

**Universidade Federal de Santa Catarina  
Curso de Graduação em Engenharia Sanitária - Ambiental**

**AVALIAÇÃO DE ODORES EM ATERROS SANITÁRIOS E  
CERTIFICAÇÃO DE UM JURI À OLFATOMETRIA**

**Marina Eller Quadros**

**FLORIANÓPOLIS, (SC)  
FEVEREIRO/2004**

**Universidade Federal de Santa Catarina  
Curso de Graduação em Engenharia Sanitária - Ambiental**

**AVALIAÇÃO DE ODORES EM ATERROS SANITÁRIOS E  
CERTIFICAÇÃO DE UM JURI À OLFATOMETRIA**

**Marina Eller Quadros**

**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**

**FLORIANÓPOLIS, (SC)  
FEVEREIRO/2004**

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

**AVALIAÇÃO DE ODORES EM ATERROS SANITÁRIOS E CERTIFICAÇÃO  
DE UM JURI À OLFATOMETRIA**

**MARINA ELLER QUADROS**

**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)**

---

**Prof. Dr. Paulo Belli F<sup>o</sup>**

---

**MSc. Gersina Nobre da Rocha**

**FLORIANÓPOLIS, (SC)  
FEVEREIRO/2004**

*Dedico este trabalho aos meus pais Renato e Lourdes,  
aos meus irmãos Luiz Henrique e Eduardo  
e ao meu namorado Joe,  
meus grandes incentivadores e  
maior inspiração  
em tudo o que faço.*

*Agradeço a ajuda do meu orientador, Professor Henrique de Melo Lisboa e dos amigos Jim & Karen Lacey, que, de diferentes maneiras, permitiram a realização deste trabalho no exterior.*

*Também agradeço ao M. Thierry Pagé e a sua equipe na Odotech e na École Polytechnique de Montreal que me auxiliaram a fazer um bom trabalho.*

## **RESUMO**

Dois estudos de caso foram realizados com o objetivo terminal de conhecer e demonstrar a utilização de técnicas que envolvem a caracterização de odores como poluentes. No primeiro estudo foram avaliados os parâmetros atmosféricos que influenciam a emissão de odores por aterros sanitários em um estudo de caso, utilizando o metano como parâmetro indicador de odores. Os resultados obtidos mostraram que é possível utilizar medições de concentração de metano em biogás para estimar a concentração de odor emitida por aterros sanitários desde que a medição de concentração de metano seja feita nas mesmas condições físicas em que as amostras de ar para olfatométrica são coletadas (em câmara de fluxo dinâmica). Foi também estabelecida uma relação entre a emissão de metano e a variação de temperatura, velocidade do vento e pressão atmosférica, mas os resultados não foram suficientemente determinantes para validar esta relação, devido ao tamanho da amostra. No segundo estudo de caso um grupo de pessoas foi avaliado para a formação de um júri de olfatométrica de acordo com a norma europeia EN 13725 :2003. Dentre as quatro pessoas avaliadas, uma foi reprovada.

Palavras-chave: Metano, Odor, Aterro Sanitário, Olfatométrica, Certificação de Júri.

## **ABSTRACT**

For this paper, two case studies were accomplished with the objective of learning and demonstrating techniques that involve the characterization of odors as pollutants. In the first study, the atmospheric parameters that may influence odor emission of landfills were analyzed, using methane as an odor tracer. The results showed that it is possible to use methane concentration measurements in biogas to estimate the odor concentration in landfill gas emissions, but only if the concentration measurement is taken in the same physical conditions that the samples for olfactometry are collected (with flux chamber). A relation between methane emissions and temperature, wind speed and atmospheric pressure variations was also established. The results in these relationships were not sufficiently significant to validate it, due to the sample size. In the second case study, a group of persons was certified to participate in an olfactometry jury, according to the European Community Norm EN 13725:2003. Of the four people tested, one was not approved.

Keywords: Methane, Odors, Landfill, Olfactometry, Jury Certification.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>2</b>
2.1	OBJETIVOS GERAIS .....	2
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS – ESTUDO DE CASO 1 .....	2
2.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS – ESTUDO DE CASO 2.....	3
<b>3</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>3</b>
3.1	ODORES E O APARELHO OLFATIVO HUMANO.....	3
3.1.1	<i>As substâncias odorantes e suas principais características .....</i>	<i>3</i>
3.1.2	<i>O aparelho olfativo humano .....</i>	<i>5</i>
3.1.3	<i>A lei de Stevens .....</i>	<i>9</i>
3.1.4	<i>Principais fontes emissoras de odores.....</i>	<i>10</i>
3.2	MEDIÇÃO DE ODORES .....	11
3.2.1	<i>Análise físico-química .....</i>	<i>12</i>
3.2.2	<i>O nariz eletrônico.....</i>	<i>13</i>
3.2.3	<i>Análise olfatométrica.....</i>	<i>14</i>
3.3	OLFATOMETRIA COM USO DE OLFATÔMETRO .....	16
3.3.1	<i>Amostragem .....</i>	<i>17</i>
3.3.2	<i>Diluição da amostra .....</i>	<i>21</i>
3.3.3	<i>Equipamentos existentes .....</i>	<i>22</i>
3.3.4	<i>O Juri.....</i>	<i>23</i>
3.4	NORMATIZAÇÃO DA OLFATOMETRIA .....	23
3.5	CERTIFICAÇÃO DE JURI CONFORME A NORMA EN: 13725:2003 .....	24
3.5.1	<i>Algumas definições segundo esta norma .....</i>	<i>24</i>
3.5.2	<i>Código de conduta do painel.....</i>	<i>25</i>
3.5.3	<i>Seleção dos jurados segundo variabilidade e sensibilidade individuais .....</i>	<i>26</i>
3.6	A PROBLEMÁTICA DOS ODORES EM ATERROS SANITÁRIOS .....	27
3.7	O METANO COMO INDICADOR DE ODORES .....	27
3.7.1	<i>Os fatores meteorológicos que influenciam a emissão de metano.....</i>	<i>28</i>
3.8	DISPERSÃO DE ODORES NA ATMOSFERA .....	29
3.8.1	<i>O modelo Gaussiano de dispersão .....</i>	<i>31</i>
3.9	ASPECTOS LEGAIS.....	31
3.9.1	<i>A legislação brasileira sobre odores .....</i>	<i>31</i>
3.9.2	<i>A legislação internacional sobre odores .....</i>	<i>32</i>
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>33</b>
4.1	LOCAL DE TRABALHO.....	34
4.2	AVALIAÇÃO DA EMISSÃO DE ODORES EM ATERROS SANITÁRIOS UTILIZANDO O METANO COMO INDICADOR .....	34
4.2.1	<i>Instrumentação e calibração .....</i>	<i>35</i>
4.2.2	<i>Coleta de dados .....</i>	<i>35</i>
4.2.3	<i>Correlação entre os parâmetros medidos.....</i>	<i>38</i>
4.2.4	<i>Resultados obtidos.....</i>	<i>39</i>
4.3	CERTIFICAÇÃO DE JURI .....	44
4.3.1	<i>O aparelho utilizado .....</i>	<i>44</i>
4.3.2	<i>Realização dos testes .....</i>	<i>46</i>
4.3.3	<i>Resultados obtidos.....</i>	<i>47</i>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>49</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>50</b>
<b>7</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>56</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: <i>Principais famílias de substâncias odoríferas.</i> .....	4
Tabela 2: <i>Classificação das medidas sensoriais.</i> .....	14
Tabela 3: <i>frequência de exposição da população à odores ambientais.</i> .....	15
Tabela 4: <i>Intensidade de odor para 1-piridina e butanol.</i> .....	16
Tabela 5: <i>Coefficientes de correlação</i> .....	42
Tabela 6: <i>Resumo dos resultados MCI x (T,V,P).</i> .....	42
Tabela 7: <i>Resumo dos resultados MCC x (T,V,P).</i> .....	43

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: <i>Detalhe do trato olfatório humano.</i> .....	6
Figura 2: <i>Esquema do processo de percepção de odores.</i> .....	7
Figura 3: <i>Adaptação do ser humano ao estímulo constante de um odor.</i> .....	8
Figura 4: <i>Função da Lei de Stevens</i> .....	9
Figura 5: <i>Limites de odores admissíveis em unidades de odor (<math>ou_E</math>)</i> .....	10
Figura 6: <i>Técnica do pulmão para amostragem de ar.</i> .....	18
Figura 7: <i>Representação esquemática de uma câmara de fluxo dinâmica.</i> .....	20
Figura 8: <i>Representação esquemática de um túnel de vento</i> .....	21
Figura 9: <i>Nasal Ranger</i> .....	22
Figura 10: <i>Vista de cima de uma pluma</i> .....	29
Figura 11: <i>Variação na concentração em uma pluma com o tempo.</i> .....	30
Figura 12: <i>TVA-1000</i> .....	35
Figura 13: <i>Medição da concentração de metano com câmara.</i> .....	36
Figura 14: <i>Saco de TEDLAR<sup>REG</sup></i> .....	37
Figura 15: <i>Montagem para coleta de amostra de ar</i> .....	37
Figura 16: <i>Relação linear MCIxFluxo de Odor.</i> .....	39
Figura 17: <i>Relação linear MCIxFluxo de Odor.</i> .....	40
Figura 18: <i>Relação Fluxo Metano x Fluxo de Odor</i> .....	41
Figura 19: <i>Nova relação Fluxo Metano x Fluxo de Odor</i> .....	41
Figura 20: <i>Interface do olfatômetro Odile<sup>REG</sup></i> .....	45

## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

<i>apud</i>	(latim) “citado por”
CEN	Comitê Europeu de Normalização
CG-EM	Cromatografia Gasosa acoplada com uma unidade de Espectrometria de Massa
CH <sub>4</sub>	Metano
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
COV	Composto Orgânico Volátil
DFLP	Distribuição de Frequência à Longo Prazo
DNA	É a substância que define a informação genética de seres vivos
DNPH	di-Nitrofenilhidrazina
ETE	Estação de Tratamento de Esgotos
ETA	Estação de Tratamento de Água
FEP	Tetrafluoretileno hexafluoropropileno copolímero
FID	Detector por ionização de chama ( <i>flame ionization detector</i> )
H <sub>2</sub> S	Ácido Sulfídrico
MCC	Medição de concentração de metano com câmara simplificada
MCI	Medição instantânea de concentração de metano
m/s	Metros por segundo
( $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ )	Micrograma por nanômetros cúbicos
NPD	Detector de Fósforo-Nitrogênio
ou <sub>E</sub>	Unidade de Odor européia
P <sub>atm</sub>	Pressão atmosférica
PET	Polietileno tereftalato
ppmv	Partes por milhão em volume
ppb	Partes por bilhão
PTFE	Politetrafluoretileno
PVF	Polivinilfluorido
QMB	Microbalanço de quartzo ( <i>quartz microbalance</i> )
TVA-1000	Aparelho para medição instantânea de vapores tóxicos

## 1 INTRODUÇÃO

A habilidade de perceber odores é, para o ser humano, um fator muito importante que o permite reconhecer, identificar e qualificar elementos ao seu redor. Além disso, fragrâncias revelam a qualidade do ar: perfumes agradáveis, emanações enjoativas, alarmes de toxicidade. Os odores também são utilizados como uma forma de advertir ao perigo, fator ilustrado pelo traçador adicionado ao gás natural (Hermia *et. al.*, 1994a). Segundo Pagé e Guy (1997), o DNA humano possui 1 gene responsável pela audição, 3 pela visão, 12 pelo paladar e 1000 pela olfação.

E assim como a consciência empresarial com o meio ambiente e com emissões poluentes surgiu através de reclamações por parte do público e de clientes cada vez mais exigentes, a preocupação sobre emissões odorantes por diversas indústrias surge da mesma forma. Através do que foi descrito em diversos artigos (Zavras, 2003, Bowly, 2003 e Sentante *et.al.*, 2003, por exemplo), reclamações em relação à presença de odores são divulgadas com força e regularidade suficientes para justificar que ações urgentes sejam tomadas por autoridades reguladoras e pela indústria.

Segundo Van Harrenveld (2003) não foram as doenças, mas sim o cheiro de rio Thames, que fez com que o parlamento britânico decidir por permitir a construção dos principais coletores de esgoto, após o “*big stink*” do verão de 1858. Nesta época, as cortinas das casas do parlamento eram lavadas com “*cloreto de limão*” para combater os odores. Apesar destas tentativas, o parlamento foi fechado em 1858 devido ao “*odor insuportável*” do rio Thames.

Em estudos de impacto de odor, as técnicas de olfatometria são fundamentais. Estas consistem na detecção e caracterização de odores num determinado ambiente e têm como principal instrumento a olfação humana. Pode-se afirmar, portanto, que o uso da olfatometria surgiu da grande importância que os odores têm na vida humana. Enquanto as papilas gustativas podem detectar apenas cinco sabores básicos (doce, salgado, azedo, amargo e adstringente), as cerca de 50 milhões de células receptoras existentes na cavidade nasal do homem podem detectar mais de 10.000 diferentes odores encontrados na natureza (Pagé e Guy, 1997).

O *olfatômetro* é um equipamento eletrônico cuja principal função é determinar a intensidade do odor presente num determinado ambiente. Sua utilidade consiste na diluição da mistura odorante a ser analisada com um gás inodoro e na sua disposição ao nariz humano com vazão e tempo pré-determinados. Este procedimento permite também identificar os limites de percepção humana a uma certa amostra odorante. Assim, suas aplicações vão desde o controle da qualidade de produtos durante o seu processo produtivo (como em indústrias alimentícias e de cosméticos) até a quantificação – em “unidades de odor” – e a qualificação de odores emitidos por indústrias na sua vizinhança. A partir do conhecimento destes limites, é possível saber a quanto uma indústria deve reduzir as emissões odorantes para o maior conforto da vizinhança e cumprimento de legislação, ou ainda, saber a performance de produtos cuja utilidade está associada à presença de odores agradáveis ou eliminação de maus odores.

Na realização de estudos de impacto de odor, três estágios podem ser definidos como essenciais: (1) Amostragem; (2) Análise olfatométrica / Físico-química e (3) Estudo da dispersão de odores utilizando modelação computacional (Pagé e Guy, 1997). Assim, a análise olfatométrica, juntamente com a caracterização química do ar, é um procedimento chave na análise da qualidade do ar ambiental ou interno em relação à presença de odores. Como exemplo de uma fonte emissora de odores pode-se citar os aterros sanitários.

Neste trabalho é descrita a realização de dois estudos de caso que, em conjunto, visam prover compreensão e servir como fonte de pesquisa sobre os fatores ambientais atuantes nas emissões odorantes em aterros sanitários e a técnica olfatométrica de análise de odores através da certificação de um júri. Estes estudos de caso são nomeados:

- Estudo de Caso 1: Avaliação de parâmetros atmosféricos que influenciam a emissão de odores em aterros sanitários utilizando o gás metano como substância indicadora;
- Estudo de Caso 2: Certificação de um júri para olfatometria de acordo com a norma EN 13725:2003 (Qualidade do ar: Determinação da concentração de odores através de olfatometria dinâmica).

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVOS GERAIS**

Avaliar parâmetros atmosféricos que influenciam a emissão de odores por aterros sanitários em um estudo de caso, utilizando o metano como parâmetro indicador de odores; Certificar um grupo de pessoas na formação de um júri de olfatometria de acordo com a norma europeia EN 13725 : 2003.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS – ESTUDO DE CASO 1**

- Coletar dados a campo:
  - Medição dos níveis de concentração de Metano em um ou mais aterros sanitários;
  - Observação de parâmetros meteorológicos – pressão atmosférica, velocidade do vento, temperatura do ar;
- Estabelecer a correlação entre a concentração de CH<sub>4</sub> e a concentração de odores em amostras coletadas com câmara de fluxo e apresentadas a um júri em olfatometria;
- Tratar estatisticamente dos dados para construir um modelo matemático que descreva a relação entre a concentração de metano na superfície do terreno e parâmetros atmosféricos e; entre esta relação e a concentração de odores medida em olfatometria;
- Interpretar os resultados obtidos no estudo de caso: variação da emissão de odores em aterros sanitários de acordo com as condições meteorológicas locais.

