores.

Em outros países, como o Canadá, não é permitido que as emissões ultrapassem a concentração de 1 UO fora dos limites da propriedade da indústria emissora<sup>3</sup>. Este aspecto será objeto de investigação, no presente trabalho.

### **3.5 TRANSPORTES DE POLUENTES NA ATMOSFERA**

O estudo da dispersão de poluentes na atmosfera leva em consideração diversos fatores. Entre os mais importantes estão a velocidade média e direção do vento, insolação, grau de estabilidade da atmosfera, temperatura, relevo, características das fontes poluidoras e dos gases emitidos. Isto torna o processo de cálculo das dispersões atmosféricas, extremamente complexo (MORAES, 2004).

Além das condições topográficas, os principais fatores que governam a dispersão de poluentes estão relacionados aos fenômenos meteorológicos. Dessa forma, mesmo que uma emissão de poluentes permaneça constante, a qualidade do ar pode variar em função das condições meteorológicas. A dinâmica atmosférica e os seus fenômenos obedecem a uma escala de movimento de acordo com o raio horizontal

---

<sup>3</sup>Conforme a *Reglement 90 de la CUM - Conseil de la Communauté urbaine de Montréal*

do campo físico estudado. Dentro de cada escala, existe a ocorrência de determinados fenômenos atmosféricos (DE MELO LISBOA, 2008).

A Tabela 1 apresenta os fenômenos atmosféricos associados às respectivas escalas de movimento.

Tabela 1 - Escalas de movimento e fenômenos associados (Fonte: Godish,1991)

ESCALA DE MOVIMENTO	RAIO GEOGRÁFICO	TEMPO DE DURAÇÃO	FENÔMENO METEOROLÓGICO
Macro escala	>10 km	Semanas a meses	Circulação atmosférica, frentes climáticas, sistemas de alta e baixa pressão, furacões
Mesoescala	10 – 100 km	Horas a dias	Brisas marítimas, ventos de vales, ilhas de calor em centros urbanos
Micro escala	<10	Minutos	Comportamento de plumas

A difusão e o transporte dos poluentes ocorrem na parte mais baixa da atmosfera, denominada camada limite planetária (CLP), localizada na troposfera. Esta delimitação, que pode chegar a 2000 m acima do nível do mar, é onde ocorrem as trocas verticais de momento, calor e mistura de massas de ar, sofrendo mais com os efeitos oriundos da superfície (ZANNETI, 1990).

### **3.6 MODELAGEM NUMÉRICA PARA DISPERSÃO DE POLUENTES**

O cálculo da concentração de um poluente atmosférico, tomando como referência um determinado receptor, depende do tipo de fonte emissora e suas características físicas (diâmetro da chaminé e altura), da carga de poluentes emitidos e das condições topográficas e climáticas características do ambiente: velocidade e direção dos ventos e da estabilidade atmosférica (BARBON, 2008).

Os modelos que simulam a dispersão de poluentes na atmosfera procuram utilizar métodos matemáticos e algumas aproximações, devido à variabilidade e complexidade dos fenômenos envolvidos. Através das simulações matemáticas, o modelo tenta prever as concentrações dos poluentes emitidos a diferentes distâncias da fonte emissora. Com isso, pode-se estimar em que grau o poluente afeta a qualidade do ar num determinado ponto ou região.

No que tange à temática da modelagem matemática para descrever o transporte de poluentes na atmosfera, existem duas abordagens básicas: a Lagrangeana e a Euleriana. Na abordagem Lagrangeana “o sistema de coordenadas é baseado na posição de uma partícula em um tempo  $t$ , relativo à sua posição  $(a,b,c)$  em um tempo de referência  $t_0$ ”. Na abordagem Euleriana “o sistema de coordenadas é fixo no espaço. As propriedades do fluido como densidade, temperatura e velocidade são calculadas em um ponto  $(x,y,z)$  fixo no espaço num dado tempo  $t$ ” (MORAES, 2004).

A Figura 4, a seguir, ilustra o sistema de coordenadas de cada uma das abordagens apresentadas acima.

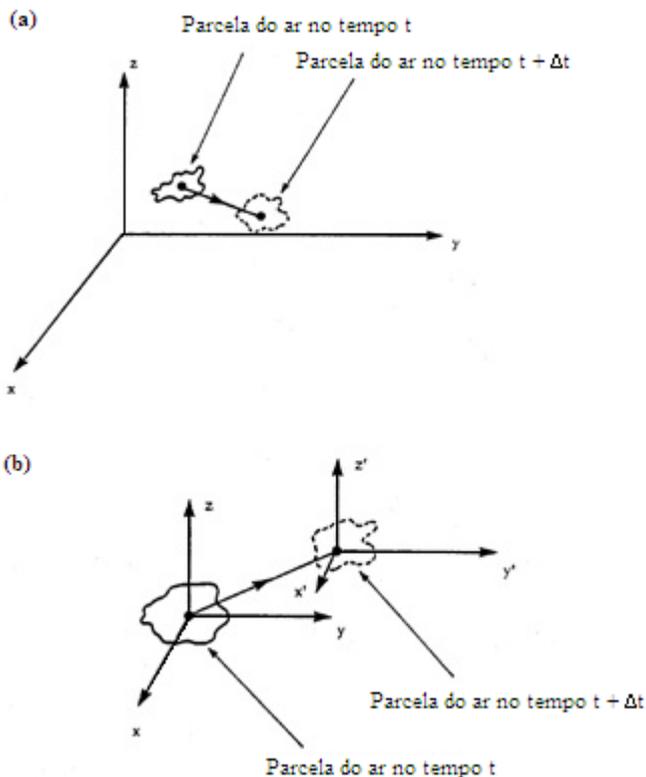


Figura 4 - Sistemas de referência: Euleriano (a) e Lagrangeano (b)  
(Fonte: Adaptado de Zannetti, 1990, por Moraes, 2004).

O *software* AERMOD View que será usado neste trabalho e descrito adiante é baseado no modelo de pluma Gaussiano. Os modelos de dispersão gaussianos podem ser vistos como Eulerianos e Lagrangianos. Constituem a maioria dos modelos de poluição atmosférica e são baseados num equacionamento simples, que será descrito com maiores detalhes na seqüência.

### **O modelo Gaussiano**

A equação da teoria estatística de Gauss é uma solução analítica simplificada da equação básica da difusão, que é baseada no princípio da conservação de massa. Nessa abordagem, o eixo x coincide com a direção de percurso da pluma de poluentes, dada uma fonte emissora dentro de um volume de controle. No plano horizontal e vertical, observa-se que a concentração de poluentes é análoga a distribuição estatística de Gauss (também conhecida como sino de Gauss) (LORA, 2000).

Modelos do tipo gaussiano são largamente utilizados na modelagem de dispersão atmosférica. Porém, esta abordagem apresenta muitas limitações físicas, devendo ser feitas as seguintes considerações (LORA, 2000):

- a pluma é distribuída baseada numa velocidade constante, igual à do vento, numa mesma direção;
- a emissão dos poluentes ocorre pontualmente, à uma taxa constante Q;
- não considera deposição nem reação com a superfície;
- o poluente não se perde por desintegração, reação química ou deposição;
- o terreno analisado é considerado plano;
- incorpora parâmetros de dispersão associados à classes de estabilidade, que abrangem uma faixa muito grande de condições de estabilidade.

A Figura 5, a seguir, ilustra esquematicamente o modelo de pluma gaussiana tomada a partir de uma fonte pontual.

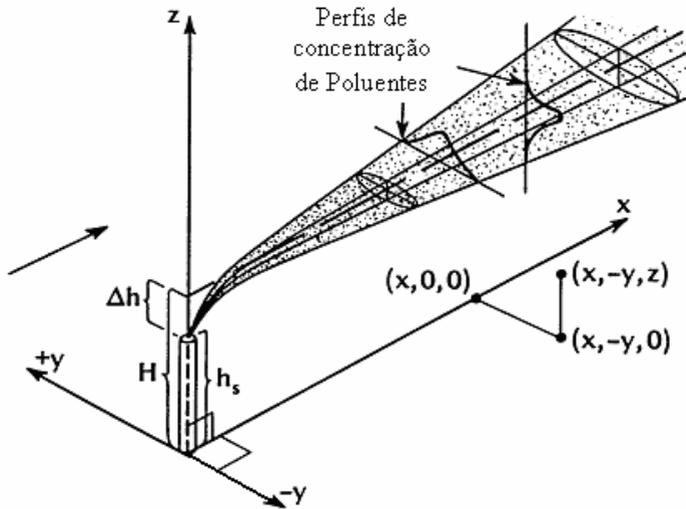


Figura 5 – Ilustração do comportamento gaussiano de uma pluma

O modelo Gaussiano é baseado em uma fórmula simples que descreve um campo de concentrações tri-dimensional gerado por uma fonte pontual elevada sob condições meteorológicas e de emissão constantes. As concentrações são calculadas de acordo com a seguinte equação (MORAES, 2004):

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

Equação 1

Onde:

- $c(x, y, z)$  é a concentração do poluente a jusante (sota-vento) da fonte, no ponto  $(x, y, z)$ ;
- $x$  é a distância horizontal da fonte,
- $y$  é a distância horizontal perpendicular ao eixo central da pluma;
- $z$  é a altura do solo;
- $Q$  é a vazão mássica de emissão (vazão de lançamento do gás);
- $u$  velocidade média do vento;
- $H$  altura efetiva da chaminé;
- $\alpha$  coeficiente de reflexão;

-  $\sigma_y$ , o coeficiente de dispersão lateral e  $\sigma_z$  o coeficiente de dispersão vertical. Estes coeficientes são dependentes da estrutura turbulenta da atmosfera.