### **2.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS – ESTUDO DE CASO 2**

- Realizar de 10 testes de júri em olfatômetro tendo como substância de referência o n-butanol em três dias em procedimento definido pela norma da comunidade europeia EN 13725:2003;
- Analisar dos resultados obtidos nos testes conforme definido pela mesma norma;
- Escolher dos jurados através dos critérios da norma CEN para a formação de júri certificado;

## **3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **3.1 ODORES E O APARELHO OLFATIVO HUMANO**

#### **3.1.1 AS SUBSTÂNCIAS ODORANTES E SUAS PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS**

O homem, assim como outros animais, possui a habilidade de perceber a presença de compostos no ar através da olfação. Este sentido existe provavelmente devido à necessidade primordial do ser humano encontrar seu alimento e se defender de predadores. Ainda hoje, esta habilidade tem uma grande importância na manutenção da integridade física do homem, seja através do auxílio na escolha de um alimento ou produto, ou ainda na percepção de compostos estranhos no ar atmosférico que possam representar perigo.

O *odor* é definido por Belli F<sup>o</sup> e Lisboa (1998) como uma mistura de moléculas voláteis de origem orgânica ou mineral com propriedades físico-químicas distintas que afetam sensorialmente a mucosa nasal. Assim, podemos apenas perceber as substâncias voláteis e solúveis em água, que evaporam facilmente. Segundo Kowal (1993) *apud* Ribeiro (2002), os compostos odorantes podem ser divididos em três grandes famílias, distinguindo-se em:

- Compostos nitrogenados;
- Moléculas oxigenadas;
- Compostos sulfurados.

Os principais compostos gasosos responsáveis por maus odorantes, exceto os fluoretos, compostos de Cloro e gases ácidos em geral, são então classificados nestas categorias, conforme a Tabela 1.

Ramel (1994) subdivide os compostos odorantes em 4 grupos: (1) os compostos sulfurados reduzidos, (2) Amônia e Aminas, (3) Aldeídos e Cetonas e (4) Ácidos Orgânicos. No Anexo 1 podem ser observadas detalhadamente as características e os limites de percepção dos compostos odorantes mais estudados nas famílias dos compostos nitrogenados, oxigenados e sulfurados.

Tabela 1: Principais famílias de substâncias odoríferas.

<b>Compostos nitrogenados</b>	<b>Moléculas oxigenadas</b>	<b>Compostos sulfurados</b>
Aminas Uréia Amônia	Aldeídos Álcoois Fenóis Cetonas Hidrocarbonetos (aromáticos) Óxidos de Nitrogênio Dióxido de Enxofre <sup>1</sup>	Gás Sulfídrico Mercaptanas Sulfetos Dióxido de Enxofre <sup>1</sup>

Adaptado de Ribeiro (2002).

Como cada substância odorífera se difere em forma molecular e família, o tipo de resposta que o organismo humano tem também varia conforme o tipo de composto presente na atmosfera. Esta resposta pode ser uma reação – de agrado, desagrado ou indiferença – que o indivíduo apresenta em relação ao composto ou até mesmo a sua percepção em si.

Os efeitos para a saúde de grandes exposições a substâncias odorantes também variam de acordo com o tipo de substância. Como os compostos odorantes são naturalmente inalados, estes podem ser absorvidos pela corrente sanguínea e causar diversos males dependendo da sua origem.

Mesmo os compostos puramente odorantes, que não causam intoxicação no homem, podem tornar-se causas de incômodos em relação à saúde geral. Conforme Cabalini *apud* Silva (2002), existe uma correlação positiva entre a concentração de odores em ambientes industriais e os incômodos causados às pessoas a eles expostas. Este mesmo autor cita entre estes incômodos os sócio-emocionais (alterações nas relações sociais do indivíduo e de seu bem-estar emocional) e os somático-vegetativos (distúrbios físicos do sono, alimentação e dores de cabeça), verificados em indivíduos expostos a odores de indústrias de tabaco, açúcar e resíduos. No Anexo 2, são descritos os efeitos à saúde do H<sub>2</sub>S, um composto odorante (Lockhart, 2001).

Entretanto, outros autores consideram que os odores em si não são considerados causa de nenhum tipo de doença, mesmo que sintomas como incômodo, ansiedade e frustração possam ser observadas. Segundo Witherspoon (2003), os seguintes fatores sobre a reação de odores por seres humanos podem ser citados:

- 1) A sensação de mau odor em si não causa sinais de doença;
- 2) A aceitabilidade/inaceitabilidade de certos odores varia sistematicamente e previsivelmente de acordo com as circunstâncias de exposição e no significado relacionado com o a exposição ao odor;
- 3) Abaixo dos limites tóxicos de exposição, sintomas associados com odores não envolvem qualquer tipo de patologia;
- 4) A remoção da fonte do odor resulta em uma redução imediata dos sintomas;

---

<sup>1</sup> O Dióxido de Enxofre participa das duas categorias por possuir ambos elementos – oxigênio e enxofre – na sua composição.

- 5) Variáveis psicológicas como ansiedade resumem os sintomas de exposição a odores.

### 3.1.2 O APARELHO OLFATIVO HUMANO

Godinot *apud* Silva (2002) cita que o sistema olfativo humano conduz ao cérebro informações sobre as substâncias químicas presentes no ambiente. Este participa da localização dos alimentos, identifica congêneres e ainda estabelece relações de comunicação com conseqüências importantes sobre a organização social humana e animal, onde informações olfativas são responsáveis por numerosos e variados comportamentos.

O aparelho olfativo humano, ainda que muito subjetivo e variável de um indivíduo ao outro, é o melhor instrumento de percepção de odores existente na atualidade. Este é capaz de perceber o odor que resulta da presença de uma infinidade de diferentes compostos, de formas e tamanhos singulares, misturados no ambiente, mesmo que em diminuta quantidade (Silva,2002).

Em vertebrados terrestres, as células receptoras olfativas estão localizadas no topo da cavidade nasal, a chamada *mucosa olfativa*, em um sub-ramal do canal respiratório. Formadas pela união de uma célula nervosa com uma célula receptora, as células olfativas, e, portanto chamadas de neuro-receptoras, ocorrem unicamente em vertebrados.

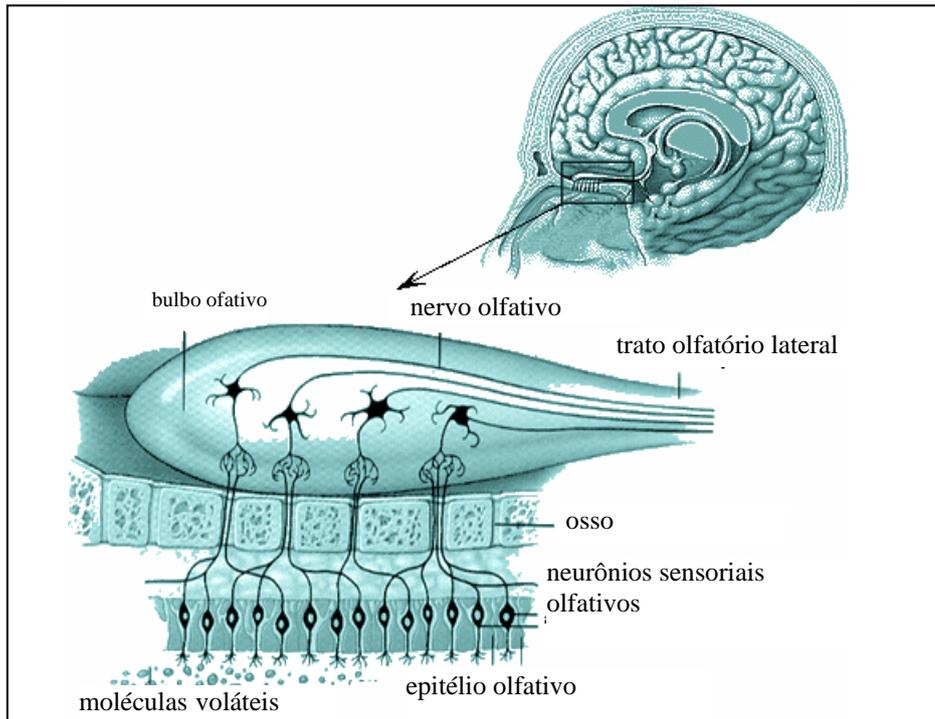
A habilidade de perceber odores está relacionada a 4 grupos de comportamento (Laffort, 1994):

- 1) Comportamento Alimentar;
- 2) Comportamento de Alarme;
- 3) Comportamento Reprodutivo;
- 4) Comportamento Social.

Segundo Aires (1999), a capacidade de discriminar estes diversos compostos e misturas de compostos depende de uma série de etapas de processamento que ocorrem em diferentes estruturas ao longo do sistema olfativo (Figura 1): epitélio olfativo do nariz (mucosa olfativa), bulbo olfatório e estruturas hierarquicamente superiores, que recebem a informação proveniente do bulbo olfatório.

No homem, o nariz é dividido em regiões distintas: o septo mediano, as cavidades esquerda e direita, que se comunicam com as narinas exteriores (Odorizzi e Zorzi *apud* Silva, 2002). O epitélio olfativo do nariz, onde se localizam os neurônios sensoriais olfativos, possui uma área superficial de 2 a 3 cm<sup>2</sup> e se encontra na região mais alta das fossas nasais.

Figura 1: Detalhe do trato olfatório humano



Fonte: [www.sciencenet.net](http://www.sciencenet.net)

O primeiro passo envolvido na sensibilidade olfativa ocorre nos neurônios sensoriais olfatórios, que compõem o epitélio olfatório. Estes são células nervosas bipolares com vida média de 30 a 60 dias, sendo continuamente substituídos (Aires,1999).

Substâncias presentes no ar são “amostradas” na inspiração, ou seja, o ar é carregado para a cavidade nasal e estes compostos então se ligam a receptores específicos nos cílios destes neurônios. Esta circunstância dá origem a uma cascata de eventos que culmina na geração de potenciais transmitidos para o bulbo olfatório, que processa e refina a informação obtida (Aires,1999).

O acesso do ar à cavidade nasal também pode ser feito pela via retro-nasal. Isto é realizado na degustação de alimentos, através de movimentos de deglutição seguidos de movimentos de expiração (Belli Filho *apud* Silva, 2002).

Estas informações, na forma de potenciais elétricos, são então enviadas para o córtex olfativo através do trato olfatório lateral. O córtex olfativo, parte do cérebro responsável pela decodificação dos estímulos olfatórios, é subdividido em cinco regiões (Aires,1999):

- *Núcleo Olfatório Anterior*: Parece mediar a comunicação entre regiões simétricas dos dois bulbos olfatórios;
- *Córtex Piriforme*: Constitui a principal área na discriminação olfativa;
- *Tubérculo olfativo*: Envolvido na percepção olfativa consciente;

- *Núcleo Cortical da amígdala e córtex entorrinal*: Projetam-se ao hipotálamo e ao hipocampo, estando assim envolvidos nos atributos afetivos que acompanham um estímulo olfativo.

No córtex é desta forma gerada a reação de uma pessoa ao sinal elétrico transmitido. Miner *apud* Silva (2002) cita que esta reação é o reconhecimento da molécula odorífera, sendo assim, a resposta biológica ao impulso denominada Olfacção. Silva (2002) cita a cadeia de reações humanas proposta por Stuetz e Frenchen (2001) através da qual os odores são percebidos. Esta cadeia é representada na Figura 2.

Figura 2: *Esquema do processo de percepção de odores.*



Assim, é através de uma complexa cadeia de elementos nervosos que a presença de certas substâncias na cavidade nasal, e, portanto, no ambiente, é percebida pelo homem. Este mecanismo de excelente performance de percepção tem sido utilizado não apenas como forma de defesa do corpo, mas como aparelho de medição e avaliação dos odores presentes no ar.

Esta cadeia é repetida a cada instante, sempre que a concentração de odores no ar aumenta ou diminui. De acordo com a capacidade da pessoa e do período de exposição ao odor, quatro dimensões podem ser percebidas em relação ao processo de percepção deste odor (Guy e Pagé, 2000):

- Detecção (relativa ao limite de percepção)
- Qualificação (relativa à qualidade odorante)
- Quantificação (relativa à intensidade odorante)
- Apreciação (relativa ao teor hedônico)

Ainda não foi possível criar com exatidão uma réplica artificial do aparelho olfativo humano. O principal motivo é definido na lógica na qual o conceito do odor existe apenas devido à existência deste aparelho fisiológico, e da percepção do cérebro que o impulso recebido é definido como o odor.

Outro motivo é a própria impossibilidade tecnológica, já que, conforme Bichara *apud* Silva (2002), são hoje conhecidos mais de 1000 genes responsáveis pela construção do sistema olfativo do homem e este possui cerca de 10 bilhões de células receptoras de odores, estando aptas a captar 100.000 odores diferentes, a 20 níveis de concentração, medidas em partes por bilhão (ppb). Isto mostra também que

o aparelho olfativo é mais discriminativo em relação à qualidade do que à quantidade do odor.

Segundo Laffort (1994), os diferentes componentes e as intensidades de compostos odorantes perceptíveis pelo homem têm sido estudados por bastante tempo através de questionários realizados com pessoas em procedimentos experimentais e através do tratamento estatístico das respostas para que fatores psicológicos sejam neutralizados. Os dados obtidos então podem ser considerados como puramente sensitivos.

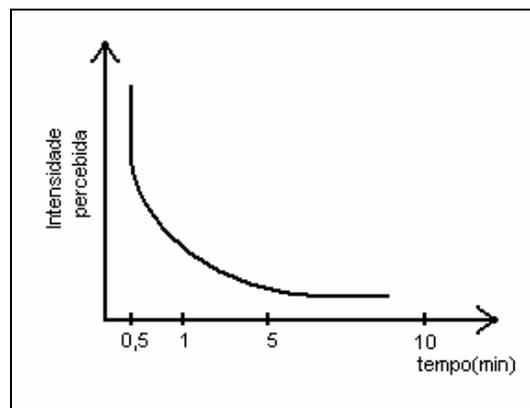
As pesquisas desenvolvidas neste intuito estão no desenvolvimento do chamado “nariz eletrônico”, aparelho com a função de simular as atividades desempenhadas pelo nariz humano.

Um fator importante sobre o sistema olfativo humano na sua aplicação para estudos de impacto de odor é a sua capacidade de fornecer uma resposta muito rápida: a percepção instantânea. A sensibilidade máxima é atingida em um curto intervalo de exposição.

Como o passar do tempo, a intensidade do sinal decresce até atingir a intensidade de percepção (Figura 3). Assim sendo, se a concentração de um odor for constante, o corpo humano não dá uma resposta também constante para este estímulo (Guy e Pagé, 2000). Ocorre assim uma adaptação ao odor ou aroma, que após um determinado período passa a não mais ser percebido pelo indivíduo.

Desta forma, pode-se dizer que o nariz humano não é sensível para concentrações médias, e sim para variações na concentração e, principalmente, para picos de concentração, mesmo que sejam instantâneos.

Figura 3: *Adaptação do ser humano ao estímulo constante de um odor*



Fonte: Pagé e Guy (1997)

Em suma, o sistema olfativo humano atinge a sua sensibilidade máxima para (Pagé e Guy, 1997):

- Pequenas variações em baixas concentrações de gases odorantes;
- Curtos períodos de exposição.

Para todo o composto, cada pessoa possui o seu próprio limiar de percepção específico. O limiar de percepção é o valor mínimo de concentração em que certa substância pode ser percebida através do seu odor. Além deste limite há também o limiar de identificação, concentração mínima na qual um determinado composto pode ser reconhecido.

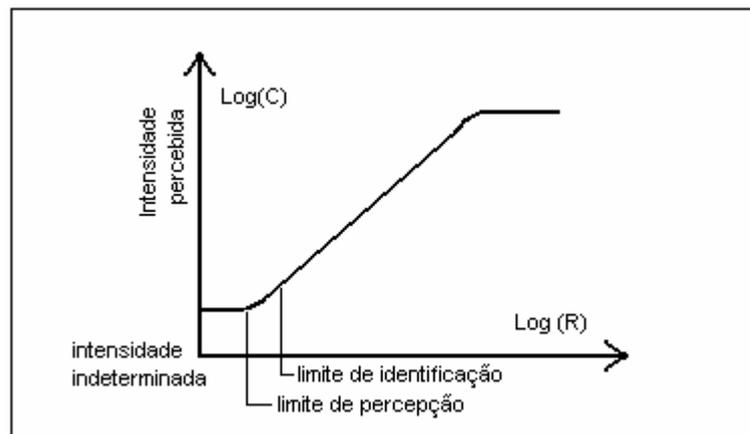
A lei de Stevens descreve estes limites e o seu comportamento através de uma função logarítmica, que parte da percepção do composto odorante até o limite superior de percepção, onde não importa o quanto à concentração aumenta, a intensidade percebida permanece constante.