Para considerar as variações da velocidade do vento é possível aproximar as emissões como uma série de pequenas emissões de poluentes no ar (*puffs*) ao longo do tempo. Assim, cada emissão comporta-se de acordo com uma equação de dispersão gaussiana e o somatório de cada contribuição equivale à contribuição total da fonte (HOLMES e MORAWSKA, 2006).

Segundo Caputo et al. (2003) na dispersão de pluma gaussiana a concentração de poluentes é diferente de zero para um domínio limitado a algumas dezenas de quilômetros, dada uma direção do vento. Algumas mudanças nos parâmetros atmosféricos também podem ser negligenciadas, considerando um regime permanente de concentração.

Para dispersões em condições de calmaria ou para distâncias muito próximas à fonte emissora, menores que 100 m, o modelo gaussiano também não se demonstra eficiente (HOLMES e MORAWSKA, 2006).

### 3.7 VISÃO GERAL DO MODELO AERMOD<sup>4</sup>

O modelo AERMOD foi desenvolvido através de uma parceria entre a Sociedade Americana Meteorológica (AMS) e a Agência de Proteção Ambiental Americana (EPA) que formaram um grupo de trabalho, o AERMIC (*AMS/EPA Regulatory Model Improvement Committee*). A finalidade do modelo é de simular a dispersão de poluentes emitidos por uma fonte a curtas distâncias, designando-se uma importante ferramenta de monitoramento de qualidade do ar, possibilitando a avaliação de impactos de um determinado empreendimento.

O AERMOD é um modelo de pluma de estado estacionário. Na camada limite estável (CLE), ele assume a distribuição gaussiana de concentração, tanto na vertical quanto na horizontal. Na Camada Limite Convectiva (CLC), a distribuição horizontal também é assumida como sendo gaussiana, mas a distribuição vertical é descrita com uma função bi-densidade de probabilidade gaussiana. Este comportamento das

---

<sup>4</sup> As citações apresentadas neste subitem são traduções de AERMOD (2004).

distribuições de concentração na CLC foi demonstrada por Willis e Deardorff (1981) e Briggs (1993) citado em AERMOD (2004).

O modelo AERMOD constrói perfis verticais de variáveis meteorológicas necessárias, com base em medições e extrapolações, usando relacionamentos de similaridade (escala). Por conseguinte, os perfis verticais da velocidade e direção do vento, turbulência, temperatura e gradiente de temperatura são estimados utilizando todas as observações meteorológicas disponíveis. O modelo também conta com a homogeneidade vertical da Camada Limite Planetária (CLP) em seus cálculos de dispersão. Isto é conseguido pela "média" dos parâmetros reais da CLP transformados em parâmetros "efetivos" de uma CLP equivalentemente homogênea.

A Figura 6, a seguir, mostra o fluxo e processamento de informações no AERMOD. O sistema de modelagem consiste em um programa principal (AERMOD) e dois pré-processadores (AERMET e AERMAP). O principal objetivo do AERMET é calcular os parâmetros da camada limite para utilização do AERMOD. A interface meteorológica, interna ao AERMOD, utiliza esses parâmetros para gerar perfis das variáveis meteorológicas necessárias. Além disso, o AERMET passa todas as observações meteorológicas para AERMOD.

Características de superfície sob a forma de albedo, rugosidade da superfície e razão de Bowen, além das observações meteorológicas são os dados de entrada para o AERMET, que em seguida é processado pelo modelo AERMOD.

O pré-processador de terreno AERMAP usa dados de superfície para calcular as alturas com influência representativa do terreno ( $h_c$ ), também conhecida como a escala de altura do terreno. A altura  $h_c$ , que é unicamente definida para cada posição do receptor, é usada para calcular a divisão da altura racionalizada. Este pré-processador também é utilizado para criar redes de receptores. A elevação para cada receptor especificado é atribuído automaticamente através do AERMAP. Para cada receptor, o AERMAP passa as seguintes informações a seguir para AERMOD: localização do receptor ( $x_r$ ,  $y_r$ ), a sua altura acima do nível médio do mar ( $Z_r$ ) e altura da escala do receptor específico de terreno ( $h_c$ ).

## ESTRUTURA DO SISTEMA DE MODELAGEM

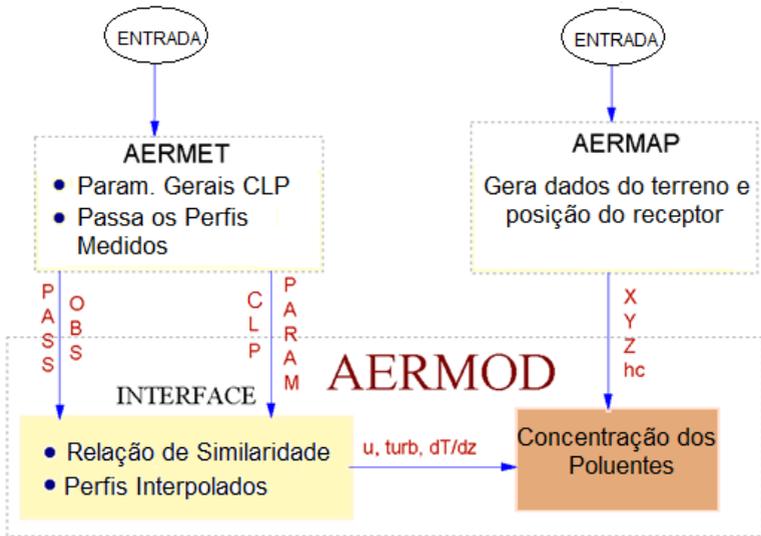


Figura 6 - Fluxograma do processamento de informações no AERMOD.  
(Fonte adaptado EPA, 2004)

### Uma Breve Descrição da Formulação do Modelo AERMOD

Um dos grandes avanços propostos pelo AERMOD é em relação à formulação da dispersão dos poluentes na camada limite convectiva (CLC). O modelo representa a distribuição da pluma nesta camada considerando a mesma sendo transportada em porções definidas como porção superior e porção inferior, como demonstrado na Figura 7.

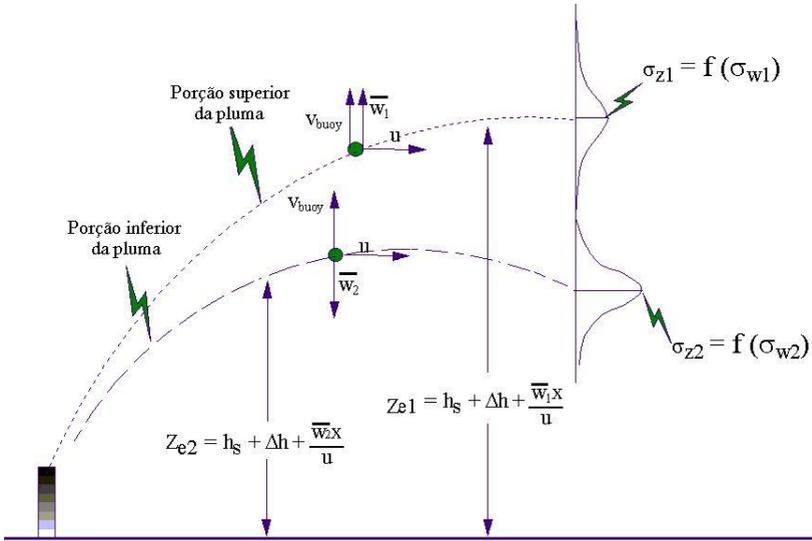


Figura 7 - Definição das porções superior e inferior da pluma na CLC  
(Fonte: adaptado EPA, 2004)

Ainda na CLC, para prever a concentração de um poluente, o modelo avalia a seguinte situação para o tratamento da pluma: a contribuição das fontes diretas e indiretas, e a contribuição da fonte que penetra além do topo da CLC – fonte penetrada (*penetrated source*). A Figura 8 a seguir ilustra como o modelo realiza o tratamento da pluma na CLC.

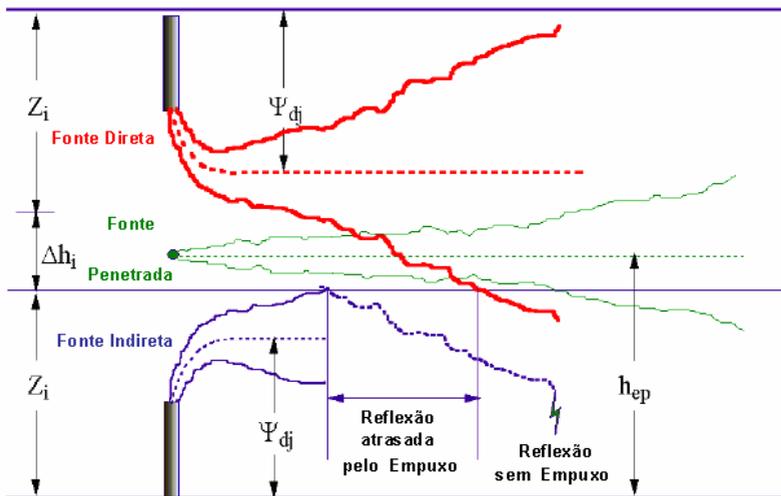


Figura 8 - Tratamento da pluma na CLC pelo AERMOD  
(Fonte: BARBON, 2008 adaptado EPA, 2004)

A fonte indireta consiste no tratamento da porção da pluma que primeiro atinge a altura da camada limite convectiva, denotada na Figura 8 por  $Z_i$ , e então é carregada à superfície. Ocorre um “atraso” em relação à contribuição da fonte direta decorrente da ação das forças de empuxo.