### 3.1.3 A LEI DE STEVENS

Uma característica interessante e importante da percepção humana de substâncias odorantes é que a intensidade percebida de uma mistura odorante segue uma função logarítmica de sua concentração, descrita pela lei de Stevens.

A intensidade de um odor é percebida quando este se encontra em concentração superior ao limite de percepção e é função crescente da concentração dos odores no ar respirado. A relação entre a intensidade física (ou concentração do odor) e a intensidade percebida ou fisiológica é representada pela lei de Stevens, segundo Laffort (1994), e é expressa pelas equações 1 e 2 e demonstrada na Figura 4:

Figura 4: Função da Lei de Stevens



Fonte: Belli F<sup>o</sup> e Lisboa (1998).

$$\log R - \log R_0 = n (\log C - \log C_0) \quad \text{Eq. 1}$$

ou

$$R/R_0 = (C/C_0)^n \quad \text{Eq. 2}$$

Onde  $C$  : Concentração de odor ou do composto no ar;  
 $C_0$  : Concentração Limite;

R : Intensidade Percebida pelo indivíduo;

$R_0$  : Intensidade Percebida no limite de percepção;

n : Parâmetro exponencial<sup>2</sup>.

Assim, pode-se concluir que cada odor possui uma curva característica, com a sua inclinação. Um odor é persistente quando a inclinação da curva logarítmica é pequena e pouco persistente quando esta inclinação é significativa.

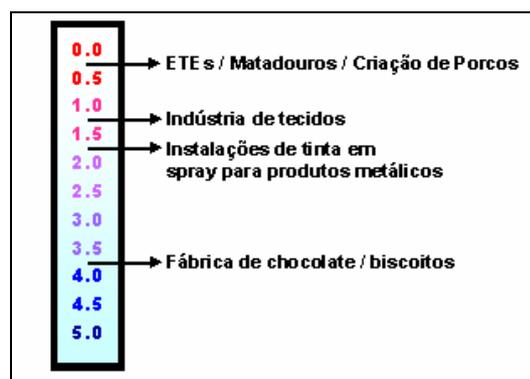
Belli <sup>f</sup> e Lisboa (1998) citam que a diminuição da concentração do produto emitido é dissociado do rendimento olfativo, considerando o momento da saturação na curva. Portanto, no distanciamento de uma fonte odorante, a diminuição da concentração não induz obrigatoriamente a uma diminuição da intensidade de odor.

### 3.1.4 PRINCIPAIS FONTES EMISSORAS DE ODORES

As fonte dos odores são das mais diversas. Grande parte destes compostos é gerada diariamente durante a ocorrência de fenômenos naturais: a partir da atividade metabólica de animais e plantas, e também dos processos biológicos de fermentação da matéria orgânica em meio redutor (principalmente resíduos). Esta é a principal fonte dos odores desagradáveis para o homem. Além de mecanismos naturais, odores são também criados continuamente no processo industrial, fazendo parte do produto criado (alimentos, cosméticos, etc.) ou dos resíduos (criação da celulose, tintas, etc.).

São diversos os setores da indústria cuja atividade acarreta na emissão de odores no local e à vizinhança, como aterros sanitários, pátios de compostagem, estações de tratamento de esgotos, tinturarias criação de animais, indústrias alimentícias e de papel e celulose, além de refinarias de petróleo. Van Broek e Nieuwejaers (2003) citam os limites admissíveis em 98% do tempo de exposição dos setores industriais descritos na Figura 5.

Figura 5: Limites de odores admissíveis em unidades de odor ( $ou_E$ )



Fonte: Van Broek e Nieuwejaers (2003).

<sup>2</sup> Este parâmetro varia de acordo com a natureza do composto odorante, de 0,1 a 1,0. Este segue o conceito dos valores múltiplos do limite de percepção, também conhecido como “unidade de odor”.

Os odores emitidos pelos biossólidos de estações de tratamento de esgotos (ETEs) são a principal problemática que a maioria das agências de pesquisa ambiental em água citam em relação à disposição de biossólidos nas suas comunidades (Witherspoon, 2003).

O ácido sulfídrico é o principal composto responsável pelas emanações odorantes do esgoto sanitário, juntamente com compostos orgânicos sulfurados, amônia e aminas. Ácidos graxos de baixo peso molecular, aldeídos e cetonas e uma gama de hidrocarbonetos aromáticos e clorados, referidos usualmente como compostos orgânicos voláteis (COV) também estão presentes (Barbosa *et.al.*, 2003).

Segundo Suffet *et.al.*(2003), pode-se afirmar que a indústria de tratamento de esgotos tem relativamente pouco conhecimento sobre os parâmetros de operação e tratamento que influenciam as emissões odorantes. Assim, estações de tratamento de esgoto não têm sido capazes de controlar a qualidade dos odores emitidos pelos biossólidos tratados e são alvos frequentes de reclamações.

De Bruyn *et.al.* (2003) realizou um estudo de odores na vizinhança de uma companhia metalúrgica. Neste estudo, voluntários mantiveram diários onde a presença de odores era avaliada 2 vezes ao dia durante quatro meses.

Na Bélgica, diversas reclamações foram feitas pelos habitantes de duas pequenas cidades próximas ao porto de Antwerp, onde fica um pólo petroquímico importante. Vaneist *et.al.* (2003) realizou pesquisas de odores com a população, que incluíam a descrição de fontes de odores potencialmente importantes juntamente com análises de CG-EM.

Mas dentre os artigos pesquisados, odores emitidos por aterros sanitários parecem ser os mais pesquisados na atualidade. Podem ser citados, por exemplo, os trabalhos de Tagaris *et.al.*(2003), Senante *et.al.*(2003), Karnik *et.al.*(2003) e Bonoli *et.al.*(2003), entre outros.

### **3.2 MEDIÇÃO DE ODORES**

Segundo Pagé e Guy (1997), os métodos utilizados para a medição de odores são os seguintes:

Métodos Sensoriais:

- Olfatometria por diluição dinâmica;
- Olfatometria por diluição estática.

Métodos Físico-químicos:

- Análise com CG-EM (Cromatografia Gasosa – Espectrometria de Massa) ou Cromatografia acoplada a outros equipamentos;
- Métodos de absorção química;
- Nariz Eletrônico (composto de um ou mais sensores).

Métodos combinados:

- Métodos sensoriais combinados aos resultados de um CG-EM;
- Métodos sensoriais combinados a um nariz eletrônico ou a uma rede de narizes eletrônicos.

### 3.2.1 ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA

As análises físico-químicas têm por objetivo detectar a presença de compostos, odorantes ou não, numa amostra de gás ou ar atmosférico e de ambientes fechados. Segundo o que foi observado em diversos artigos, a Cromatografia Gasosa aparenta ser a técnica mais utilizada atualmente, além das técnicas de absorção química, para a detecção de determinados compostos gasosos, sendo que esta ainda pode ser acoplada a uma unidade de dessorção térmica e outra de espectrometria de massa.

Existem análises que podem caracterizar famílias de compostos odorantes separadamente, Amônias e Aminas (aromáticas e alifáticas) em CG acoplada com um NPD (Detector de Fósforo-Nitrogênio) e por cromatografia com troca de íons com detecção condutimétrica para amônia (Ramel, 1994).

Para aldeídos e cetonas, a coleta das amostras deve ser feita através de borbulhamento em solução de dinitrofenilhidrazina (DNPH) em meio ácido. Análises laboratoriais também foram conduzidas por Ramel (1994) em laboratório utilizado cromatografia líquida e detecção por Ultravioleta (UV).

Para a medição de ácidos orgânicos, Ramel (1994) fez a coleta em solução básica seguida por análise laboratorial em um equipamento de Cromatografia Gasosa acoplada com um detector por ionização de chama (FID).

Para a determinação de compostos orgânicos e inorgânicos voláteis é recomendável o uso dos três métodos simultaneamente, pois as funções por estes exercidas se complementam. A Cromatografia Gasosa é responsável pela leitura inicial da amostra e separação os compostos presentes na mesma. A espectrometria de Massa, por sua vez, identifica a sua provável composição, comparando o peso molecular da amostra com pesos relacionados na biblioteca do computador. Já a dessorção térmica é a técnica capaz de extrair a amostra dos tubos de adsorção. Tais tubos são cartuchos onde os compostos a serem analisados são coletados do ar com o uso do adsorvente adequado e uma bomba para gases.

A avaliação físico-química instrumental da composição de substâncias odorantes na atmosfera é praticamente impossível de ser realizada. Isto por que aparelhos instrumentais detectam apenas aqueles compostos para os quais estes foram programados para determinar, com o uso do adsorvente e dos procedimentos de leitura corretos.

Assim, os aspectos odorantes das amostras não são avaliados através destes aparelhos, apenas a presença e quantificação daqueles compostos procurados. Entretanto, em análises olfatométricas não é possível determinar qual é o composto causador do odor, ou ainda se existe uma mistura de compostos que são responsáveis pela presença de odor na amostra.

O limiar olfativo humano para muitas substâncias odoríferas é extremamente baixo, fora da capacidade de detecção destes aparelhos. Desta forma, é recomendado que medições físico-químicas e olfatómicas sejam utilizadas em conjunto, pois são complementares entre si e permitem um conhecimento global das características da amostra.

### 3.2.2 O NARIZ ELETRÔNICO

Segundo Lorimor (1996), o aparelho de medição de intensidade de odores, ou nariz eletrônico (*e-nose*), utiliza sensores químicos para detectar a presença de determinados gases na atmosfera. Willers *et.al.*(2003) afirma que estes sensores caracterizam-se por demonstrarem sensibilidade e seletividade relativa a uma grande variedade de compostos voláteis. Estes foram desenvolvidos a partir da tecnologia dos semicondutores, onde foi constatado que certos tipos de metais, quando aquecidos, possuem sensibilidades distintas aos diferentes gases expostos a eles (Belli <sup>o</sup> e Lisboa, 1996).

Os gases provocam assim modificações sobre a superfície destes metais, tais modificações são detectáveis somente por instrumentos especializados. Empregando-se então diferentes tipos de metais aquecidos a diferentes temperaturas é possível detectar uma gama variada de compostos. Feddes *et. al.*(1999) cita que são também desenvolvidas funções para converter as medidas obtidas pelo nariz eletrônico em unidades de concentração de odores através de redes neurais artificiais.

Assim, o nariz eletrônico pode ser utilizado em determinados casos onde o nariz humano não pode ser utilizado pelo fato das substâncias odorantes presentes representarem perigo à saúde humana, como para detectar emissões anormais, para o ambiente interno ou externo, em indústrias químicas. Ou ainda, como método complementar à olfatosmetria, como na fabricação de vinhos, perfumes e alimentos, além de situações onde é requisitada baixa subjetividade e alta eficácia na detecção de odores, como na apreensão e drogas em bagagens.

Willers *et. al.* (2003) testou e aprovou o nariz eletrônico “ENQ BE”, desenvolvido pela universidade de Roma, em seu estudo. Este equipamento é baseado em 8 sensores de microbalanço de quartzo (QMB), cujo princípio de aplicação é a variação da frequência de oscilação fundamental de um cristal de quartzo como consequência da adsorção de uma determinada quantidade de massa que é proporcional ao número de moléculas absorvidas e à sua concentração na fase gasosa.

Feddes (1999) analisou a intensidade de odores emitidos pela estocagem de esterco e verificou a precisão do nariz eletrônico em 80%, quando comparado com olfatosmetria. Suas principais vantagens características são:

- Transporte (aparelho portátil);
- Operação de baixo custo;
- As respostas são obtidas rapidamente.

O maior desafio no desenvolvimento de um nariz eletrônico que se assemelhe ao humano é a criação de um aparelho capaz de apontar a correta combinação de

gases e suas concentrações relativas (Lorimor, 1996). A dificuldade encontrada é facilmente explicada a partir do conhecimento de que o sistema olfativo humano é dotado de aproximadamente 650 tipos de sensores, enquanto os recém desenvolvidos *e-noses* (eletronic noses), a exemplo do *Cyranose 320* e do *Aromascan*, dispõem de somente 32 (Conchon,2000).

### 3.2.3 ANÁLISE OLFATOMÉTRICA

Muitas vezes as análises físico-químicas são insuficientes para caracterizar uma amostra quanto à sua capacidade odorante. Segundo Belli Fº e Lisboa (1998), as mais finas análises por cromatografia não podem rivalizar com o aparelho olfativo humano para detectar, por exemplo, a trimetilamina em uma concentração de 2,1 ppb ou a essência de baunilha em uma concentração de 3,2 ppb.

Percebe-se assim que limiar de percepção olfativa do homem varia de acordo com a natureza da substância em questão. Este limiar de percepção olfativa de um odor corresponde à concentração de moléculas odorantes no ar na qual a probabilidade de percepção por um júri de pessoas é de 50% (Belli Fº e Lisboa, 1998). Nesta concentração, considera-se que a intensidade odorante é de uma unidade européia de odor (1 ou<sub>E</sub>/m<sup>3</sup>). Assim, são atribuídos limites de percepção olfativa para os principais compostos utilizados como referência em análises olfatométricas (Anexo 1).

As interpretações psicológicas dos odores ocorrem através de julgamentos sobre a intensidade do odor, sua agradabilidade e também sobre alguma característica associada ao odor. As medidas sensoriais podem ser classificadas em medidas subjetivas ou objetivas, conforme a Tabela 2

Tabela 2: *Classificação das medidas sensoriais.*

<i>Subjetivas</i>	<i>Objetivas</i>
<p><b>Característica ou Qualidade:</b> Relação do odor com outros conhecidos (menta, flores, fruta, picante, éter, ovo podre, putrefação, peixe em decomposição.)</p>	<p>Utilização do nariz humano como um instrumento, se baseando em diluições de uma substância padrão para determinar faixas de intensidade de odor.</p>
<p><b>Intensidade:</b> Muito forte, forte, médio, fraco, muito fraco</p>	
<p><b>Hedonicidade:</b> A característica subjetiva um odor quanto à sua agradabilidade ou desagradabilidade.</p>	
<p><b>Duração:</b> O tempo de persistência do incômodo odorante.</p>	

Adaptado de Silva (2002).

É freqüentemente constatado que poluentes atmosféricos apresentam limites de percepção olfativa detectáveis a concentrações da ordem de 500 a 10 000 vezes mais fracos que seus limites de tolerância ao indivíduo no ambiente (Maes *apud* Belli fº e Lisboa, 1998). Assim, faz-se necessária uma análise realizada pelo próprio sistema olfativo do homem para determinar não apenas o nível de perceptividade, bem como efeitos mais subjetivos, como a sua classificação como agradáveis ou incômodos, causados por certa amostra odorante.

A chamada de análise olfatométrica ou sensorial, é realizada através de análises psicofisiológicas, que é a ciência da relação funcional entre os mundos físico e psíquico (Silva, 2002).

A análise olfatométrica pode ser realizada através de três técnicas:

- Aplicação de questionários;
- Método do Butanol;
- Olfatometria com olfatômetros.

#### ***Aplicação de Questionários***

Esta metodologia pode ser realizada através da definição de um painel de pessoas que sejam capazes de responder a questionários relacionados com a presença de um determinado odor no ambiente.

O painel pode ser formado por moradores vizinhos a uma fonte fixa de emissão de odores, sendo estes treinados para recordar dos episódios de emissão de odores e suas características. Este painel pode ainda ser formado por transeuntes nas proximidades da mesma fonte, através de entrevistas (Vaneist, 2003).

Em estudos de impacto de odor a freqüência em que odores são percebidos também é importante. Estudos podem ser realizados na aplicação de questionários em localidades e pessoas definidas, por longos períodos (1 ano, por exemplo) para definir a freqüência em que a população é exposta a odores (Tabela 3).

Tabela 3: *freqüência de exposição da população a odores ambientais.*

<b><i>Porcentagem do tempo com odor (%)</i></b>	<b><i>Horas/Ano</i></b>	<b><i>Período diário com odor</i></b>
0,5	43,8	9 min.
2	175	36 min.
5	438	1 hora e 12 min.

Fonte: Pagé e Guy (1997)

#### ***Método do Butanol***

Para a avaliação da intensidade de um odor, é geralmente utilizado o método do butanol, que permite comparar a amostra a ser analisada com amostras referenciais de odores. As amostras são diluídas em relação a um composto padrão.

Este método utiliza uma escala de referência, com concentrações diferentes e conhecidas de soluções em água ou diluídas em ar inodoro (Perrin *apud* Silva, 2002).

A Tabela 4 mostra as diluições recomendadas conforme a norma francesa AFNOR (1993) *apud* Silva para piridina e 1-butanol.

Tabela 4: *Intensidade de odor para 1-piridina e butanol.*

<i>Nível</i>	<i>Concentração (g/l)</i>	<i>Intensidade de odor</i>
1	0,001	Muito fraco
2	0,01	Fraco
3	0,1	Médio
4	1	Forte
5	10	Muito forte

Fonte: AFNOR (1993) *apud* Silva (2002)

Finalmente, um júri ou painel de pessoas pode ser treinado para caracterizar a origem do incômodo olfatométrico, quando colocado nas situações olfativas. O resultado deve ser tratado de forma estatística para que as características desejadas para a amostra gasosa sejam levantadas.

### **3.3 OLFATOMETRIA COM USO DE OLFATÔMETRO**

Em estudos de entomologia, o olfatômetro (*smellmeter*) é o aparato utilizado para estudar a resposta dos animais a determinados odores. Este consiste de um tubo em “y” onde, por cada braço, entra uma corrente de ar e ocorre a liberação de certo(s) odor(es) – normalmente ferormônios – e os seus comportamentos são analisados.

Já em laboratórios de estudo da olfação humana, os limites de olfação de cada indivíduo são determinados com a utilização de um olfatômetro similar ao utilizado para pesquisas de poluição atmosférica. Estes laboratórios, a exemplo do *Berkeley Olfactory Research Project* (Califórnia, EUA), visam em seus estudos: (1) elucidar os mecanismos neurofisiológicos do processo olfativo e (2) elucidar as maneiras com que a sensorização química afeta o comportamento humano.

O *olfatômetro* aqui referido é o equipamento eletrônico capaz de realizar a diluição da mistura odorante a ser analisada com um gás inodoro e a sua disposição ao nariz humano com vazão e tempo pré-determinados para que a concentração de odor da amostra possa ser calculada (Caron *et.al.*, 2000).

De acordo com Zurita (1999), testes sensoriais como estes são utilizados para avaliar o odor presente no ambiente segundo sua intensidade, detectividade, qualidade e nível de agrado. Pode-se assim determinar através das técnicas olfativas através de olfatômetros os seguintes limites (Belli Fº e Lisboa, 1996):

- *Limite de percepção olfativa (K<sub>50</sub>):* Concentração de odor numa amostra onde 50% do júri de pessoas é capaz de percebê-lo. Pode ser determinado para um composto puro ou para uma mistura de compostos. É expresso por um número adimensional;

- *Limite de caracterização olfativa:* É a concentração de odor onde 50% do júri de pessoas é capaz de reconhecer nominalmente um produto odorante;
- *Limite de identificação olfativa:* Constitui-se da concentração de odor na qual 100% dos membros de um júri de pessoas caracterizam o odor analisado. Corresponde a uma possibilidade de reconhecimento da presença do composto e da sua natureza.

### 3.3.1 AMOSTRAGEM

Para a realização de análise olfatométrica com olfatômetro, geralmente as amostras são coletadas em campo e então levadas à análise em laboratório. A utilização do método de amostragem correto é fundamental para o sucesso da análise dos compostos odorantes. Assim, a escolha do material a ser utilizado para a coleta de amostras gasosas ou da atmosfera é o primeiro passo a ser tomado e depende, principalmente (Belli Fº e Lisboa, 1998):

- da integridade do gás ou dos vapores coletados;
- da adequação do procedimento de amostragem em relação com a técnica de análise;
- da estabilidade dos gases ou dos vapores que devem ser armazenados sem perda pelas paredes do sistema de coleta;
- controle contra a contaminação.

Os materiais mais utilizados como recipientes de amostragem são:

- Bolsas de PVC, teflon, ou tedlar (Lorimor, 1996);
- Tubos de silicone inodoros - food grade (Conchon, 2000);
- Ampolas de vidro (Conchon, 2000);
- Containers metálicos (Belli Fº e Lisboa, 1998).

Caso a concentração de odor na amostra seja muito baixa, é possível se fazer à concentração da amostra, através de absorção – quando os compostos são absorvidos em soluções específicas ou precipitados – e adsorção – quando o ar passa por um cartucho contendo um determinado volume do adsorvente adequado.

Segundo a norma EN 13725:2003, o material utilizado para se fazer à coleta e análise de gases odorantes em olfatometria deve ser:

- Liso em sua superfície;
- Inodoro: os materiais não devem “adicionar odor” à amostra;
- Selecionado de forma a minimizar a interação física ou química entre os componentes da amostra e os materiais do equipamento de coleta;
- Pouco permeável de forma a minimizar a diminuição de volume da amostra potencialmente causada por difusão.

Os materiais aconselhados pela norma para a confecção das partes do equipamento de amostra que entra em contato com a amostra odorante são os seguintes:

- PTFE (politetrafluoretileno);
- Tetrafluoretileno hexafluoropropileno copolímero (FEP);
- Polietilenoteraftalato (PET, Nalophan<sup>REG</sup>);
- Aço inoxidável;
- Vidro;

Um dos acessórios mais importantes na coleta de amostras odorantes é o saco onde esta ficará armazenada até o momento da análise, que pode ocorrer em até 30 horas após a coleta, por convenção. A norma europeia EN 13725:2003 considera os seguintes materiais apropriados para a confecção dos sacos de coleta:

- Tetrafluoretileno hexafluoropropileno copolímero (FEP);
- Polivinilfluorido (PVF, Tedlar<sup>REG</sup>);
- Polietilenoteraftalato (PET, Nalophan<sup>REG</sup>);

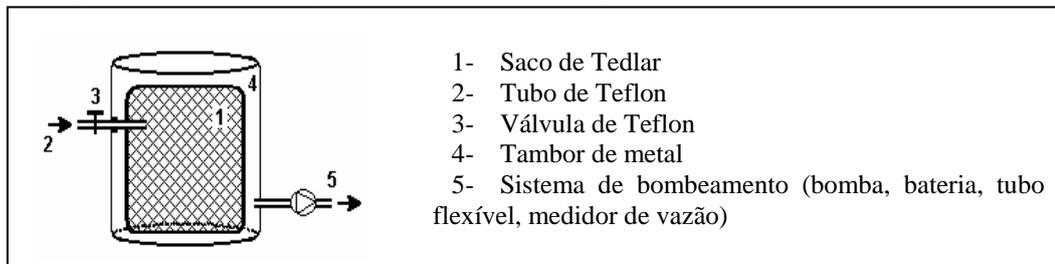
Segundo a mesma norma, os materiais utilizados devem ser testados para manterem uma amostra de ar odorante por um período de armazenamento de 30 horas. Philips *et.al.* (2003) utilizaram sacos descartáveis de Nalophan<sup>REG</sup>.

A técnica escolhida por Hermia e Vigneron (1994b) e por Philips *et.al.* (2003) para amostragem foi baseada no princípio do pulmão, que consiste em se criar uma condição de vácuo, em pequena escala, no tambor contendo o saco para onde a amostra será succionada. Assim, o saco é preenchido pela amostra sem que esta entre em contato com outros equipamentos (

Figura 6). Além disso, a escolha dos materiais para as conexões também pode ser feita entre materiais não adsorventes, como Teflon. O fator mais importante é que o saco da amostra seja confeccionado em material não adsorvente: o Tedlar<sup>REG</sup> parece dar as melhores garantias hoje em dia.

Phillips *et. al.* (2003) recomendam a pré-diluição da amostra quando houver risco de condensação. Os pontos de condensação concentram compostos odorantes e podem prejudicar os resultados obtidos.

Figura 6: Técnica do pulmão para amostragem de ar.



Fonte: Hermia e Vigneron (1994b)

### ***Métodos de amostragem superficial***

Os métodos de amostragem superficial (“*hood methods*”) permitem a medição direta da taxa de emissão de uma superfície. Este método consiste em se isolar parte da superfície emissora com uma câmara e se passar uma corrente de ar pela câmara. A taxa de emissão é então obtida do produto da corrente de ar na câmara e da concentração odorante. A partir da área superficial coberta pela câmara é possível determinar a taxa de emissão específica (emissão odorante por unidade de área) e pode ser adotada para a área adotada, a partir de coletas randômicas e o seccionamento da área total a ser caracterizada. Existem diferentes tipos de métodos de coleta através da cobertura de superfícies, que se diferenciam em tamanho, forma e tipo de operação.

#### *Câmara de fluxo estática*

As câmaras de fluxo estáticas consistem em um recipiente, geralmente fabricado em material rígido, aberto na extremidade inferior, que é deixado sobre a superfície emissora até que a condição de equilíbrio seja atingida e o gás contido na câmara possa ser considerado uma amostra do gás emitido pela superfície (Frenchen *et.al.*, 2003). A taxa de emissão então é determinada pela mudança na concentração de emissão com o tempo utilizando a equação 3 (McGinn e Janzen *apud* Stuetz, 2002):

$$N = V_C/A_S\Delta t (C_{t_2} - C_{t_1}) \quad \text{Eq. 3}$$

Onde            N : Taxa de emissão

$V_C$  : Volume da Câmara

$A_S$  : Área da superfície coberta

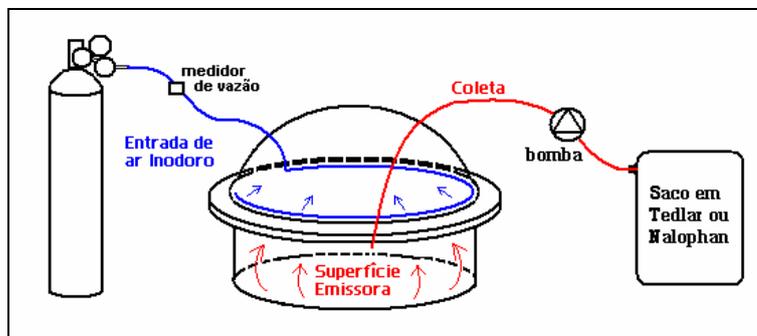
$\Delta t$  : intervalo de tempo ( $t_2-t_1$ ) no qual as concentrações  $C_{t_1}$  e  $C_{t_2}$  são medidas.

Operando perto do estado de equilíbrio, as câmaras de fluxo estáticas não são convenientes para produzir informações relevantes sobre a taxa de emissão de odores, já que as condições de equilíbrio estão muito distantes das condições reais de uma superfície livre às condições meteorológicas locais (Frenchen *et.al.*, 2003).

#### *Câmara de fluxo dinâmica*

As câmaras de fluxo dinâmicas são similares às câmaras de fluxo estáticas, mas estas utilizam uma corrente de ar de vazão controlada como parte da medição da taxa de emissão. Esta corrente de ar é de pequena vazão e varia normalmente de 1 a 40 l/min. A taxa de emissão é determinada pelo produto da vazão de ar inodora inserida na câmara e a concentração odorante. As câmaras de fluxo dinâmicas possuem geralmente uma seção transversal circular e uma entrada de ar radial (Frenchen *et.al.*, 2003). A amostra de ar odorante é coletada geralmente após a vazão que entra na câmara seja igual ao 5 vezes tempo de residência da mesma. Um exemplo de câmara de fluxo dinâmica pode ser observado na figura 7.

Figura 7: Representação esquemática de uma câmara de fluxo dinâmica



Segundo Gowing e Farquhar *apud*. Fécil(2003), a câmara de fluxo dinâmica funciona como um reator de mistura perfeita assegurando assim que a concentração da mistura gasosa na saída da câmara é a mesma que dentro desta. O fluxo superficial de um composto  $i$  é definido pela seguinte relação (Fécil, 2003):

$$F_i = [i] \times Q_{ar}/S \quad \text{Eq. 4}$$

- Onde
- $F_i$  : fluxo do composto, em  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{s}$
  - $[i]$  : concentração do composto  $i$ , em  $\mu\text{g}/\text{m}^3$
  - $Q_{ar}$  : vazão de ar puro que alimenta a câmara, em  $\text{m}^3/\text{s}$
  - $S$  : área da superfície coberta pela câmara de fluxo, em  $\text{m}^2$

Segundo Frenchen *et.al.*(2003), esta metodologia de amostragem não tem sido freqüentemente utilizada na Europa na atualidade, pois o seu próprio formato e o mecanismo de entrada de ar dificultam o conhecimento e controle do padrão do fluxo dentro da câmara, sabe-se somente que este é turbulento.

#### Túnel de Vento

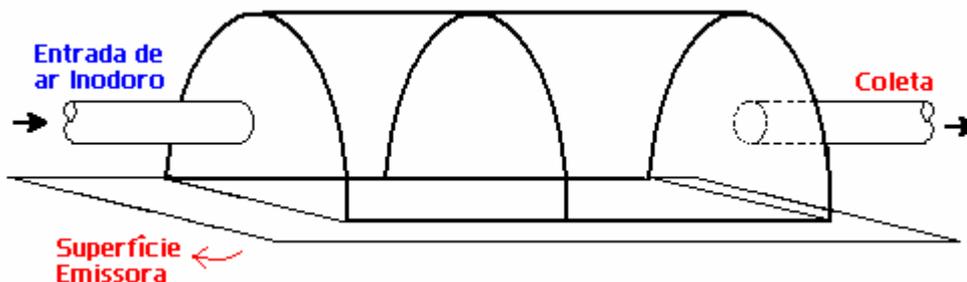
Assim como as câmaras de fluxo dinâmicas, os túneis de vento (“*wind tunnels*”) também utilizam uma corrente de vento para medições de taxa de emissão de odor. Diferentemente da maioria das câmaras de fluxo, os túneis de vento têm seção prismática e a corrente de ar é transportada no sentido longitudinal do túnel (

Figura 8). Isto permite que a velocidade do ar seja controlada mais precisamente, permitindo que variações da emissão odorante com a velocidade de vento aplicada sejam medidas. As vazões são bem mais altas em túneis de vento, com velocidades situadas comumente entre 0,1 e 5 m/s (Frenchen *et.al.*, 2003).

Túneis de vento geralmente cobrem uma área retangular de relação a/b maior que 2 e, como mostram pesquisas, quanto maior esta relação, melhores são os

resultados obtidos, pois quanto mais longo e estreito for o túnel, mais estáveis e previsíveis são as condições de fluxo (Frenchen *et.al.*, 2003).

Figura 8: *Representação esquemática de um túnel de vento*



### 3.3.2 DILUIÇÃO DA AMOSTRA

Para a diluição da amostra odorante Conchon (2000) utilizou ampolas de vidro. A metodologia aqui estudada é a de olfatômetro dinâmico. Esta técnica vem sendo mais utilizada para este fim em países como Canadá, Alemanha, Estados Unidos, Austrália e França.

Segundo Pagé e Guy (1997) a técnica de diluição estática consiste na diluição de um volume de amostra odorante em um volume fixo de ar inodoro, enquanto que a metodologia da diluição dinâmica consiste na mistura de duas vazões, uma de ar odorante e outra de ar inodoro em fatores de diluição conhecidos e uma saída comum. Nesta técnica é importante que a mistura física entre as duas amostras seja efetiva e homogênea, pois se sabe que a percepção odorante pelo nariz humano é instantânea e uma falha no perfil desta mistura poderia acarretar em erros na detecção da concentração de odor da amostra.

Segundo a norma EN 13725: 2003 o olfatômetro deve ser capaz de produzir diluições de, no mínimo  $2^7$ , até a ordem de  $2^{14}$ , com uma diferença maior de  $2^{13}$  entre as diluições mínima e máxima. Podem ser aplicadas pré-diluições à amostra, para que esta possa ser encaixada dentro dos limites de diluição do equipamento utilizado.

O olfatômetro, capaz de controlar a diluição da mistura odorante com um gás inodoro e apresentá-la ao júri de pessoas, permite também a sua comparação com amostras de ar inodoro. Geralmente, aparelhos deste tipo devem proporcionar taxas de diluição das amostras variáveis de 10 a 50 000 vezes, além de pré-diluições suplementares.

Existem, porém, modelos de olfatômetros de campo, como o Nasal Ranger<sup>R</sup> (figura 9), que proporciona a filtragem do ar, ao invés da diluição como em outros olfatômetros. Esta filtragem é feita com filtros de carbono ativado granular.