Em termos de concentração no nível do solo, a contribuição da fonte direta se dá quando a velocidade de ascendência da fonte direta na é grande o suficiente a ponto de se sobrepôr à velocidade de ascendência da pluma da fonte indireta, carregando-a para a superfície.

Por fim, o AERMOD calcula a contribuição da porção da pluma que penetra além da camada limite convectiva (fonte penetrada - *penetrated source*) e reentra nesta camada posteriormente, dispersando-se na CLC, atingindo a superfície.

A concentração total é obtida pelo AERMOD, somando a contribuição de cada uma das três contribuintes ilustradas na Figura 8 conforme a Equação 2 a seguir.

$$C(x, y, z) = C_d(x, y, z) + C_p(x, y, z) + C_r(x, y, z)$$

Equação 2

O cálculo da contribuição da fonte direta é feito através da Equação 3:

$$C_d(x, y, z) = \frac{Qf_p}{\sqrt{2\pi}u} F_y \sum_{j=1}^2 \sum_{m=0}^{\infty} \frac{\lambda_j}{\sigma_{zj}} \left[ \exp\left(-\frac{(z - \psi_{dj} - 2mz_i)^2}{2\sigma_{zj}^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z + \psi_{dj} + 2mz_i)^2}{2\sigma_{zj}^2}\right) \right]$$

Equação 3

$$\text{com } \psi_{dj} = h_s + \Delta h_d + \frac{\bar{w}_j x}{u} \text{ e } F_y = \left( \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_y} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \right)$$

Onde:

Cd = Concentração devida a fonte direta ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ );

Q = Taxa de emissão pela chaminé ( $\mu\text{g}/\text{s}$ );

u = Velocidade do vento (m/s);

$\sigma_y, \sigma_z$  = Coeficientes de dispersão lateral e vertical;

f<sub>p</sub> = Fração do material emitido pela fonte que permanece na camada;

limite convectiva,  $0 < f_p < 1$ ;

j=1 para linha inferior da pluma e 2 para linha superior da pluma;

$\Psi_{dj}$  = Altura entre a base da fonte e a linha central da pluma (m);

$\lambda$  = Coeficiente de distribuição da pluma.

O cálculo da contribuição da fonte indireta é feito através da Equação 4:

$$C_r(x, y, z) = \frac{Qf_p}{\sqrt{2\pi}u} F_y \sum_{j=1}^2 \sum_{m=0}^{\infty} \frac{\lambda_j}{\sigma_{zj}} \left[ \exp\left(-\frac{(z + \Psi_{rj} - 2mz_i)^2}{2\sigma_{zj}^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z - \Psi_{rj} + 2mz_i)^2}{2\sigma_{zj}^2}\right) \right]$$

Equação 4

Sendo que  $\Psi_{rj} = \Psi_{dj} - \Delta h$ , e  $\Delta h$  representa a parcela da pluma que ascende além do topo da camada limite convectiva (Figura 7) e Cr representa a parcela da pluma emitida pela fonte indireta.

O cálculo da contribuição da fonte que penetra além do topo da camada limite convectiva é feito através da Equação 5:

$$C_p(x, y, z) = \frac{Q(1-f_p)}{\sqrt{2\pi}u\sigma_{zp}} F_y \sum_{m=-\infty}^{\infty} \left[ \exp\left(-\frac{(z - h_{ep} + 2mz_i)^2}{2\sigma_{zp}^2}\right) + \exp\left(-\frac{((z + h_{ep} + 2mz_i))^2}{2\sigma_{zp}^2}\right) \right]$$

Equação 5

Onde:

$Z_i$  = altura da camada de mistura mecânica (Figura 7);

$h_{ep}$  = altura da pluma que vai além do topo da CLC.

Nas equações 3, 4 e 5, o termo  $\exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right)$ , dado por  $F_y$ , representa a parcela da concentração relativa à dispersão de acordo com a direção do vento. O primeiro termo interno aos colchetes refere-se à concentração dos poluentes decorrente da dispersão vertical dos mesmos. O segundo termo do interior dos colchetes corresponde ao acúmulo de poluente em função do efeito do contorno sólido devido ao solo.

## **4. MATERIAIS E MÉTODOS**

Este capítulo destina-se a demonstrar como foram adquiridos os dados necessários para a realização das simulações no AERMOD View, comercializado pela *Lakes Environmental Software* o qual apresenta maior facilidade de manipulação, apresentando uma interface mais intuitiva.

O trabalho será realizado com os dados da estação meteorológica de Foz do Iguaçu/PR, que se localiza à aproximadamente 55 km da unidade de graxaria da indústria frigorífica.

Os dados da fonte emissora foram obtidos através de duas avaliações, uma em 2009 e outra em 2010, realizadas pelo Laboratório de Controle e Qualidade do Ar (LCQAr) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Ambas as avaliações verificaram as concentrações odorantes e a vazão dos gases na chaminé da unidade de graxaria da indústria frigorífica.

Na seqüência, também será apresentada a caracterização do local, a topografia, a forma de transcrição de dados meteorológicos recebidos, as fontes consultadas e demonstrado como foi realizada a conversão de dados de entrada no modelo.

### **4.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL**

Não será possível disponibilizar nomes e nem dados específicos da localização da indústria por questões sigilosas. Na Figura 9, abaixo, pode-se observar o quanto a chaminé se localiza em uma pequena cidade do interior do Paraná, próxima à área urbana.

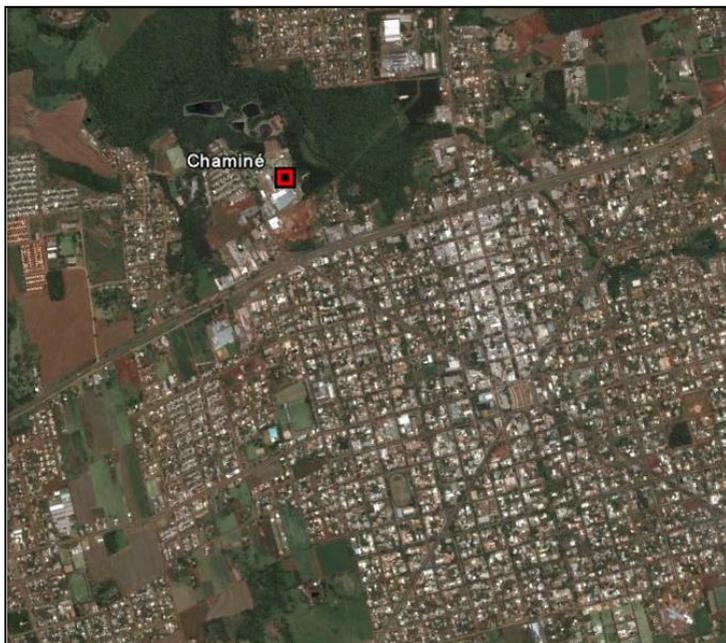


Figura 9 – Localização da chaminé da indústria.

O objetivo do trabalho é determinar o impacto odorante nas proximidades da fonte emissora. Sendo assim, o domínio de modelização será limitado à uma região quadrática de 2 km de lado, totalizando 4 km<sup>2</sup> de área com a chaminé no centro do quadrado. A Figura 10 representa a delimitação da área de estudo.



Figura 10 – Área de 4 km<sup>2</sup> de delimitação em torno da chaminé (domínio de estudo). Em azul, destacado o limite da propriedade.

## 4.2 TOPOGRAFIA DO LOCAL DE ESTUDO

O relevo da área de estudo também é considerado no modelo AERMOD, influenciando na dispersão atmosférica dos odores. O terreno possui uma altitude média de 375 m em relação ao nível do mar. Os mapas topográficos foram obtidos através do sistema WebGIS (2010) e possuem uma resolução de 90 m. A Figura 11 abaixo mostra a topografia do local.

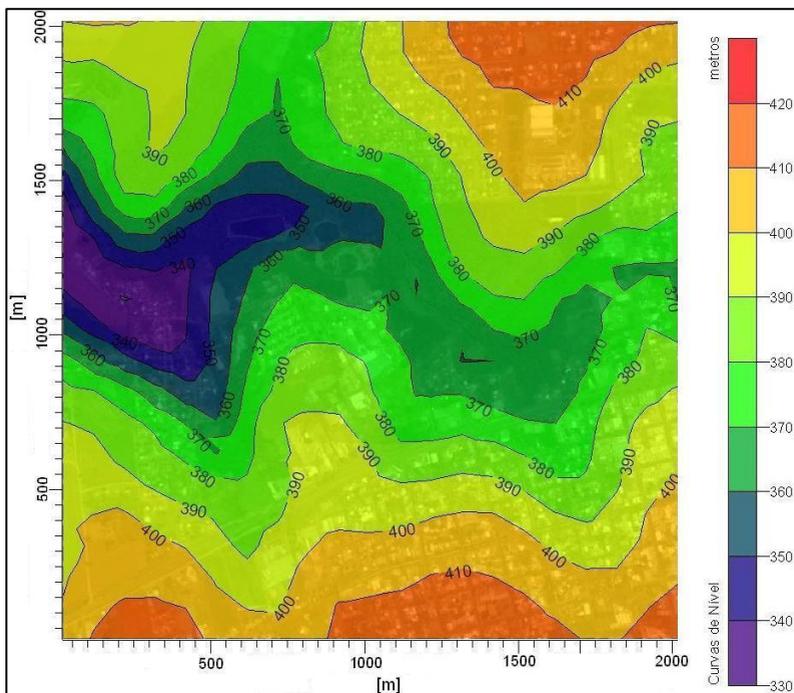


Figura 11 – Topografia do local de estudo.