Figura 9: *Nasal Ranger*



Fonte: [www.nasalranger.com](http://www.nasalranger.com)

### 3.3.3 EQUIPAMENTOS EXISTENTES

Existem diversos olfatômetros em desenvolvimento no momento. Podem ser citados como exemplo os seguintes olfatômetros encontrados no mercado internacional:

- *AC'SCENT (St. Croix Sensory)*: Um dos primeiros olfatômetros do mercado. Desenvolvido em Minnesota – EUA, apresenta taxas de diluição de 1:10 à 1:20.000, através de diluição dinâmica.
- *T07 (ECOMA)*: Produzido na Alemanha, este também é um dos primeiros olfatômetros do mercado. Este olfatômetro funciona através do método da diluição dinâmica, que atinge diluição de até 1:64.000.
- *E.O.G. (Études Olfamométriques Guigues)*: Desenvolvido na França, apresenta diluição total de 1: 50.000, além da possibilidade de 3 pré-diluições para obter uma diluição máxima teórica de 1:45.000.000.
- *TECNODOR (Tecnovir International Inc.)*: Desenvolvido no Canadá, é um olfatômetro portátil, que pode, portanto ser levado a campo ou ao laboratório e gera diluições da substância de referência (Butanol) até concentrações de 0,001 a 50 ppm.
- *Odile (Odotech Inc.)*: Desenvolvido no Canadá, este olfatômetro de diluição dinâmica apresenta taxas de diluição de até 1/2.000.000 é o seu funcionamento está descrito no item 7.2 deste trabalho (equipamento utilizado neste estudo).

Existem ainda outros olfatômetros desenvolvidos e utilizados por laboratórios de pesquisa e universidades, não disponíveis para comercialização como o da Universidade Estadual de Iowa e da Universidade de Minnesota, nos Estados Unidos

e da Universidade de McGill, no Canadá, além do Departamento de Indústrias Primárias da Austrália.

### 3.3.4 O JURI

O júri, ou *painel*, para análises olfatométricas consiste em um grupo de pessoas selecionado da população geral. Este grupo tem a função de analisar as amostras de odor que lhe são apresentadas em olfatometria, definindo assim a concentração de odores de uma certa amostra. Um *jurado* é um membro deste painel ou júri.

WALPOT (1994) determinou o limite de percepção para n-Butanol no início de cada dia de análise, ou a cada vez que a composição de um júri foi alterada. Então o valor encontrado para o limite de percepção de butanol era acrescentado a um conjunto de dados existente.

O valor encontrado é comparado com a média do conjunto de dados e, se este pode ser comparado com uma faixa de valores em torno da média, o painel pode ser utilizado para a realização de análises olfatométricas e, se não, o painel foi ajustado através da substituição de um ou mais membros. Se o novo limite de percepção fosse muito baixo, os membros mais sensíveis eram substituídos e vice-versa.

O júri nas amostras de olfatometria pode ser certificado pela norma EN 13725:2003 da união européia. Assim, pode-se assegurar os resultados obtidos nas análises olfatométricas com este júri seguem os padrões estabelecidos e aceitados pelos países da comunidade européia.

## 3.4 NORMALIZAÇÃO DA OLFATOMETRIA

Existem normas internacionais que têm como objetivo regulamentar a criação e operação de olfatômetros em análises olfatométricas para a determinação de limites de percepção de odores. Uma das normas mais completas e utilizadas na atualidade é a norma da união européia EN 13725:2003 - *Air quality: Determination of odour concentration by dynamic olfactometry* (Qualidade do Ar: Determinação da concentração de odores através de olfatometria dinâmica), que foi traduzida e adotada para cada país da união européia como norma nacional.

Além desta, já existiam anteriormente as normas alemã, também adotada internacionalmente, de nome VDI 3881 (1980) *Olfactometry: Odour Threshold Determination* (Olfatometria: Determinação dos Limites de Detecção de Odor), e holandesa NVN2820 (1996) *Provisional Standard: Air Quality - Sensory Odour Measurement using an Olfactometer* (Padrão Provisório: Qualidade do Ar – Medições Sensoriais de Odores utilizando Olfatômetros).

Nos Estados Unidos a norma que regulamenta a prática da olfatometria é a ASTM E679-91 (1991) *Determination of Odor and Taste Threshold by a Forced-Choice Ascending Concentration Series Method of Limits* (Determinação de limites de percepção de sabor e odor através dos métodos de escolha forçada em

concentração ascendente). Além desta existem também as diretrizes definidas pela Associação de Gestão do Ar e de Resíduos (AWMA – *Air & Waste Management Association/Pittsburg*) através da norma EE-6 (1995): *Guidelines for odor sampling & measurement by dynamic olfactometry* (Diretrizes para amostragem e medição de odores através de olfatometria dinâmica), (Bockreis e Steinberg, 2003).

### 3.5 CERTIFICAÇÃO DE JURI CONFORME A NORMA EN: 13725:2003

A norma EN 13725: 2003 (Qualidade do ar: Determinação da concentração de odores através de olfatometria dinâmica) especifica um método para a determinação objetiva da concentração de odores em amostras gasosas utilizando olfatometria dinâmica com jurados humanos e o cálculo do fluxo de emissão de odores de fontes localizadas ou dispersas. Esta norma foi criada para servir como base para a avaliação de emissões odorantes nos países-membro da União Européia.

Esta norma é aplicável para a medição da concentração dos odores de substâncias puras, misturas definidas e indefinidas de odorantes gasosos em ar ou nitrogênio. A unidade de medição é a unidade européia de odor por metro cúbico  $1 \text{ ou}_E/\text{m}^3$ . O intervalo de medição é de tipicamente  $10^1 \text{ ou}_E/\text{m}^3$  a  $10^7 \text{ ou}_E/\text{m}^3$  (incluindo a pré-diluição).

A certificação dos jurados garante a qualidade dos resultados de futuras análises de acordo com os rigores desta norma. Segundo a norma EN:13725, resultados de análises olfatométricas somente podem ser considerados como confiáveis e protegidos pelo respaldo desta norma se os jurados participantes forem anteriormente testados e aprovados pelos critérios desta mesma norma.

#### 3.5.1 ALGUMAS DEFINIÇÕES SEGUNDO ESTA NORMA

**Odor:** Atributo organoléptico perceptível pelo órgão olfativo ao inspirar certas substâncias.

**Unidade européia de odor ( $\text{ou}_E$ ):** A quantidade de odorantes que, quando evaporada em 1 metro cúbico de gás neutro e condições padrão, provoca uma resposta psicológica em um júri equivalente àquela provocada por uma massa de odor de referência européia, evaporada também em um metro cúbico de gás neutro e condições padrão.

**Massa de odor de referência européia ( $\text{EROM}$ ):** Valor de referência aceito para a unidade européia de odor, igual a uma massa definida de um material de referência certificado. Um  $\text{EROM}$  é equivalente a  $123 \mu\text{g}$  de n-butanol que, evaporado em 1 metro cúbico de gás neutro, produz uma concentração de  $0,040 \mu\text{mol}/\text{mol}$ .

**Olfatômetro:** Aparelho onde uma amostra de gás odorante é diluída com um gás neutro em uma taxa definida e apresentada aos jurados.

**Olfatômetro dinâmico:** O olfatômetro dinâmico fornece uma determinada vazão de uma mistura de gases odorantes e neutros em fatores de diluição definidos. A diluição dinâmica é atingida através da mistura de duas vazões conhecidas de gases, uma de gás neutro inodoro e outra da amostra odorante. A taxa de diluição da amostra é então calculada a partir dos valores de vazão.

**Método da escolha forçada:** Segundo a norma citada, este é um método olfatométrico em que os jurados são obrigados a escolher uma, entre duas ou mais portas de saídas de vazão (onde a amostra diluída sai por uma delas) mesmo que os jurados não percebam odor em nenhuma delas.

### 3.5.2 CÓDIGO DE CONDUTA DO PAINEL

A seguir, é descrito o código de conduta dos membros do júri em olfatômetro (jurados), segundo a norma europeia EN 13725:2003. Ao se recrutar jurados, a condição básica que deve ser obedecida é a seguinte:

- Os membros do júri devem ter, no mínimo, 16 anos de idade e serem capazes de obedecer às instruções dadas;

Para se qualificar como membro do júri, os jurados devem observar o seguinte código de conduta:

- Os membros do júri devem estar motivados a exercer a sua função com consciência;
- Os membros do júri devem estar disponíveis para uma sessão completa de análises (uma série de análises em um dia, interrompida apenas por pequenas pausas);
- Os membros do júri devem estar comprometidos com as análises olfatométricas por um período suficiente em que possa ser construído e monitorado um histórico de resultados individuais;
- Os membros do júri não devem ingerir qualquer tipo de alimento, balas, bebidas (exceto água), fumar ou mascar chicletes pelos 30 minutos que antecedem a análise olfatométrica;
- Os membros do júri devem tomar cuidado para não causar qualquer interferência com a sua própria percepção ou a de outros membros por falta de higiene pessoal ou o uso de perfumes, desodorantes, loções e cosméticos;
- Os membros sofrendo de gripe, resfriado ou qualquer outra doença que afete o sistema olfatório (como ataques alérgicos e sinusites) no dia da análise devem ser excluídos do júri;
- Os membros do júri devem estar presentes no laboratório de olfatometria (descrito na norma europeia como “sala do odor”) ou outro ambiente com condições similares por ao menos 15 minutos antecedendo o início das análises para se habituarem às condições momentâneas dos odores nesta sala;
- Durante as análises, não deve haver nenhum tipo de comunicação entre os membros do júri sobre os resultados das suas escolhas. Quando utilizando a análise olfatométrica por “escolha forçada”, informar os jurados sobre seus acertos ou erros pode motivá-los a continuar as medições.

O operador deve garantir que o código de conduta seja completamente respeitado por cada membro do júri, pois este tem influência direta nos resultados da análise. O operador do olfatômetro deve garantir que os jurados mantenham-se

motivados durante as análises e ações corretivas devem ser tomadas sempre que necessário.

### 3.5.3 SELEÇÃO DOS JURADOS SEGUNDO VARIABILIDADE E SENSIBILIDADE INDIVIDUAIS

O material odorante referência utilizado para a avaliação dos jurados segundo a norma europeia é o n-butanol diluído em nitrogênio com margem de erro de 5%.

Para se obter um sensor confiável, composto de um certo número de membros do painel, jurados com certas qualidades devem ser selecionados da população geral para servirem como membros do júri. Para garantir a repetitividade dos seus resultados, suas respostas olfativas devem ser o mais constantes possível de um dia para o outro e durante um mesmo dia (CEN, 2003).

Para garantir a repetitividade do sensor, formado de um painel (ou júri) composto de um grupo de jurados, a sensibilidade olfativa do grupo deve variar dentro de uma faixa de valores pré-definida. Esta faixa deve ser muito menor do que a variabilidade da população geral. Para alcançar esta meta, os jurados com uma determinada sensibilidade ao n-butanol são selecionados para participarem do júri (CEN, 2003).

Para que os membros do júri se familiarizem com os procedimentos olfatométricos, estes devem ser primeiramente treinados através da realização de uma primeira análise cujos resultados são descartados.

Então, ao menos 10 limites de percepção individuais para o n-butanol em nitrogênio devem ser observados, para que se possa selecionar os membros do júri. Estes limites de percepção devem ser medidos em, no mínimo, 3 sessões em dias diferentes, com uma pausa de ao menos um dia entre estas.

Para se tornar um membro do júri, os dados coletados devem seguir os seguintes critérios:

- 1) O antilog do desvio padrão calculado dos logaritmos ( $\log_{10}$ ) dos limites individuais, expressos em unidades de concentração de massa do gás de referência (n-butanol ou outro), deve ser menor do que 2,3;
- 2) A média geométrica entre os limites de percepção individuais, expressada em unidades de concentração de massa do gás de referência, deve ser entre 0,5 e 2 vezes os valores de referências aceitos para o gás de referência (para o n-butanol é de  $62 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a  $246 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ou  $0,020 \mu\text{mol}/\text{mol}$  a  $0,080 \mu\text{mol}/\text{mol}$ ).

Um histórico das análises individuais dos membros do júri pode ser mantida através da determinação do limite de percepção individual com gás de referência a cada 12 sessões de análise olfatométrica realizadas por este membro. A cada vez em que esta análise é feita, o histórico de medições deste jurado é modificado e avaliado. A avaliação deve ser feita através dos parâmetros descritos anteriormente e deve conter entre os 10 e 12 limites de percepção individual mais recentes. Se o membro não for aprovado segundo os critérios de avaliação citados, este deve ser excluído do painel até que seus resultados mostrem-se confiáveis novamente.

O número mínimo de jurados para compor o painel do olfatômetro é de 4 pessoas, segundo a norma europeia que recomenda o máximo de pessoas possível para que melhores resultados sejam obtidos.

### **3.6 A PROBLEMÁTICA DOS ODORES EM ATERROS SANITÁRIOS**

Um fenômeno perceptível diretamente pela vizinhança de aterros sanitários é a emissão de gases odorantes. Dois aspectos incentivam aos aterros sanitários tratarem os odores produzidos: a redução dos incômodos causados à vizinhança (para aumentar a aceitabilidade dos métodos de tratamento de resíduos sólidos) e o respeito à legislação de emissões odorantes (já este parâmetro vem sendo progressivamente introduzido em legislações internacionalmente). O controle de odores deve ser incluído de forma contínua e progressiva no gerenciamento de resíduos sólidos, incluindo a coleta, separação, compostagem e disposição final em aterros sanitários (Senante *et.al.*, 2003).

Como as áreas entre aterros sanitários e zonas residenciais têm diminuído cada vez mais devido ao crescimento contínuo das cidades, métodos para a medição e caracterização de odores além da análise de impacto causado pelo mesmo são cada vez mais requisitados (Bowly, 2003).

Segundo Senante *et.al.* (2003), em aterros sanitários, os odores associados à degradação dos resíduos sólidos são um dos maiores problemas a serem gerenciados pelos seus gerentes ao lidarem com administradores e a vizinhança. E para diminuir os incômodos causados à vizinhança, é importante ter um bom conhecimento da fonte dos odores, sua composição e as condições críticas nas quais o odor se espalha na atmosfera. Identificar, classificar e caracterizar odores em aterros sanitários são os passos necessários para se implementar os métodos apropriados para se reduzir a emissão de odores.

### **3.7 O METANO COMO INDICADOR DE ODORES**

Como um dos resultados da fermentação de matéria orgânica, o metano é um dos compostos químicos mais comumente encontrados nas emissões atmosféricas de aterros sanitários (Young, 1990).

O biogás, que é o produto da digestão anaeróbia de resíduos biodegradáveis, consiste principalmente de CH<sub>4</sub> (60-65%) e CO<sub>2</sub> (30-35%), além de vestígios de uma gama de compostos químicos (Pagé, 1996). Apesar destes compostos estarem presentes no biogás em pequenas concentrações, estes podem causar desconforto e problemas respiratórios devido ao seu odor e potencial toxicidade. E como a maioria dos aterros sanitários e lixões estão localizados próximos a áreas residenciais, este problema pode se tornar bastante sério devido aos seus efeitos adversos à saúde humana (Tagaris *et.al.*, 2003).

Os compostos químicos mais comumente citados como responsáveis pela emissão de odores por aterros sanitários são apresentados no (EPA, 2001)

Anexo 4. A proporção destes diferentes constituintes odorantes depende do ciclo de decomposição dos resíduos. A maioria dos compostos citados no (EPA, 2001)

Anexo 4 são típicos da fermentação na fase produtora de biogás. O ácido sulfídrico bem como os ácidos graxos são geralmente liberados a partir da fermentação de resíduos sólidos, ou seja, dos resíduos recentemente dispostos no aterro (Pagé, 1996).

Tagaris (2003) sugere que o metano pode ser utilizado como traçador para a presença de biogás, e, portanto, dos odores provenientes de biogás. A dispersão do biogás, e do odor causado pelo mesmo, deve produzir o mesmo comportamento para todos os componentes do biogás. Este autor ainda cita que a relação entre a concentração de CH<sub>4</sub> e a intensidade de odores em aterros sanitários foi demonstrada e que esta relação é diretamente proporcional, ou seja, quando maior a concentração de metano da amostra, maior a sua intensidade odorante.

Entretanto, se outras fontes emissoras de metano, como pântanos ou criadouros de animais, existirem na vizinhança do aterro sanitário, a taxa de produção destas unidades deve ser considerada e descartada da concentração total medida ou calculada.

### *3.7.1 OS FATORES METEOROLÓGICOS QUE INFLUENCIAM A EMISSÃO DE METANO*

Segundo Fécil (2003), as emissões superficiais de metano são caracterizadas por uma grande variabilidade espacial e temporal. Estas variações são devidas a numerosos fatores que podem interagir entre si. Os fatores mais significativos citados por este autor são os seguintes:

- Tipo de solo de recobrimento (espessura, porosidade, pH, presença ou ausência de vegetação);
- Tipo de sistema de captação de biogás e sua disposição espacial no terreno;
- Grau de degradação da matéria orgânica, em função da idade do aterro;
- Estação do ano;
- Variações na pressão atmosférica;
- Velocidade do vento;
- Temperatura (atmosférica e da massa de resíduos);
- Umidade do solo, causada por precipitação ou irrigação;
- Taxa de umidade da massa de resíduos e seu nível de saturação

A diminuição na pressão atmosférica acarreta no aumento das emissões de CH<sub>4</sub> devido à expansão do gás e à geração do mesmo na massa de resíduos (Börjesson e Svensson, 1997c). Assim, um aumento na pressão atmosférica teria o efeito oposto, diminuindo a emissão de biogás do solo. Segundo Young (1990), variações da emissão são proporcionais à variação de pressão ao curso do tempo ( $dP_{atm}/dt$ ), e não ao valor absoluto desta.

A velocidade do vento é um dos fatores que afetam a difusão molecular de biogás através da interface solo-atmosfera (Gowing, 2001 *apud* Fécil, 2003).

A temperatura ambiente deve supostamente possuir uma influência direta na emissão de biogás e odor, pois em temperaturas quentes, os compostos voláteis tendem a se volatilizar, aumentando assim a quantidade de COVs potencialmente odorantes na região do aterro sanitário. A temperatura ambiente pode também influenciar a atividade dos microorganismos: as temperatura baixas podem inibir a taxa de reações químicas (Pagé, 1996).

### **3.8 DISPERSÃO DE ODORES NA ATMOSFERA**

Segundo Grosfils(1994), duas tendências podem ser observadas em relação aos estudos de dispersão de odores: um grupo de estudiosos prefere o já conhecido modelo de dispersão de plumas bi-gaussiano por DFLP (Distribuição de Frequência à Longo Prazo) utilizado para descrever a dispersão de poluentes “usuais”. Outro grupo de cientistas utiliza um modelo desenvolvido especialmente para odores. Seu maior argumento é que o modelo gaussiano é baseado em médias horárias e que o nariz humano necessita de apenas 3 a 4 segundos para perceber um odor. A significação física de um modelo DFLP é, portanto, bastante fraca neste ponto.

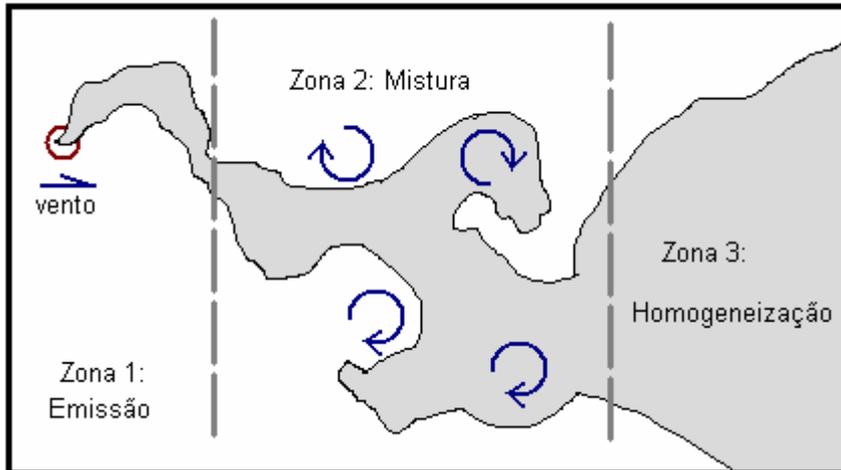
Pagé e Guy (1997) fazem parte do grupo que discorda da utilização do modelo clássico gaussiano para a dispersão de odores pelos mesmos motivos já citados. Além disso, os autores citam que as variações instantâneas na concentração de plumas, no nível do solo, são os principais causadores de problemas com odores ambientais.

Para compreender a dispersão dos odores é necessária a compreensão da micrometeorologia local. Para estudos de odores a camada atmosférica mais importante é aquela imediatamente acima do solo, é lá que os odores são emitidos e percebidos. Além disso, a área de estudo também é pequena, pois odores são problemas de escala localizada, com um pequeno raio de alcance, que varia de 100m a 5 km.

De acordo com Longhust (2003), é comum que variações potenciais nas emissões de odores sejam ignoradas e valores constantes são freqüentemente utilizados em modelos de dispersão de odores o que pode levar a graves erros que impedem uma boa interpretação dos resultados e que a origem dos odores seja descoberta.

A turbulência nas camadas mais baixas da atmosfera produz vórtices de diferentes escalas. Estes vórtices são redemoinhos extremamente instáveis e instantâneos que agem na pluma induzindo a mistura, horizontal e verticalmente, e flutuações nos valores de concentração da mesma (Figura 10).

Figura 10: *Vista de cima de uma pluma*

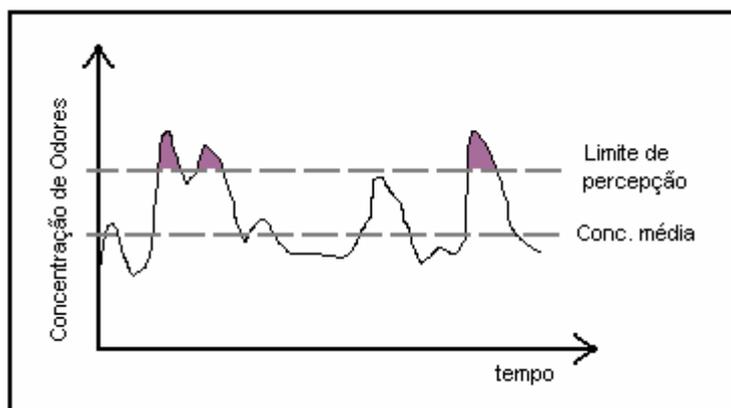


Fonte: Pagé e Guy (1997)

Os principais fatores que causam a ocorrência de vórtices são provindos de 2 tipos de turbulência: mecânica e térmica. A turbulência mecânica é causada pelo vento sobre a rugosidade do terreno e acarreta em vórtices de menor escala. Já a turbulência térmica é causada pelo fluxo de calor provindo do solo, que absorve, transforma e emite a energia eletromagnética absorvida do sol. Este fenômeno é de maior escala e acarreta em vórtices maiores (Pagé e Guy, 1997).

Assim, sendo este um sistema turbulento, variações na concentração sempre estão presentes. Considerando que o nariz humano não é sensível para concentrações médias, e sim para variações na concentração e, principalmente, para picos de concentração, mesmo que sejam instantâneos, o fator mais importante no estudo da dispersão dos odores é, então, a verificação da frequência em que limites de percepção de odores são ultrapassados (Figura 11).

Figura 11: *Variação na concentração em uma pluma com o tempo.*



Fonte: Pagé e Guy, 1997

### 3.8.1 O MODELO GAUSSIANO DE DISPERSÃO

Este modelo foi desenvolvido para prever as concentrações de poluentes a partir de uma fonte de emissão e pode, assim, ser utilizada para descrever a taxa de emissão da fonte (Stuetz, 2002). A concentração de poluentes em um ponto de coordenada (x,y,z) é dada pela equação:

$$C_{x,y,z} : N/(\pi\sigma_z\sigma_y u) \exp(-y^2/2\sigma_y^2) \exp(-z^2/2\sigma_z^2) \quad \text{Eq. 5}$$

Onde:  $\sigma_y$  : coeficiente de dispersão transversal

$\sigma_z$  : coeficiente de dispersão vertical.

Os coeficientes de dispersão são função da distância na direção do vento (x), da rugosidade do terreno e da estabilidade atmosférica.

## 3.9 ASPECTOS LEGAIS

### 3.9.1 A LEGISLAÇÃO BRASILEIRA SOBRE ODORES

A legislação brasileira é pouco específica em relação a padrões de emissões de odores. No artigo primeiro da resolução nº 003/1990 do CONAMA (Código Nacional do Meio Ambiente), em conformidade com o Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar – PRONAR, é especificado como 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 à flora;

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

Portanto, mesmo não sendo citada diretamente a presença de uma determinada substância odorante como fator de poluição atmosférica, este é abrangido na própria definição desta resolução por causar *inconveniente ao bem estar público*. Nos padrões de emissões de efluentes atmosféricos existem, é claro, substâncias de natureza odorante, entretanto, este efeito ao meio ambiente não é citado. Mesmo assim, é possível observar uma crescente tendência internacional da utilização dos odores como forma de avaliar o efluente emitido por indústrias. Isto ocorre devido a um aumento das exigências da população em geral por uma melhor qualidade de vida.

#### *Legislação do Estado do Paraná*

A resolução 042/2002 da Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMA) do estado do Paraná objetiva definir critérios para o controle da qualidade do ar neste estado e menciona no seu artigo 11º que “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”. Nesta

resolução, a quantidade de substâncias odoríferas emitidas deve ser quantificada por olfatométrica, conforme a norma Alemã VDI 3881: Olfactometry, Odour Threshold Determination.

### *Legislação do Estado de Santa Catarina*

O Decreto nº 14.250, de 05 de junho de 1981, refere à proteção e à melhoria da qualidade ambiental, em sua Seção II, artigo 3º: “Degradação da Qualidade Ambiental à alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do Meio Ambiente, causada por qualquer forma de energia ou substâncias sólidas, líquidas ou gasosas, ou a combinação de elementos produzidos por atividades humanas ou dela decorrentes, em níveis capazes de direta ou indiretamente:

I – prejudicar a saúde, a segurança e o bem-estar da população;

II – criar condições adversas às atividades sociais e econômicas;

III – ocasionar danos relevantes à flora, à fauna e a outros recursos naturais.”

Já no artigo 31º, lê-se que “É proibida a emissão de substâncias odoríferas na atmosfera em quantidades que possam ser perceptíveis fora dos limites da área de propriedade da fonte emissora.”

Esta legislação é considerada bastante rígida, até mesmo em comparação com a legislação de países europeus, onde o controle de qualidade do ar é bastante rígido. Isto por que nesta é solicitado que a indústria que emite odores passe à emissão zero, o que não é possível de se obter nas condições tecnológicas atuais, principalmente em indústrias em atividade ao ar livre, como a suinocultura e curtumes.

### *3.9.2 A LEGISLAÇÃO INTERNACIONAL SOBRE ODORES*

A Agência de Proteção Ambiental Americana (EPA) dá grande ênfase nas suas publicações no controle de odores na agricultura e pecuária, principalmente na criação e abatimento de animais, além do manejo, com ênfase no armazenamento, de fertilizantes naturais (estrupe). Os trabalhos publicados contém medidas para a construção de unidades onde a emissão de odores seja reduzida, entretanto, Silva (2002) afirma que não existe regulamentação federal nos Estados Unidos para odores. Entretanto, na legislação estadual dos 50 estados norte-americanos existe tal regulamentação.

No estado da Flórida, por exemplo, a regulamentação 62-296.30 proíbe odores objetáveis ao afirmar que “nenhuma pessoa deverá causar (...) a descarga de ar poluído que acarrete na contribuição de odor objetável. Programas locais de qualidade de ar têm suas próprias normas que podem se diferenciar desta”. No estado de Wisconsin, onde a principal atividade industrial é a de laticínios, o capítulo NR 429.03 da regulamentação de emissões odorantes afirma que “pessoa alguma pode causar (...) emissões no ar ambiente (...) de qualquer substância em quantidades das quais resultem odores objetáveis”. Em Nova Iorque, é citado que “poluição do ar” é proibida. Entende-se por poluição do ar a “presença neste de qualquer tipo de contaminante, inclusive odor, que interfira razoavelmente no gozo da vida e das propriedades”.

Silva (2002) também cita o surgimento da legislação de proteção ambiental na Alemanha após a segunda guerra mundial, e que a distância mínima e algumas das regulamentações do tipo MES (*Maximum Emissions Standards*) e MIS (*Maximum Impact Standards*) não são precisas. Na Suíça, impactos “muito altos” (se uma porção relevante da população sente-se significativamente incomodada) não são tolerados. Para determinar o desconforto é utilizado o método do questionário, que considera a reação do público numa escala que varia de zero a dez.

Na Holanda, a política visa evitar a presença de odores desagradáveis tanto quanto seja possível. A avaliação é feita anualmente através de questionários e suplementada por telefone (EPA, 2001). Os valores limites para emissões odorantes se diferenciam dependendo do tipo de indústria emissora e a sua colocação conforme obtida nos questionários à população podem ser observados no Anexo 3. Já no Reino Unido, o órgão da Ação de Proteção do Meio Ambiente contempla o aspecto legal dos odores desagradáveis e, em geral, são estabelecidos os padrões de emissão com referências aos odores (Stuetz e Frenchen, 2001 *apud* Silva, 2002).

A agência de proteção ambiental (EPA) irlandesa, por sua vez, tem tomado interesse em licenciar procedimentos onde existe emissão de odores. Foram preparados relatórios para regulamentar a emissão de odores de criadouros de animais e o mesmo tem sido feito para fazendas de plantio de cogumelos.

Conforme o mesmo autor, a União Européia possui um padrão completo para prevenir os odores desagradáveis em estações de tratamento de águas residuárias (ETE). Na Itália, o complexo problema dos odores sé tratado pela legislação sobre poluição atmosférica (DPR 203/88). No seu artigo 2º, é citado que as substâncias odoríferas colocadas na atmosfera, além de certos limites, podem “alterar as condições normais do ambiente e a salubridade do ar, sendo prejudicial ou causando dano direta ou indiretamente à saúde humana”.

Atualmente tem sido revisada a política de odores em Flandres, na região norte da Bélgica (Van Broeck, 2001 *apud* Van Harrenveld, 2003). O plano de política ambiental 2002-2006 em Flandres tem iniciativa de definir padrões de exposição de odores para 16 setores de atividade da economia belga (Van harrenveld, 2003).

No Canadá, a norma Q2.R20 estabelece o limite de odores para o estado de Quebec, no seu artigo 16, em 120 unidades de odor nos limites da fonte emissora. No estado de Ontário, este limite é de 1 unidade de odor nos limites da unidade habitacional mais próxima.

#### **4 METODOLOGIA**

A metodologia desta pesquisa consiste na realização de dois estudos de caso, que, em conjunto, têm como objetivo terminal prover compreensão e servir como fonte de pesquisa sobre os fatores ambientais atuantes nas emissões odorantes em aterros sanitários e a técnica olfatométrica de análise de odores através da certificação de um júri.

#### **4.1 LOCAL DE TRABALHO**

A pesquisa foi realizada na empresa Odotech Inc., localizada em Montreal, Canadá. Fundada em 1998 pelo Dr. Christophe Guy e pelo MSc. Thierry Pagé, a Odotech é uma empresa subsidiada pela École Polytechnique de Montréal e membro do grupo Polyvalor – incubadora de empresas da École Polytechnique. A missão da empresa é de desenvolver e implementar as tecnologias e experiência gerada pela École Polytechnique de Montréal na área de odores e poluição atmosférica. Assim, pode-se afirmar que a Odotech é uma empresa altamente especializada onde todas as suas atividades são direcionadas para a detecção e medição de odores.

Existem na empresa os departamentos de pesquisa e desenvolvimento, prestação de serviços e consultoria, além de uma unidade de manufatura de equipamentos. Dentre os serviços realizados pela Odotech, estão: serviços de consultoria, análises olfatométricas, tecnologias de alta performance, incluindo o olfatômetro por diluição dinâmica de última geração, além de softwares para modelagem matemática da dispersão de odores e monitoramento automatizado de odores utilizando-se de nariz eletrônico.

#### **4.2 ESTUDO DE CASO 1: AVALIAÇÃO DA EMISSÃO DE ODORES EM ATERROS SANITÁRIOS UTILIZANDO O METANO COMO INDICADOR**

O primeiro estudo de caso faz parte de um trabalho de pesquisa e desenvolvimento da empresa Odotech e da École Polytechnique de Montreal em cooperação com o Ministério do Meio Ambiente do estado de Quebec (Canadá) intitulado PARDE 9004.1 (Programa de Auxílio à Pesquisa e Desenvolvimento em Meio Ambiente).

O projeto PARDE 9004.1 tem como objetivo principal avaliar os impactos na qualidade do ar de aterros sanitários em emissões atmosféricas de odores e de elementos tóxicos. Este terá a duração de 2 anos e incluirá o estudo do impacto gerado pelas três categorias de aterros sanitários (de pequena, média e grande capacidade) em 6 aterros sanitários selecionados (3 aterros de pequena capacidade, 2 de média capacidade e um de grande capacidade). Fazem parte do projeto a medição das emissões superficiais de odores e a caracterização do biogás gerado, além da modelação da dispersão atmosférica, interpretação dos resultados e a identificação de compostos indicadores destas emissões.