O AERMAP, que é o pré-processador de terreno do AERMOD, realiza a interpolação dos dados topográficos e permite que, no momento em que for definida a grade de receptores com as alturas dos mesmos em relação ao solo, o AERMOD processa os dados do terreno.

### 4.3 PARÂMETROS DA FONTE EMISSORA

Como mencionado anteriormente, a base de dados deste trabalho foram duas avaliações emitidas pelo LCQAr para a empresa, uma em 2009 e a segunda em 2010.

As análises olfatométricas conduzidas pelo LCQAr são para quantificar os odores, com o objetivo de determinar a concentração odorante de uma amostra gasosa coletada na saída dos gases na chaminé. A análise sensorial é realizada com o Olfatômetro de Diluição Dinâmica (ODILE, modelo 2000), devidamente calibrado.

O olfatômetro apresenta aos jurados, em tubos olfativos, diferentes diluições da amostra do gás odorante com o ar puro. Cada

jurado responde SIM para a presença de um odor e NÃO se não perceber odor nenhum. As respostas dos jurados são contabilizadas e o resultado corresponde ao LPO da amostra, que é a taxa de diluição necessária da amostra com o ar puro para a qual 50% de um júri é capaz de perceber a presença de um odor. O número de diluições necessárias corresponde à concentração odorante da amostra. Ou seja, 1 UO/m<sup>3</sup> corresponde a um diluição feita.

Embora as medições tenham sido realizadas na mesma chaminé, cabe ressaltar que, no segundo momento, em 2010, as condições operacionais da empresa eram diferentes.

A seguir, os parâmetros físicos da fonte emissora:

- Diâmetro interno da chaminé: 0,48 m
- Altura: 5 m

Abaixo, os resultados das análises olfatométricas e as medições efetuadas na fonte emissora de 2009 e 2010, respectivamente.

Avaliação de 2009:

- Temperatura média dos gases:  $t = 304,4^{\circ}\text{K}$ ;
- Concentração odorante média:  $C_1 = 381.722 \text{ UO/m}^3$ ;
- Vazão média na saída da chaminé:  $Q_1 = 880,0 \text{ m}^3/\text{h}$ ;
- Taxa de emissão odorante:  $T_1 = C \times Q$ .

$$T_1 = 381.722 \times 880,0$$

$$T_1 = 335,9 \cdot 10^6 \text{ UO/h}$$

Avaliação de 2010:

- Temperatura média dos gases:  $t = 305,3^{\circ}\text{K}$ ;
- Concentração odorante média:  $C_2 = 6.556 \text{ UO/m}^3$ ;
- Vazão média na saída da chaminé:  $Q_2 = 756,5 \text{ m}^3/\text{h}$ ;
- Taxa de emissão odorante:  $T_1 = C \times Q$ .

$$T_2 = 6.556 \times 756,6$$

$$T_2 = 5,0 \cdot 10^6 \text{ UO/h}$$

Estes dados referem-se a uma dada condição operacional da empresa, constituindo emissões de um determinado instante.

#### 4.4 DADOS METEOROLÓGICOS

Os dados meteorológicos são da Estação Meteorológica de Foz do Iguaçu, que se encontra a uma distância de, aproximadamente 55 km da chaminé. Os mesmos foram obtidos através do site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2010).

Na Figura 12, é possível observar a distância entre a cidade de Foz do Iguaçu e a chaminé.



Figura 12 - Localização da chaminé do abatedouro em relação à Estação Meteorológica de Foz do Iguaçu.

Para a proposta do estudo, foram selecionados apenas os dados meteorológicos do dia 30 de Julho de 2010, pois o objetivo é verificar o efeito da dispersão atmosférica em duas condições diferentes de emissão. Desta forma, serão avaliadas as concentrações máximas de odores (em  $\text{UO.m}^{-3}$ ) a cada 4 minutos, obtendo valores mais próximos das concentrações instantâneas, o que é interessante no caso de simulação de odores. Portanto, neste caso não houve a necessidade de agregar dados de um intervalo maior.

As medições foram realizadas na chaminé da unidade de graxaria do frigorífico, pela equipe do LCQAr, no dia 30 de Julho de 2010, entre as 16h e 17h. Na seqüência, a Tabela 2 apresenta os dados

meteorológicos da estação automática de Foz do Iguaçu, medidos em superfície, para este dia, obtidos através do INMET. Apenas foram de apresentados os dados de entrada no AERMET.

Tabela 2 – Dados meteorológicos de superfície para entrada no AERMET  
(Fonte: INMET).

Data	Hora	T	HR	PO	P	Vento		Rad.	Ch.
dd/mm/aa	UTC	°C	%	°C	hPA	(m/s)	Dir.º	Kj/m²	mm
30/07/2010	0	19.7	82	16.5	986.8	3.6	67	-3.54	0.0
30/07/2010	1	20.5	75	16.0	987.0	5.4	57	-3.54	0.0
30/07/2010	2	19.9	75	15.3	987.1	6.0	61	-3.54	0.0
30/07/2010	3	19.2	76	14.9	986.9	6.8	61	-3.54	0.0
30/07/2010	4	18.3	76	14.0	986.6	6.3	68	-3.54	0.0
30/07/2010	5	17.8	77	13.7	986.3	6.7	68	-3.54	0.0
30/07/2010	6	17.7	75	13.2	986.1	6.3	70	-3.54	0.0
30/07/2010	7	16.9	79	13.2	985.7	4.6	71	-3.54	0.0
30/07/2010	8	16.7	80	13.1	985.4	6.0	64	-3.54	0.0
30/07/2010	9	16.4	81	13.2	985.4	5.7	68	-3.54	0.0
30/07/2010	10	16.1	84	13.3	985.6	6.0	68	-3.54	0.0
30/07/2010	11	16.3	84	13.5	985.9	6.1	64	21.02	0.0
30/07/2010	12	18.1	78	14.3	986.4	5.8	69	440.3	0.0
30/07/2010	13	20.8	69	14.9	987.0	4.4	66	1143.	0.0
30/07/2010	14	24.4	59	15.9	987.3	3.5	40	1806.	0.0
30/07/2010	15	28.3	38	12.6	986.3	8.3	7	2300.	0.0
30/07/2010	16	29.3	37	13.1	985.1	9.9	2	2562.	0.0
30/07/2010	17	29.0	39	13.8	984.0	6.8	354	2523.	0.0
30/07/2010	18	29.2	39	13.7	982.6	6.6	345	2285.	0.0
30/07/2010	19	29.2	37	13.1	981.5	7.7	343	1924.	0.0
30/07/2010	20	28.7	39	13.3	981.0	6.0	348	1295.	0.0
30/07/2010	21	25.7	50	14.5	981.0	3.9	358	523.7	0.0
30/07/2010	22	23.0	58	14.2	980.7	3.0	360	41.68	0.0
30/07/2010	23	24.0	51	13.2	981.1	5.2	23	-3.53	0.0

T = Temperatura Instantânea; HR = Umidade Relativa Instantânea; PO = Ponto de Orvalho instantâneo; P = Pressão instantânea; Vento instantâneo; Dir. = Direção em graus, sendo 0° à Norte; Rad. = Radiação solar; Ch = chuva.

#### 4.4.1 Inserindo os Dados Meteorológicos no AERMET.

Os dados meteorológicos da Tabela 3 correspondem aos dados exportados em formato Excel®. Porém, o pré-processador do AERMOT reconhece dados meteorológicos apenas nos seguintes formatos:

- SCRAM (MET 144);
- CD-144;
- SAMSON;
- HUSWO (unidades métricas);
- NCDC TD-3505;
- NCDC TD-3280 (em blocos fixos);
- NCDC TD-3280 (em blocos variáveis).

Tabela 3 – Descrição da primeira linha do arquivo tipo SAMSOM  
(Fonte: <http://www.webmet.com/MetGuide/Samson.html>).

<b>Colunas</b>	<b>Elemento</b>	<b>Definição</b>
1	Indicador	Usa-se o “~” Para indicar um registro de cabeçalho
002-006	Número WBAN	Número identificador da estação
008-029	Cidade	Cidade onde a estação está localizada
031-032	Estado	Estado em que estação está localizada
033-036	Zona temporal	O número de horas, através da qual a hora local padrão atrasos ou leva tempo universal.
039-044 039 040-041 043-044	Latitude	Latitude da estação N = norte do equador Graus Minutos
047-053 47 048-050 052-053	Longitude	Longitude da estação W = oeste, E = Leste Graus Minutos
056-059	Elevação	Elevação da estação em metros acima do nível do mar.

Neste trabalho, os dados meteorológicos foram convertidos manualmente para o arquivo no formato SAMSOM, com extensão “.SAM”. No arquivo, também devem ser inseridos os dados de localização da estação meteorológica. Esta extensão de arquivo pode ser aberta e editada como documento simples de texto. O AERMET também reconhece arquivos com extensão “.TXT” desde que estejam com a formatação SAMSOM<sup>5</sup> adequada. A Tabela 4, a seguir, apresenta de forma detalhada as informações contidas na primeira linha do arquivo.

Tabela 4 – Descrição das posições dos dados no formato SAMSOM.

(Fonte: <http://www.webmet.com/MetGuide/Samson.html>).

<b>Posição</b>	<b>Descrição</b>
Inicial	Ano, mês, dia, hora (LST), indicadores de observação
3	Radiação global horizontal (Wh/m <sup>2</sup> )
4	Radiação direta normal (Wh/m <sup>2</sup> )
6	Total cobertura de nuvens <sup>6</sup>
7	Cobertura de nuvens (opacidade) <sup>7</sup>
8	Temperatura do bulbo seco em °C
9	Temperatura do ponto de orvalho em °C
10	Umidade relativa do ar (%)
11	Pressão da Estação (hPA ou mb)
12	Direção do vento (de 0 a 360°)
13	Velocidade do vento (m/s)
19	Profundidade da neve (m)
21	Precipitação horária total (mm)

A identificação da estação meteorológica (número WBAN) é obtida através do site da NCDC<sup>8</sup>.

<sup>5</sup> A descrição da formatação está apresentada no WEBMET no endereço: <http://www.webmet.com/MetGuide/Samson.html>.

<sup>6</sup> A cobertura de nuvens varia de 0 para céu aberto a 10 para céu totalmente coberto.

<sup>7</sup> Montante da cúpula do céu (em décimos), coberta por nuvens, que impedem a observar o céu ou camadas mais altas nuvens.

Na seqüência, foram digitados os dados de superfície. No arquivo SAMSOM, cada posição representa um dado. A Tabela 5 apresenta as posições e a descrição de cada dado utilizado neste trabalho<sup>8</sup>.

Baseado nas formatações de arquivo definidas nas Tabelas 3 e 4 e a partir dos dados do INMET foi construído o arquivo SAMSOM. Os dados meteorológicos do dia 30 de Julho de 2010 foram digitados manualmente nesta formatação para gerar o arquivo. A Figura 13, a seguir, apresenta a imagem do arquivo SAMSOM construído e utilizado neste trabalho.

Contudo, algumas observações devem ser consideradas antes de se criar um arquivo SAMSOM.

a) Dados faltantes.

O formato comporta 21 tipos de dados. Porém, nem todos os dados são disponibilizados em todas as estações meteorológicas e outros não são considerados no AERMET. Os dados negligenciados estão com o caractere 999 (ou semelhante) ou representado por “?0”. Alguns valores também podem ser representados com o algarismo “0” como dado faltante.

b) Radiação solar.

Verificou-se que os algarismos correspondentes ao dado devem ser inseridos duas colunas anteriores à 3ª e 4ª. Como os dados do INMET são disponibilizados em kJ/m<sup>2</sup> deve ser realizada a conversão para Wh/m<sup>2</sup>. Cada Wh corresponde a 3,6 kJ.

---

<sup>8</sup> National Climate Data Center endereço:  
<http://www1.ncdc.noaa.gov/pub/data/igra/igra-stations.txt>.

<sup>9</sup> Maiores informações e descrições dos dados no endereço:  
[www.webmet.com/MetGuide/Samson.html](http://www.webmet.com/MetGuide/Samson.html).

83827\_FOZ - Bloco de notas

Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda

```

~83827 Foz_do_iguacu Br -3 S25 36 W 54 29 231
~YR MO DA HR I 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21
10 07 30 1 0 0 0 0 70 0 70 0 70 0 0 20.6 16.0 75 987 57 5.4 99999. 9999 999999999 9999 99999. 9999 999 0
10 07 30 2 0 0 0 0 70 0 70 0 70 0 0 19.9 15.3 75 987 61 6.0 99999. 9999 999999999 9999 99999. 9999 999 0
10 07 30 3 0 0 0 0 70 0 70 0 70 0 0 19.2 14.9 76 987 61 6.8 99999. 9999 999999999 9999 99999. 9999 999 0
10 07 30 4 0 0 0 0 70 0 70 0 70 0 0 18.3 14.0 76 987 68 6.3 99999. 9999 999999999 9999 99999. 9999 999 0
10 07 30 5 0 0 0 0 70 0 70 0 70 0 0 17.8 13.7 77 986 68 6.7 99999. 9999 999999999 9999 99999. 9999 999 0
10 07 30 6 0 0 0 0 70 0 70 0 70 0 0 17.7 13.2 75 986 70 6.3 99999. 9999 999999999 9999 99999. 9999 999 0
10 07 30 7 0 0 0 0 70 0 70 0 70 0 0 16.9 13.2 79 986 71 4.6 99999. 9999 999999999 9999 99999. 9999 999 0
10 07 30 8 0 0 0 0 70 0 70 0 70 0 0 16.6 13.1 80 985 64 6.0 99999. 9999 999999999 9999 99999. 9999 999 0
10 07 30 9 0 0 0 0 70 0 70 0 70 0 0 16.5 13.2 81 985 68 5.7 99999. 9999 999999999 9999 99999. 9999 999 0
10 07 30 10 0 0 0 0 70 0 70 0 70 0 0 16.0 13.3 84 986 68 6.8 99999. 9999 999999999 9999 99999. 9999 999 0
10 07 30 11 0 0 0 0 70 0 70 0 70 0 0 16.2 13.5 84 986 64 9.9 99999. 9999 999999999 9999 99999. 9999 999 0
10 07 30 12 0 0 0 0 70 0 70 0 70 0 0 18.2 14.3 78 987 69 6.8 99999. 9999 999999999 9999 99999. 9999 999 0
10 07 30 13 0 0 0 6 70 0 70 6 70 0 0 20.8 14.9 69 987 66 9.9 99999. 9999 999999999 9999 99999. 9999 999 0
10 07 30 14 0 0 0 122 70 0 70 122 70 0 0 24.4 15.9 59 987 40 6.8 99999. 9999 999999999 9999 99999. 9999 999 0
10 07 30 15 0 0 0 639 70 0 70 639 70 0 0 28.3 12.6 38 986 7 9.9 99999. 9999 999999999 9999 99999. 9999 999 0
10 07 30 16 0 0 0 712 70 0 70 712 70 0 0 29.3 13.1 37 985 2 6.8 99999. 9999 999999999 9999 99999. 9999 999 0
10 07 30 17 0 0 0 701 70 0 70 701 70 0 0 29.2 13.8 39 984 354 9.9 99999. 9999 999999999 9999 99999. 9999 999 0
10 07 30 18 0 0 0 635 70 0 70 635 70 0 0 29.1 13.7 39 983 345 6.8 99999. 9999 999999999 9999 99999. 9999 999 0
10 07 30 19 0 0 0 534 70 0 70 534 70 0 0 29.3 13.1 37 982 343 9.9 99999. 9999 999999999 9999 99999. 9999 999 0
10 07 30 20 0 0 0 360 70 0 70 360 70 0 0 28.6 13.3 39 981 348 6.8 99999. 9999 999999999 9999 99999. 9999 999 0
10 07 30 21 0 0 0 145 70 0 70 145 70 0 0 25.7 14.5 50 981 358 9.9 99999. 9999 999999999 9999 99999. 9999 999 0
10 07 30 22 0 0 0 12 70 0 70 12 70 0 0 22.9 14.2 58 981 360 6.8 99999. 9999 999999999 9999 99999. 9999 999 0
10 07 30 23 0 0 0 0 70 0 70 0 70 0 0 23.9 13.2 51 981 23 9.9 99999. 9999 999999999 9999 99999. 9999 999 0
10 07 30 24 0 0 0 0 70 0 70 0 70 0 0 19.7 16.5 82 987 67 6.8 99999. 9999 999999999 9999 99999. 9999 999 0

```

Figura 13 – Arquivo SAMSOM construído a partir dos dados meteorológicos do INMET mostrados na Tabela 3.

#### 4.4.2 Dados de Ar Superior

O pré-processador AERMET também incorpora os dados de ar superior (*upper air*), obtidos por meio de radiossondagem, para realizar a modelagem. Os dados foram obtidos diretamente do site do NOAA<sup>10</sup>, que possui a estação meteorológica de Foz do Iguaçu em seus sistemas, que oferece os arquivos no formato FSC, reconhecido diretamente pelo AERMET. No ambiente do site foram solicitados apenas os dados do dia 30 de Julho de 2010.

#### 4.5 PARÂMETROS DE SUPERFÍCIE

O AERMET também possibilita inserir os dados das características de superfície: Albedo, Razão de Bowen e Rugosidade que são estimados de acordo com o uso do solo.

O albedo é a fração da radiação incidente total solar refletida pela superfície de volta para o espaço sem absorção. Varia entre 0,1 para florestas densas e 0,9 para neve fresca.

A Razão de Bowen indica a umidade da superfície. É a razão entre o fluxo de calor sensível e o fluxo de calor latente, usado para determinar os parâmetros da CLP para condições convectivas. O valor varia de 0,1 logo acima da água e 10,0 para deserto ao meio-dia.