Assim, foi traduzida na forma de um modelo estatístico a variação dos níveis de odores emitidos por aterros sanitários utilizando o metano como parâmetro indicador de odores. Para isto, foi estabelecida a correlação entre a concentração de CH<sub>4</sub> e a concentração de odores em amostras coletadas com câmara de fluxo e apresentadas a um júri em olfatometria. Posteriormente, foi construído um modelo matemático que descreve a relação entre a concentração de metano na superfície do terreno de acordo com a variação de parâmetros atmosféricos. Assim, foi possível descrever a variação da emissão de odores por aterros sanitários de acordo com a variação de parâmetros atmosféricos.

Para este estudo de caso foram concedidos dados de propriedade da École Polytechnique de Montréal e da Odotech, portanto alguns detalhes relativos ao local

de coleta destes foram mantidos em caráter confidencial neste trabalho, e somente poderão ser publicados integralmente após o término do projeto PARDE 9004.1.

#### 4.2.1 INSTRUMENTAÇÃO E CALIBRAÇÃO

O gás indicador de odores em aterros sanitários utilizado neste trabalho é o metano ( $\text{CH}_4$ ). O instrumento utilizado para medir a concentração deste, em ppm/v (partes por milhão em volume), é um aparelho FID (detector por ionização de chama à hidrogênio): *TVA-1000<sup>REG</sup>*, da marca Foxboro<sup>REG</sup> (Figura 12).

Figura 12: *TVA-1000*



Este foi calibrado através da medição de metano em sacos de tedar contendo amostras padrão em concentrações definidas (preparados em laboratório), além de ser pré-calibrado pela empresa fornecedora do equipamento.

O aparelho utilizado para medir os parâmetros meteorológicos – pressão atmosférica, velocidade do vento e temperatura – foi uma estação meteorológica portátil da marca *VantagePro<sup>REG</sup>*. A estação foi instalada no começo de cada dia, quando foi ligado um receptor e banco de dados, que recebe as informações coletadas por um barômetro, um anemômetro e um pluviômetro. Estes dados foram descarregados em computador ao final de cada dia de medições. A estação fica à aproximadamente 2 metros do solo. Assim os dados coletados são referentes a micrometeorologia local, na camada mais baixa da atmosfera (troposfera).

Para a análise estatística e construção do modelo da emissão dos odores pretende-se utilizar o programa *Statistica<sup>REG</sup>* (*StatSOFT*), além de planilhas em Microsoft Excel.

#### 4.2.2 COLETA DE DADOS

Nos dias 19 e 20 de novembro de 2003, foram adotados 4 pontos de medição em um dos aterros sanitários do estado de Quebec. Estes pontos foram escolhidos no primeiro dia de coleta, dentro de uma área de aproximadamente 2.500 m<sup>2</sup>, conforme

algumas medições de metano realizadas neste momento. Locais que mostraram altas concentrações de metano foram escolhidos. Nestes pontos foram realizadas medições a aproximadamente cada 30 minutos dos seguintes parâmetros:

- Concentração de metano com câmara<sup>3</sup> e TVA-1000 (MCI);
- Concentração instantânea de metano com TVA-1000 (MCC);
- Pressão atmosférica (estação portátil);
- Temperatura atmosférica (estação portátil);
- Velocidade do vento (estação portátil);

A concentração de metano na superfície do terreno foi medida de duas maneiras: (1) Através da medição instantânea<sup>4</sup> com o TVA-1000 à aproximadamente 10 cm da superfície do solo e (2) através da medição em uma versão simplificada de uma câmara estática, após 45 segundos de espera para a mistura do ar interior, também com TVA-1000 (Figura 13). Esta medida foi tomada para minimizar o distúrbio causado pelo vento na medição instantânea.

Figura 13: *Medição da concentração de metano com câmara*



A concentração de odor foi medida através de olfatometria dinâmica a partir de amostras coletadas com câmara de fluxo dinâmica (Figura 15) em sacos de TEDLAR<sup>REG</sup> (Figura 14), conforme procedimentos e equipamentos descritos neste trabalho.

---

<sup>3</sup> A câmara utilizada não foi especificada como uma câmara estática pois apresenta um modelo mais simplificado, onde a abertura superior não é selada.

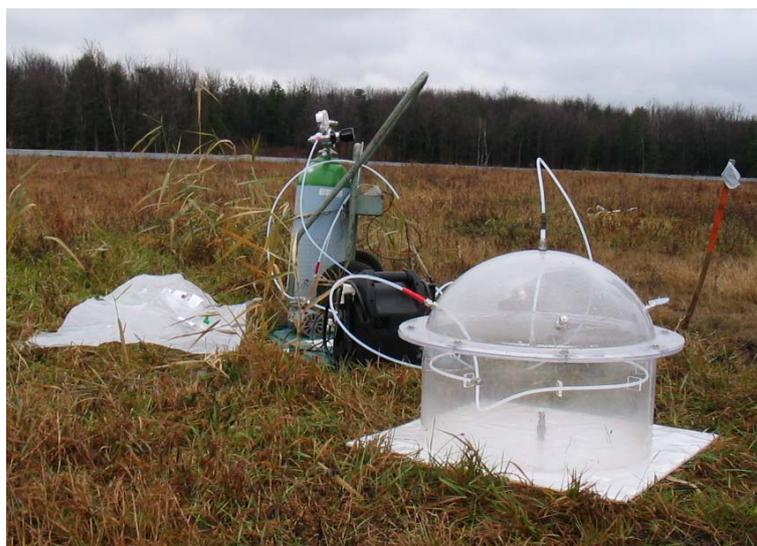
<sup>4</sup> Cada medição levou aproximadamente 15 segundos até que o aparelho forneça uma medição relativamente consistente.

Figura 14: *Saco de TEDLAR<sup>REG</sup>*



Os dados coletados nestes dias estão listados no Anexo 7.

Figura 15: *Montagem para coleta de amostra de ar*



Para estabelecer a relação entre a concentração de odor e de metano, foram utilizados os dados provenientes da análise olfatométrica das amostras coletadas no dia 20 de novembro. Para o cálculo do valor de fluxo superficial de metano, foi utilizada a Equação 4 e a concentração de odor foi calculada através de olfatométrica dinâmica com o aparelho Odile<sup>REG</sup>.

#### 4.2.3 CORRELAÇÃO ENTRE OS PARÂMETROS MEDIDOS

Primeiramente foi estabelecida uma correlação entre a concentração de odores e de metano de amostras coletadas com câmara de fluxo e de medições instantâneas, respectivamente. Neste dia apenas duas amostras de ar para olfatométrica foram coletadas, pois para o presente estudo o custo das análises não se tornou viáveis. Portanto, para aumentar o número de dados de concentração de odor, foram também utilizados dados coletados anteriormente pela equipe para o projeto PARDE<sup>5</sup>, num total de 43 dados.

Estes valores podem ser observados no Anexo 5, onde são dispostos os dados de concentração instantânea de metano (MCI) e medição de concentração de metano com câmara (MCC), bem como o fluxo de metano calculado também através da Equação 4, para câmara de fluxo, quando a sonda do TVA-1000 foi introduzida na câmara para determinar a concentração de metano dentro desta. Além destes, também são dispostos os resultados obtidos para a concentração de odor (CO) das amostras coletadas com câmara de fluxo e o fluxo calculado.

Para a realização deste cálculo foram utilizados os seguintes valores:

- Diâmetro da câmara (D) = 0,49 m;
- Área da superfície coberta pela câmara (A) = 0,189 m<sup>2</sup>;
- Vazão de ar inserido na câmara (Q<sub>ar</sub>) = 10 l/min ou 0,6 m<sup>3</sup>/s.

E a Equação 4:

$$F_i = [i] \times Q_{ar}/S \quad \text{Eq. 4}$$

Assim, foram realizadas as relações entre MCI x Fluxo de Odor, MCC x Fluxo de Odor e Fluxo de Metano x Fluxo de Odor, em Excel.

A próxima relação estabelecida foi entre os parâmetros meteorológicos – velocidade do vento, temperatura atmosférica e pressão atmosférica – e a concentração de metano (CH<sub>4</sub>), medida diretamente (MCI) e com câmara (MCC). Não foi possível estabelecer uma relação direta entre os parâmetros meteorológicos e a concentração de odor pois, como foi explicado anteriormente, não foram coletadas amostras de ar para análise olfatométrica na mesma frequência em que foram medidas as concentrações de CH<sub>4</sub>.

---

<sup>5</sup> Estes dados têm caráter confidencial e, assim sendo, não podem ser utilizados para outros fins senão complementação deste trabalho. Os dados foram coletados e analisados nas mesmas condições descritas neste trabalho, mas em diferentes aterros sanitários, cujos nomes não podem ser citados neste trabalho.

Como valores absolutos de pressão atmosférica não têm significado físico na sua influência na emissão de biogás, foi realizada a diferença entre a última medição de pressão e a divisão pelo tempo decorrido entre estas, obtendo-se (dp/dt) em hpa/min. Isto acarretou no descarte da primeira medição de cada dia, diminuindo o conjunto de dados de 42 para 34. Como o conjunto de dados ainda é superior a 30, não foi realizado o teste de Student para a significância da amostragem.

Utilizando o programa *Statística*, foi realizada a regressão múltipla entre estes parâmetros, tendo:

1) MCI como variável dependente e TEMP, VENTO e dP/dT como variáveis independentes;

2) MCC como variável dependente e TEMP, VENTO e dP/dT como variáveis independentes;

Para o cálculo do coeficiente de correlação de Pearson ( $R^2$ ), foi utilizada a Equação 6:

$$r = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{\{[n\sum X^2 - (\sum X)^2][n\sum Y^2 - (\sum Y)^2]\}}} \quad \text{Eq. 6}$$

Onde  $n$  : número de argumentos  
 $X$  e  $Y$  : Coordenadas de cada argumento

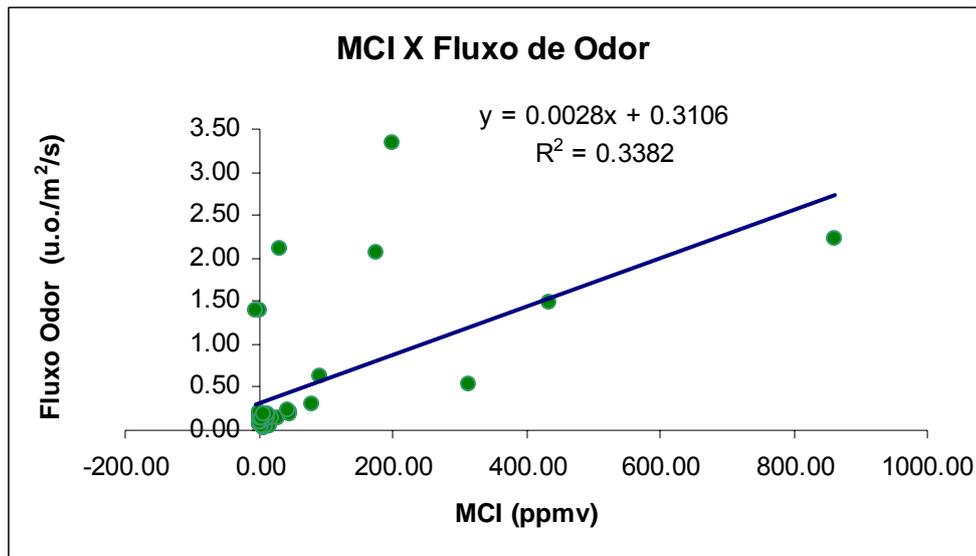
#### 4.2.4 RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados observados para as correlações entre as concentrações de metano e de odor foram os seguintes:

##### ***MCI x Fluxo de Odor:***

Foram plotados 38 valores para a concentração de metano medidos diretamente com o TVA-1000, e os valores para fluxo de odor (Figura 16). O coeficiente de correlação  $R^2$  encontrado foi igual a 0,3382 ( $R = 0.582$ ), demonstrando uma dependência fraca entre as variáveis.

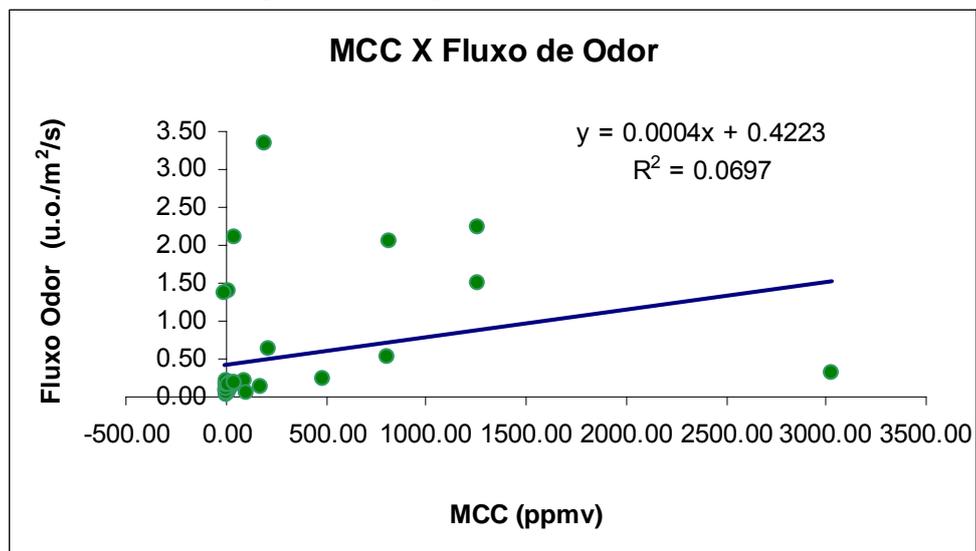
Figura 16: *Relação linear MCIxFluxo de Odor*



***MCC x Fluxo de Odor:***

Foram plotados 37 valores para a concentração de metano medida com TVA-1000 e câmera, e os valores para fluxo de odor (Figura 16). O coeficiente de correlação  $R^2$  encontrado foi igual a 0,0697 ( $R = 0.264$ ), demonstrando uma dependência ainda mais fraca entre estas variáveis.

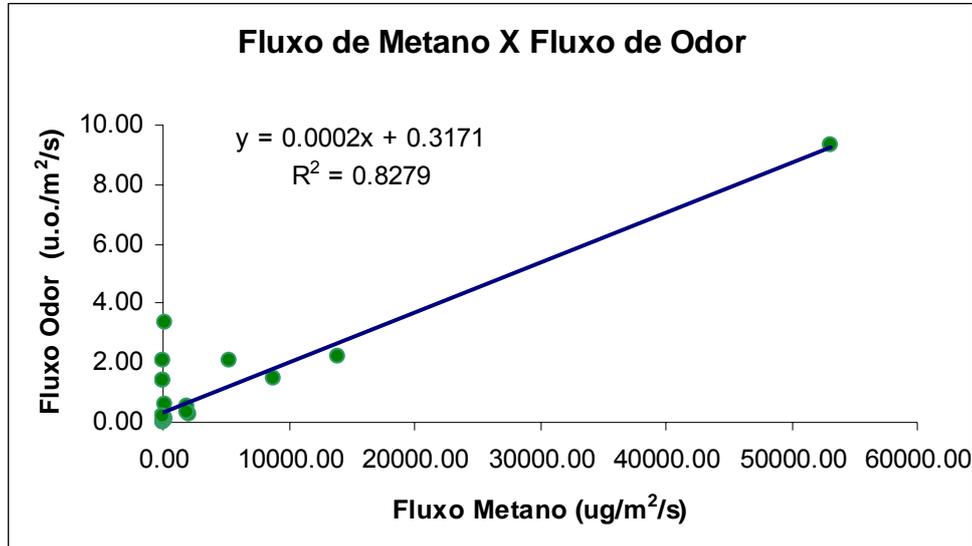
Figura 17: *Relação linear MCC x Fluxo de Odor*



***Fluxo de Metano x Fluxo de Odor:***

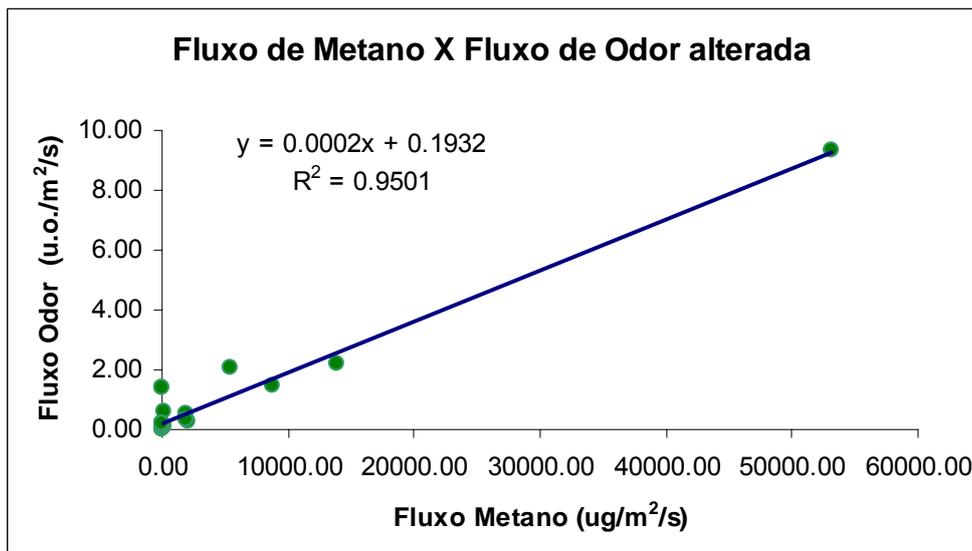
A figura 19 mostra que a relação linear entre 43 valores para o fluxo de metano, medido na câmara de fluxo, e a concentração de odores obtida através de olfatometria é consistente ( $R^2 = 0,8279$  ou  $R = 0,91$ ).