A rugosidade corresponde a altura da superfície em que o fluxo horizontal do vento tende a zero. O parâmetro varia desde 0,001 m para superfície acima de águas calmas, até 1,0 m ou mais para florestas ou área urbana.

Na plataforma do AERMET *View* é possível dividir a área de estudo em até 12 setores equidistantes entre si a partir do centro de uma circunferência. Cada setor representa as diferenças no terreno nas diferentes direções que o vento pode soprar.

Inicialmente, deve-se determinar o uso do solo. Para realizar esta avaliação, foram obtidas imagens do Google Earth®. Em seguida, a imagem foi importada para o AERMOD e, após definida a grade de receptores, que será descrita na seção 4.3.4, a imagem foi exportada em arquivo de desenho. O objetivo de exportar o desenho com as linhas de grade é de facilitar a observação do uso do solo. Neste desenho, o uso do solo foi determinado em um de raio de 1 km (escala do desenho)

---

<sup>10</sup> National Oceanic and Atmospheric Administration no endereço: <http://esrl.noaa.gov/raobs/>.

distante da fonte emissora, dividido em quatro setores. A Figura 14, a seguir, apresenta a setorização da área de estudo.



Figura 14 – Os setores da área de estudo e algumas delimitações feitas manualmente. No centro da circunferência, a chaminé.

Segundo o manual do AERMET (2004) os valores de Albedo, Razão de Bowen e Rugosidade variam de acordo com as estações do ano. O modelo apresenta as seguintes descrições de cada estação:

- Primavera: superfície com vegetação emergindo ou parcialmente verde.
- Verão: superfície com vegetação plena.
- Outono: temperaturas relativamente baixas, árvores caducas perdendo a folhagem, solos em exposição após a colheita.
- Inverno: árvores cobertas de neve e temperaturas abaixo de zero. Toda a água superficial é considerada congelada.

Observa-se que as estações do ano propostas pelo modelo, não são adequadas às estações do Brasil. Por este motivo a estação da Primavera foi adotada para estabelecer os parâmetros de superfície, por possuir características que mais se aproximam com a região do local de estudo. A Tabela 5, abaixo, apresenta os valores correspondentes a

estação do ano selecionada. Consideraram-se apenas os parâmetros verificados após a análise da superfície do solo.

Tabela 5 – Valores de Albedo, Razão de Bowen e Rugosidade para as superfícies identificadas na Figura 14.

Parâmetro	Albedo	R. Bowen	Rugosidade
Superfície	Primavera		
Água (doce ou salgada)	0,12	0,1	0,0001
Florestas Coníferas	0,35	0,7	1,3
Terras cultivadas	0,14	0,3	0,01
Urbano	0,35	1,0	1,0

#### 4.6 CONFIGURAÇÃO DOS RECEPTORES

O AERMOD permite a definição de receptores em diferentes distâncias da fonte emissora, em uma altura pré-determinada em relação ao solo.

Neste trabalho, foi configurada uma rede de receptores de forma retangular. Nos primeiros 250 m da fonte foi configurada uma rede com espaçamento a cada 50 m, em uma altura de 1,5 m que corresponde à altura média do nariz humano. Entre 250 m e 1 km da fonte, a rede foi configurada com espaçamento de 100 m, também com altura de 1,5 m.

A Figura 15, a seguir, apresenta a configuração dos receptores sobreposta ao mapa.

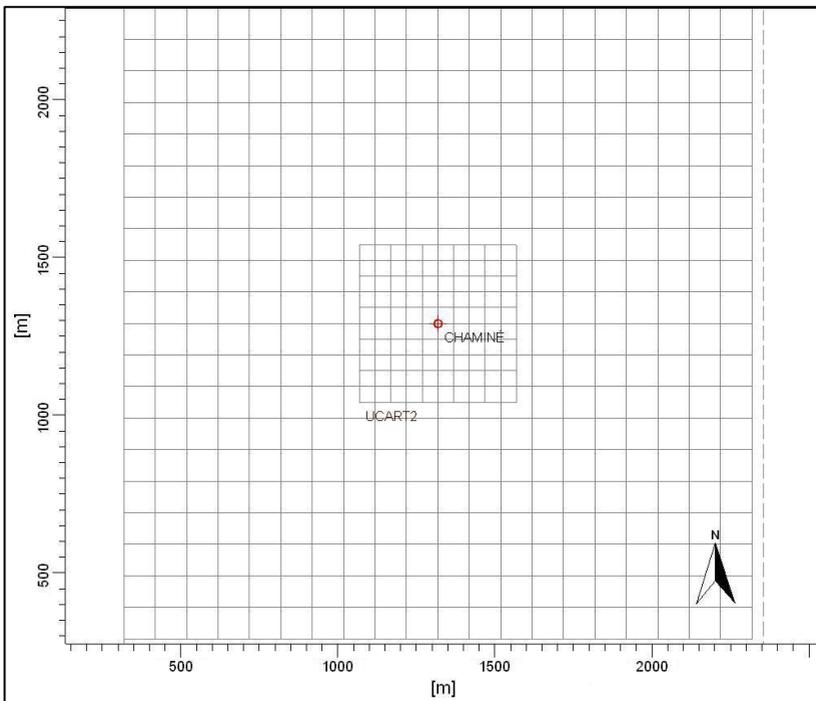


Figura 15 – Configuração de receptores utilizada para área de estudo.

## 4.7 EFETUANDO AS SIMULAÇÕES

Inicialmente, os dados meteorológicos medidos em superfície, de ar superior e os parâmetros de superfície de acordo com o uso do solo foram inseridos no AERMET. Em seguida, os arquivos gerados pelo AERMET com extensão .SFC e .PFL, para superfície e ar superior, respectivamente, foram inseridos no AERMOD. Em seguida foram inseridas as características da fonte e as opções de dados de saída do modelo. Por fim, foram inseridas no AERMOD as características da fonte e processado previamente o AERMAP antes da simulação.

Para rodar o AERMAP, foram utilizados os arquivos obtidos através do site da WEBGIS<sup>11</sup> e o tipo de dado é o SRTM3<sup>12</sup>. O arquivo

<sup>11</sup> Sistema de informações geográficas, endereço [www.webgis.com](http://www.webgis.com).

<sup>12</sup> Shuttle Radar Topography Mission, dados coletados de satélite com precisão de 90 m.

baixado possui extensão .HGT e o *download* é realizado de acordo com a coordenada geográfica do local. Após processar o AERMAP foi possível gerar a Figura 11 do subitem 4.2.

O AERMOD apresenta como resultados as concentrações máximas horárias, com a possibilidade de multiplicar as concentrações por um fator previamente definido. Para avaliar o odor, será avaliada a variação de concentração a cada 4 minutos. Isto, porque a percepção a um estímulo olfativo se dá em um curto intervalo de tempo.

Leduc (2005) recomenda um fator de 1,9 multiplicado às concentrações máximas horárias para se obter as máximas a cada 4 minutos. Este fator é inserido na plataforma do AERMOD View para ser considerado no processo de cálculo do modelo.

Por se tratar de duas avaliações realizadas pelo LCQAr no frigorífico em questão, serão propostos dois cenários de simulação:

**1)** Considerando a taxa de emissão medida em 2009, o qual a empresa estava fora dos padrões previstos na legislação do Paraná. Porém, supondo esta emissão para o dia 30 de Julho de 2010 com os dados meteorológicos deste dia.

**2)** Considerando a taxa de emissão medida em 2010, o qual a indústria apresentava a emissão da fonte em conformidade com a legislação do Paraná.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão descritos os resultados obtidos através das simulações com o AERMET e AERMOD, bem como para os cenários propostos.

### 5.1 AVALIAÇÃO DO USO DO SOLO

Após a análise visual da Figura 14, foi possível estimar um valor aproximado para cada característica proposta pelo AERMET. As Tabelas 6 e 7 apresentam os resultados da observação.

Tabela 6 – Porcentagem das áreas de uso por setor.

Uso do Solo	Setores			
	1	2	3	4
Água (doce ou salgada)	4%	0%	0%	0%
Florestas Coníferas	70%	40%	9%	11%
Terras cultivadas	7%	0%	0%	13%
Urbano	19%	60%	91%	76%
Total	100%	100%	100%	100%

Setor 1: Representa o quadrante de 180° a 90° da circunferência da Figura 14.

Setor 2: Corresponde ao quadrante de 90° a 0° da circunferência da Figura 14.

Setor 3: Corresponde ao quadrante de 0° a 270° da circunferência da Figura 14.

Setor 4: Representa o quadrante de 270° a 180° da circunferência da Figura 14.

Tabela 7 – Valores calculados, considerando a ponderação realizada em função dos diferentes tipos de uso do solo, para a Primavera.

Setor	Albedo	R. Bowen	Rugosidade
1	0,13	0,70	1,10
2	0,13	0,88	1,12
3	0,14	0,97	1,03
4	0,14	0,88	0,91

## 5.2 DADOS METEOROLÓGICOS

O pré-processador AERMET, além de apresentar os resultados para os dados meteorológicos horários medidos em superfície, também imprime a rosa dos ventos, representando os dados meteorológicos inseridos.

A Figura 16, abaixo, apresenta a velocidade e direção dos ventos atuantes no dia 30 de Julho de 2010.

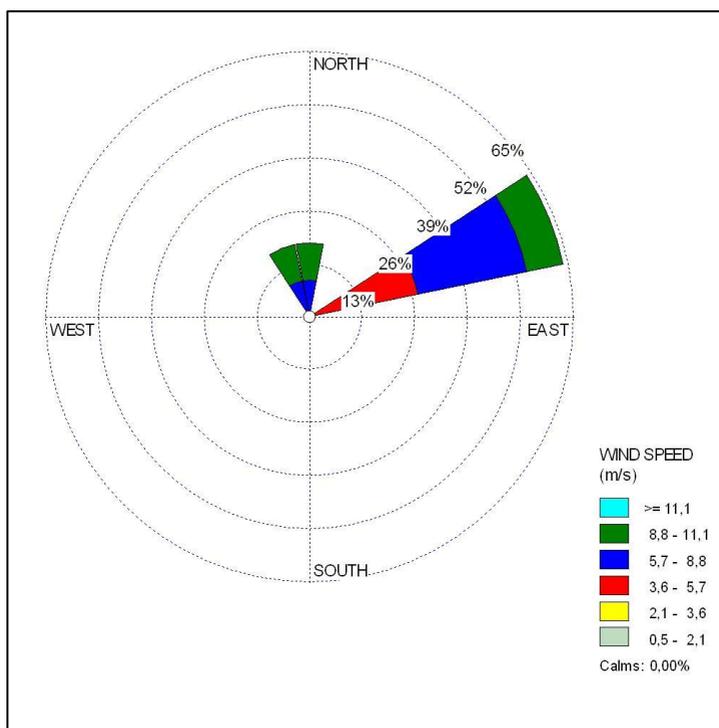


Figura 16 – Rosa dos ventos para os dados meteorológicos horários do dia 30 de Julho de 2010.

Observa-se na Figura 16, que no dia analisado os ventos sopraram na direção Sudoeste, ou seja, com proveniência de Nordeste, entre 60e 75°.

### 5.3 SIMULAÇÕES

Conforme descrito anteriormente na seção 4.3.5, foram realizadas as simulações para dois cenários.

O primeiro cenário representa a taxa de emissão  $T_1$ , medida em 2009.

O segundo cenário aponta para a taxa de emissão  $T_2$ , medida na data de 30 de Julho de 2010.

Para ambos os cenários descritos, foram utilizados os dados meteorológicos do dia 30 de Julho de 2010. Isto, pois o objetivo era verificar a diferença na dispersão da pluma para uma mesma condição meteorológica, mas com diferentes parâmetros de emissão.

A Tabela 8, abaixo, apresenta os parâmetros da fonte emissora para os dois cenários, que foram inseridos no AERMOD View.

Tabela 8 – Parâmetros da fonte emissora

-	h (m)	D (m)	t (°K)	C (UO/m <sup>3</sup> )	Q (m <sup>3</sup> /h)	T (UO/s)
Cenário 1	5,0	0,48	304,4	381.722	880,0	93.310
Cenário 2	5,0	0,48	305,3	6.556	757,0	1.378

h = altura da chaminé em relação ao solo; d = diâmetro interno da chaminé; t = temperatura; C = concentração; T = taxa de emissão odorante.

As imagens apresentadas nas Figuras 17 e 18, a seguir, mostram a dispersão da pluma com as concentrações máximas para 4 minutos para cada simulação dos cenários propostos. O limite da propriedade do frigorífico está destacado pelo polígono azul.

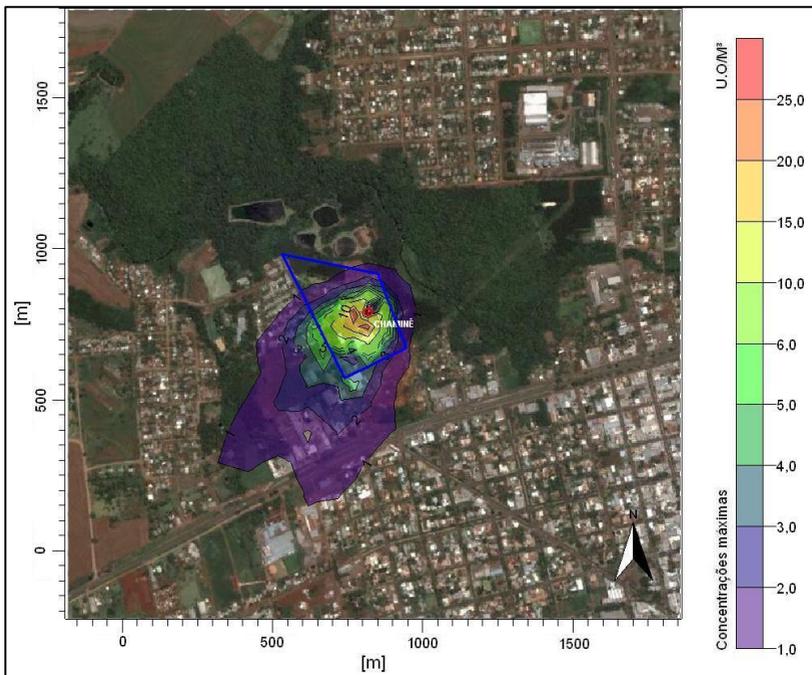


Figura 17 – Cenário 1: Concentrações máximas de odor para 4 minutos.

A imagem representada pela Figura 17 mostra que a pluma de dispersão vai além do limite da propriedade do frigorífico. A concentração máxima encontrada no limite da propriedade da empresa foi de  $6,4 \text{ UO/m}^3$ .

No Canadá, segundo a *Reglement 90* (CUM, 2001), fica restrita a emissão de odor com concentrações superiores a  $1 \text{ UO/m}^3$  fora dos limites da propriedade da indústria que emite os gases odorantes. Em um panorama comparativo com a legislação canadense, neste cenário a empresa estaria fora dos padrões estabelecido pela legislação daquele país.

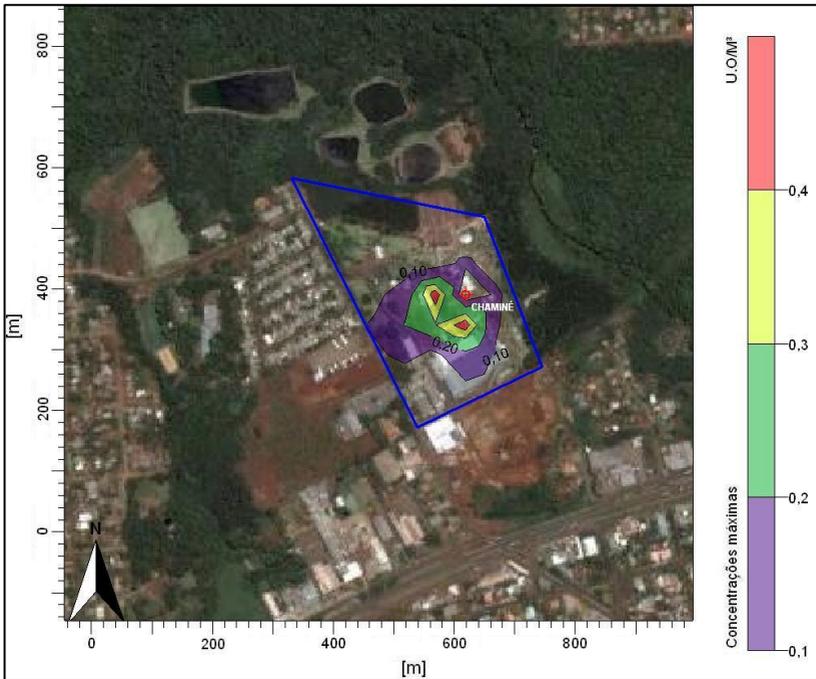


Figura 18 – Cenário 2: Concentrações máximas de odor para 4 minutos.

A Figura 18 mostra que a pluma não ultrapassa os limites da propriedade da indústria para concentrações acima de  $0,1 \text{ UO/m}^3$ . A concentração máxima encontrada foi de  $0,46 \text{ UO/m}^3$ . Analisando a simulação realizada para o segundo cenário, observa-se que a pluma de dispersão apresenta concentrações muito baixas, inferiores a  $1 \text{ UO/m}^3$ , que é o limiar da percepção olfativa humana.

Embora a pluma não atinja altas concentrações de odor, cabe ressaltar foi analisada somente a chaminé da unidade de graxaria da empresa, sendo que há outras fontes odorantes no interior da mesma. Ou seja, não foram contabilizados os efeitos de outras emissões, o que poderia resultar em um panorama diferente.

## 6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Para a campanha de amostragem realizada em 2009, verifica-se que a indústria frigorífica analisada estava emitindo odores em concentrações suficientes para que a população do entorno pudesse reconhecer o caráter do odor (acima de 5 UO/m<sup>3</sup>), dentro das condições estabelecidas neste cenário. Comparando os resultados do primeiro cenário com os padrões da legislação do Estado do Paraná, quando a taxa de emissão odorante era de 335,9.10<sup>6</sup> UO/h, conclui-se que a mesma não era atendida.

No segundo cenário observa-se que a taxa de emissão de odor estava exatamente no limite estabelecido pela legislação paranaense, que é de 5.10<sup>6</sup> UO/h. Ou seja, para avaliação da dispersão de apenas uma chaminé, e na condição meteorológica verificada, a legislação é atendida. Porém, ressalta-se que em 2010 o frigorífico analisado operava em condições diferentes do que em 2009.

Para uma avaliação mais criteriosa da legislação paranaense em relação às emissões de odor, recomenda-se realizar um estudo mais aprofundado, avaliando todas as fontes emissoras de um mesmo empreendimento.

Outra recomendação é a respeito do tratamento de dados compilados neste trabalho. Os dados obtidos do site do INMET foram digitados manualmente em arquivos de texto. Esta metodologia pode ser aplicada com razoável facilidade para estudo em um curto intervalo de tempo (um dia), mas se tornaria inviável um estudo de impacto de maior envergadura, que considerasse alguns anos de dados meteorológicos. Nesses casos, também deve ser realizado um tratamento estatístico mais criterioso nos dados meteorológicos, considerando uma avaliação na consistência desses dados e escolha da estação meteorológica.

O trabalho também impulsionou a equipe do LCQAr a iniciar o desenvolvimento de uma rotina de programação que realiza a conversão de dados exportados do site do INMET em arquivos SAMSOM. Com isso, os estudos de dispersão tornar-se-ão mais simples e independente, uma vez que não haverá a necessidade de recursos financeiros para adquirir os dados meteorológicos já no formato SAMSOM, que também são comercializados pela *Lakes Environmental Software*, mesma empresa que construiu a interface do *AERMOD View*.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AERMET. *User's guide for the aermod meteorological preprocessor (AERMET)*, 2004. Desenvolvido por U.S. Environmental Protection Agency. Disponível em:

[www.epa.gov/scram001/7thconf/aermod/aermetugb.pdf](http://www.epa.gov/scram001/7thconf/aermod/aermetugb.pdf). Acesso em: 19/10/2010.

AERMOD. *Description of model formulation*. (2004). Desenvolvido por U.S. Environmental Protection Agency. Disponível em [http://www.epa.gov/ttn/scram/7thconf/aermod/aermod\\_mfd.pdf](http://www.epa.gov/ttn/scram/7thconf/aermod/aermod_mfd.pdf).

ASSUNÇÃO, J. V. Poluição Atmosférica. In: CASTELHANO, E. G. **Desenvolvimento Sustentado: problemas e estratégias**. São Paulo: Academia de Ciências do Estado de São Paulo, 1998. 308 p.

BARBON, A. **Simulação das emissões atmosféricas sobre o município de Araucária com uso do modelo AERMOD**. / Amarildo Barbon. Curitiba, 2008. 172 f.: il. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão Ambiental)– Universidade Positivo, 2008.

BRASIL, Governo do Estado de Goiás. **DECRETO N° 1.745**, de 06 de dezembro de 1979, (Art. 39). Dispõe sobre a Prevenção e o Controle da Poluição do Meio Ambiente.

BRASIL, Governo do Estado de Santa Catarina. **DECRETO N° 14.250**, de 05 de junho de 1981. Regulamenta dispositivos da Lei n° 5.793, de 15 de outubro de 1980, referentes à proteção e a melhoria da qualidade ambiental.

BRASIL, Governo do Estado de Santa Catarina. **LEI N° 14.675**, de 13 de abril de 2009. Institui o Código Estadual do Meio Ambiente e estabelece outras providências.

BRASIL, Governo do Estado de São Paulo. **DECRETO N° 8.468**, de 08 de setembro de 1976, (Art. 33). Dispõe sobre a Prevenção e o Controle da Poluição do Meio Ambiente.

CANADÁ, Conseil de la Communauté urbaine de Montréal (CUM). **RÈGLEMENT 90-6. Règlement modifiant le règlement 90, tel que déjà modifié, relatif à l'assainissement de l'air. 2001.**

CAPUTO, M., GIMENEZ, M., SCHLAMP, M. **Intercomparison of atmospheric dispersion models.** *Atmospheric Environment*. San Carlos de Bariloche, Argentina. v. 37. p. 2435 – 2449, 2003.

CARMO JUNIOR, G. N. da R. **Otimização e aplicação de metodologias para análises olfatométricas integradas ao saneamento.** Tese (Doutorado)– Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Florianópolis, 2005. 1 v

CARVALHO, C. M. **Odor e biodesodorização em reatores anaeróbios.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Florianópolis, 2001. 85 f.

CAVALINI, P. M. **Industrial Odorants: The Relationship between Modeled Exposure Concentrations and Annoyance.** *Archives of Environmental Health*. The Netherlands, v.49, n.5, p.344-351. 1994.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, São Paulo. **Relatório de qualidade do ar no Estado de São Paulo 1996.**

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, São Paulo. **Graxarias Processamento de Materiais de Abatedouros e Frigoríficos Bovinos e Suínos, 2006.**

CONAMA (1990), Resolução CONAMA nº 03, Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no – PRONAR – Data da Legislação: 28/06/90 – Publicação DOU: 22/08/90.

DE MELO LISBOA, H. **Controle da poluição atmosférica, 2008.** Universidade Federal de Santa Catarina. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental.

DERISIO, J.C. **Introdução ao controle de poluição ambiental** 3. Ed. São Paulo : Signus Editora, 2007.

EPA – Environmental Protection Agency. **AERMOD: Description of model formulation.** 2004. disponível em <[http://www.epa.gov/scram001/7thconf/aermod/aermod\\_mfd.pdf](http://www.epa.gov/scram001/7thconf/aermod/aermod_mfd.pdf)> Acesso em: Setembro de 2010.

FRECHEN, F. B. **Odour emissions of wastewater treatment plants in West Germany.** Water Science and Technology, vol 30, 1994.

GODISH, T. **Air Quality.** 2. ed. Chelsea: Lewis, 1991.

GOSTELOW, S. A., PARSON, S. A., STUETZ, R. M. **Odour Measurements for Sewage Treatment works.** Water Res. V. 35, n. 3, p. 579-597. 2001.

HOLMES, N., MORAWSKA, L. **A review of dispersion modelling and its application to the dispersion of particles:** An overview of different dispersion models available. *Atmospheric Environment.* v. 40. p. 5902 – 5928, 2006.

INMET – **Instituto Nacional de Meteorologia.** Disponível em [www.inmet.gov.br](http://www.inmet.gov.br) acessado em 02 de Novembro de 2010.

KEMP,D.D. **Global Environment Issues - A Climatological Approach.** 2 ed.USA, Routledge, 1994.

LEDUC, R. **Guide de La Modélisation de La Dispersion Atmosphérique.** Direction du suivi de l'état de l'environnement, 2005. Disponível em: <http://www.mddep.gouv.qc.ca/publications/2005/ENV20050072.htm>.

LORA, E. S. **Prevenção e controle da poluição nos setores energéticos, industrial e de transporte.** Brasília DF: ANEEL, 2000.

MCGINLEY, C. M. e MCGINLEY, M. A. **An odor index scale for policy and decision making using ambient & source odor concentrations.** Artigo. WEF/A&WA Odors and Air Emissions. Water Environment Federation. p. 244-255, 2006.

MORAES, M. R. **Ferramenta para a previsão de vento e dispersão de poluentes na micro-escala atmosférica** Tese para obtenção de título de doutor em Engenharia Mecânica – Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.

MUNIZ, A. C. S. **Investigação do limite de percepção olfativa por olfatométria e por cromatografia gasosa-espectrométria de massa.** Florianópolis, 2007. 156 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental

NUVOLARI, A., TELLES, D. D., RIBEIRO, J. T., *et al.* **Esgoto Sanitário: Coleta, Transporte, Tratamento e Reuso Agrícola.** Editora Edgard Blücher Ltda. 2003. 520 p.

PIRES, D. O. **Inventário de Emissões Atmosféricas de Fontes Estacionárias e sua Contribuição para a Poluição do Ar na Região Metropolitana do Rio de Janeiro** [Rio de Janeiro] 2005 VI, 188 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, M. Sc., Planejamento Energético, 2005) Tese - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE

SCHIFFMAN, S., MILLER, S. A., SUGGS, B. G. **The Effect of Environmental Odors Emanating From Commercial Swine Operations on the Mood of Nearby Residents.** Brain Research Bulletin, v. 37, n. 4, p. 369-375, 1995.

SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS DO PARANÁ (SEMA). **Resolução Sema 041, de 17 de dezembro de 2006:** Estabelece padrões de emissões atmosféricas. 2006.

SILVA, G. P. **Avaliação de incômodos olfativos emitidos pela suínocultura:** estudos na bacia hidrográfica do rio dos Fragosos e na região urbana do município de Concórdia. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental.- Universidade Federal de Santa Catarina Centro Tecnológico Florianópolis, 2002. 108f.

SOARES, S. R. **Gestão ambiental** ENS 5125, 2008. Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental.

WebGIS. *Geographic Information Systems Resource - GIS*. Desenvolvida por *Lakes Environmental Software*. Disponível em: [www.webgis.com](http://www.webgis.com). Acesso em: 17/11/2010.

ZANNETTI, P.. **Air Pollution Modelling: theories, computational methods and available software**. New York. Van Nostrand Reinhold. 1990.

ZURITTA, M. L. L., De LUCA, S. J. RODRIGUEZ, M. T. R. **Avaliação do odor gerado por fonte estacionária, através da implantação de uma rede de monitoramento de incidência de odores**. 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1999, Rio de Janeiro, p. 2832-2841.