Figura 18: *Relação Fluxo Metano x Fluxo de Odor*



Como os dados para o gráfico acima foram coletados em diferentes datas e em diferentes aterros sanitários, Ao se retirar os dois dados mais distantes da curva de correlação – (91,90 ; 3,33) e (52,64 ; 2,11) – do conjunto de 43 dados de amostragem total, observa-se (Figura 19) que o coeficiente de correlação  $R^2$  da curva é alterado para 0,9501 ( $R = 0,9747$ ).

Figura 19: *Nova relação Fluxo Metano x Fluxo de Odor*



Assim sendo, considerou-se a última curva como o melhor resultado deste estudo, devido aos melhores fatores de correlação obtidos. Este resultado pode ser

explicado devido à correlação física entre as variáveis, que foram medidas no mesmo ambiente (câmara de fluxo), sob as mesmas condições.

Supõe-se, portanto, que estudo valida assim o uso da câmara de fluxo dinâmica para medição da concentração de metano e futuro cálculo da concentração de odor equivalente, desde que medido em aterro sanitário e sob as mesmas condições (vazão e dimensões) descritas. Mesmo que este estudo inclua dados de diferentes aterros sanitários, recomenda-se que a veracidade deste cálculo seja testada em condições locais através de múltiplas medições de concentração de odor em olfatométrica e comparações com as medições de concentração de metano na câmara.

**Concentração de Metano e Parâmetros meteorológicos:**

Na correlação entre os parâmetros meteorológicos e a concentração de metano, a matriz de correlação obtida foi a seguinte (Tabela 5):

Tabela 5: Coeficientes de correlação

	<i>MCI</i>	<i>MCC</i>	<i>TEMP</i>	<i>VENTO</i>	<i>dP/dT</i>
<i>MCI</i>	1.000	0.807	-0.310	-0.232	0.277
<i>MCC</i>	0.807	1.000	-0.341	-0.301	0.213
<i>TEMP</i>	-0.310	-0.341	1.000	0.540	-0.663
<i>VENTO</i>	-0.232	-0.301	0.540	1.000	-0.304
<i>dP/dT</i>	0.277	0.213	-0.663	-0.304	1.000

Analisando estes coeficientes, pode-se afirmar que a temperatura tem maior influência na variação da emissão de metano, entretanto, nenhum destes coeficientes atingiu valores otimistas para o estudo.

Acredita-se que o vento tem influencia inversamente proporcional aos valores medidos de concentração de metano, devido à maior diluição que este causa no biogás emitido pelo solo. Este resultado deve ser avaliado com cuidado, pois é explicado na revisão bibliográfica (segundo Gowing,2001 *apud* Fécil,2003) que o vento tende a aumentar a emissão de metano ao afetar a difusão molecular de biogás através da interface solo-atmosfera.

Os resultados obtidos, utilizando o programa *Statística* para a regressão múltipla entre estes parâmetros, foi:

1) *Com MCI como variável dependente e TEMP, VENTO e dP/dT como variáveis independentes:*

Coeficiente de correlação  $R^2 = 0,112$

$P < 0,0632$

$T(30) = 1,9291$

Numero de dados do conjunto = 34

Tabela 6: *Resumo dos resultados MCI x (T,V,P).*

	$\beta$	<i>Erro <math>\beta</math></i>	<i>B</i>	<i>Erro B</i>
<i>A</i>			124,1868	64,38

<b>TEMP</b>	-0,163391	0,2609	-5,0218	8,02
<b>VENTO</b>	-0,101711	0,2052	-2,6373	5,32
<b>dP/dT</b>	0,137905	0,230	893,3185	1493,05

Equação obtida:

$$\text{MCI} = 124,19 - 5,02 \cdot T - 2,64 \cdot V + 893,32 \cdot P \quad \text{Eq. 7}$$

Onde

- MCI: Concentração de metano instantânea;
- T: Temperatura do ar (°C);
- V: Velocidade do vento (m/s);
- P: variação da pressão atmosférica com o tempo (hpa/min).

2) Com MCC como variável dependente e TEMP, VENTO e dP/dT como variáveis independentes:

Coefficiente de correlação  $R^2 = 0,136$

$P < 0,0250$

$T(30) = 2,3604$

Numero de dados do conjunto = 34

Tabela 7: Resumo dos resultados MCC x (T,V,P).

	$\beta$	Erro $\beta$	<b>B</b>	Erro <b>B</b>
<b>A</b>			3935,77	1667,43
<b>TEMP</b>	-0,255213	0,2575	-205,86	207,74
<b>VENTO</b>	-0,165269	0,2025	-112,47	137,80
<b>dP/dT</b>	-0,005915	0,2275	1005,66	38672,72

Equação obtida:

$$\text{MCI} = 3935,77 - 205,86 \cdot T - 112,47 \cdot V + 1005,66 \cdot P \quad \text{Eq. 8}$$

Onde

- MCC: Concentração de metano com câmara;
- T: Temperatura do ar (°C);
- V: Velocidade do vento (m/s);

P: variação da pressão atmosférica com o tempo (hpa/min).

A partir dos resultados apresentados pode-se concluir que a correlação entre a concentração de CH<sub>4</sub> e os parâmetros meteorológicos medidos não é significativa. Pode-se afirmar que a introdução de mais parâmetros meteorológicos, como a saturação do solo e a radiação solar podem propiciar uma relação mais estreita entre os parâmetros e explicitar melhor o porquê da variação na emissão de biogás pelo aterro.

### **4.3 ESTUDO DE CASO 2: CERTIFICAÇÃO DE JURI**

O segundo estudo de caso foi realizado na École Polytechnique de Montréal. Para a realização deste projeto é necessário a operação do olfatômetro e para tal foi realizado um treinamento na mesma universidade.

Os testes foram realizados de acordo com o protocolo descrito na norma da união européia EN:13725, descrita no item 3.5 deste trabalho. O gás de referência utilizado foi o n-butanol, diluído em nitrogênio.

#### **4.3.1 O APARELHO UTILIZADO**

O olfatômetro Odile<sup>REG</sup> é um equipamento que opera por diluição dinâmica, ou seja, que realiza uma mistura da amostra odorante com um gás inodoro para a sua apresentação a um painel. Este apresenta 5 portas de saída para o painel, conforme a Figura 20. Destas, três são utilizadas para a maioria dos testes e outras duas são utilizadas para testes mais avançados, com jurados de treinamento avançado.

O aparelho é de funcionamento eletrônico e realiza diversas tarefas, dentre elas a apresentação de diversas diluições da amostra ao painel de pessoas, análise contínua dos resultados apontados pelo painel e otimização da seqüência de preparação das diluições das amostras gasosas.

A partir deste equipamento é possível determinar os seguintes parâmetros referentes ao odor amostrado (Caron *et.al.*, 2000):

- Concentração;
- Limites de percepção e de caracterização;
- Caracterização hedônica para a determinação do nível de apreciação do odor;
- Avaliação da intensidade relativa do odor.

Os tipos de análise que podem ser realizadas com este equipamento são:

- Medição da concentração de odor pela diluição da amostra a partir da medição do limite de percepção olfativa (utilizado-se dos métodos de escolha triangular, sim ou não e métodos de escolha cega);
- Medição da intensidade do odor numa escala de 1 a 10 (através da apreciação individual);

- Medição da intensidade do odor utilizando uma substância padrão como referência (Ex: Butanol);
- Medição do aspecto hedônico do odor.

Este olfatômetro é composto das seguintes unidades:

### ***Diluição***

Consiste de diversos controladores de vazão e saturadores utilizados para obter uma diluição de até 1:2.000.000 sem pré-diluição das amostras. Este sistema também tem a função de gerar vazões de butanol em concentrações de 5 a 75.000 ppb, fornecer vazões de ar ultrapuro para iniciar o epitélio olfatório dos membros do painel e participar da escolha triangular, e, finalmente, efetuar a limpeza do sistema. (Caron *et.al.*, 2000)

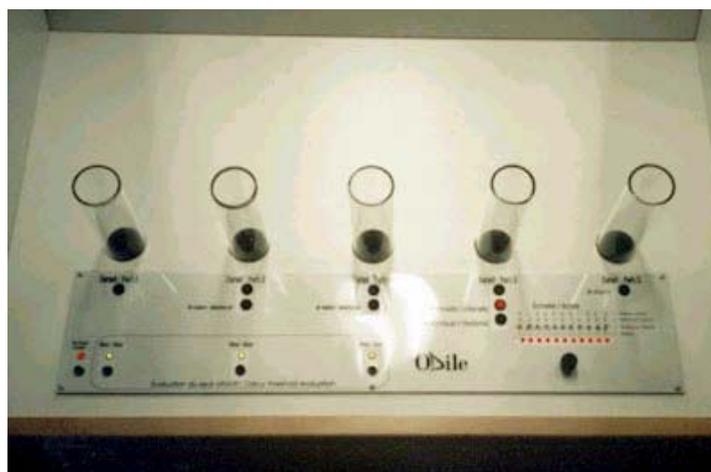
### ***Sistema Operacional***

O software do aparelho permite controlar todo o processo de análise olfatométrica e receber as respostas do júri. Este, portanto, também faz parte da interface do equipamento com o júri e o operador. Os dados obtidos através das diversas análises são então arquivados na biblioteca do computador e os resultados são computados após um tratamento estatístico dos dados obtidos (Caron *et.al.*, 2000).

### ***Postos de Inalação do Odor***

O olfatômetro é composto de 6 postos de inalação de odor (para 6 jurados) operando simultaneamente. Cada posto consiste em 3 a 5 portas de saída (Figura 20) e um painel com botões para que possa ser feita a comunicação entre o júri e o operador. Três destas portas são utilizadas para a caracterização do limite de percepção de odores, quando ar puro é injetado através 2 portas e a outra emite a amostra odorante.

Figura 20: Interface do olfatômetro *Odile*<sup>REG</sup>.



Fonte: [www.odotech.com](http://www.odotech.com)

### *Sistema de purificação de ar*

Para que seja possível utilizar ar puro nas análises, o equipamento filtra o ar utilizado nas diluições com um filtro de carvão ativado e um filtro de partículas. O ar puro fica então armazenado num recipiente pressurizado (Caron *et.al.*, 2000).

#### 4.3.2 REALIZAÇÃO DOS TESTES

O procedimento básico para a realização das análises foi o seguinte:

Metodologia para a realização de cada sessão de teste:

- 1) Ligar o olfatômetro (30 minutos antes de se abrir o programa de operação);
- 2) Abrir a válvula de entrada de ar puro no olfatômetro;
- 3) Conectar a tubulação que liga a garrafa de n-Butanol a uma das entradas de ar odorante do olfatômetro;
- 4) Abrir a válvula do tanque de n-Butanol, regular a pressão de saída para 20 psi;
- 5) Verificar a concentração de n-Butanol na garrafa em laudo laboratorial do fornecedor (numa encomenda de n-butanol à 10ppm, por exemplo, a concentração real na garrafa pode ser de 9,5 até 12 ppm);
- 6) Ligar o computador e abrir o programa Odile®;
- 7) Clicar em New → Analysis;
- 8) Verificar a concentração de n-butanol descrita no programa e alterá-la caso a garrafa de gás tenha sido trocada recentemente;
- 9) Digitar os nomes dos jurados, bem como do operador do olfatômetro;
- 10) Especificar o tipo de teste a ser realizado (jury evaluation);
- 11) Iniciar os testes;
- 12) Ao final, recomenda-se que sejam limpas as 3 portas de emissão de odor em *Clean SniffingPort* e também que sejam limpas as tubulações internas do olfatômetro (*cleanup*) por 12 ciclos, ou aproximadamente uma hora.

Os testes aconteceram nos dias 7, 10 e 14 de novembro de 2003, respeitando o período mínimo de 3 dias entre cada teste, no laboratório de olfatomia da École Polytechnique de Montréal. Foram convidadas 7 pessoas para participarem da certificação. O olfatômetro Odile<sup>REG</sup> é operado com 6 jurados, mas sempre é convidado também um 7º jurado, para o caso de uma desistência. Dentre as pessoas convidadas, apenas 4 compareceram no dia da primeira sessão de análises.

Foram apresentadas amostras de n-butanol diluído aos jurados, em diferentes portas de saída, e coube aos jurados, avaliar as 3 portas e clicar no botão abaixo da porta da qual estes acreditam produzir odor. Se o jurado não sentir odor, este é orientado a clicar num quarto botão "*sem odor*". As concentrações de n-butanol apresentadas iniciavam-se em 1 ppb e seguiam progressivamente, em múltiplos de 1,59 até que por duas vezes todos os jurados sentissem o odor.

Como o limite inferior de percepção do n-butanol varia entre 20 e 120 ppb, as respostas deste tipo de análise apresentam uma grande variedade. A maioria das pessoas o percebe antes mesmo da concentração atingir 20 ppb, mas se esta falhar a lhe perceber na próxima apresentação, este primeiro resultado é eliminado.

Por exemplo, se o jurado responde positivamente à concentração de 10 ppb, mas erra à concentração de 16 ppb e acerta novamente a partir de 40 ppb, o resultado positivo em 10 ppb é descartado e o limite de percepção para este teste é então a média entre 16 e 40 ppb, ou seja, 28 ppb/v.

No primeiro dia foram realizados 5 testes, donde o primeiro teste foi descartado e apenas 4 configuram no conjunto de resultados, como pode ser observado no Anexo 9. Apesar de não ser especificado em norma, nos dias seguintes também foram realizadas análises sobressalentes que foram descartadas. Esta providência foi tomada para que a primeira análise tivesse um propósito educacional e pudesse ser interrompida diversas vezes, para responder a dúvidas e questionamentos da parte dos jurados. Estes testes também tiveram o objetivo de “ensinar” ou “relembrar” ao sistema olfativo de cada jurado do odor do gás de referência.

Cada pessoa foi informada do funcionamento do aparelho, o procedimento no qual elas participariam e perguntas foram respondidas. É explicado aos jurados que a concentração de n-butanol inicia-se num nível extremamente baixo e cresce até que todos os jurados sintam o odor por uma ou duas vezes.

Os resultados obtidos no olfatômetro foram anotados em um formulário (Anexo 8), onde apenas foram marcadas as diluições criadas pelo aparelho e a resposta de cada jurado (sendo esta representada por um valor binário: 0 para respostas negativas e 1 para respostas positivas). Depois estes resultados foram introduzidos em uma planilha Excel (Anexo 9) para o cálculo do limite de percepção individual para cada sessão, a média dos limites de percepção individuais e o desvio padrão destes resultados, expresso pela equação 9.

$$S_{ITE} = \sqrt{\{[n\sum x^2 - (\sum x)^2]/[n(n-1)]\}} \quad \text{Eq. 9}$$

Onde  $y$ : desvio padrão do conjunto

$n$  : número de argumentos

$X$  e  $Y$  : Coordenadas de cada argumento

Segundo a norma, o limite de percepção individual dos jurados aprovados deve ser maior que 20 ppb/v e menor que 80 ppb/v de n-butanol. Outro critério é o anti-log do desvio padrão calculado dos logaritmos ( $\log_{10}$ ) dos limites individuais, que deve ser menor que 2,3.

#### 4.3.3 RESULTADOS OBTIDOS

Dentre as quatro pessoas avaliadas, apenas uma (júri nº3) não foi classificada como jurado segundo a norma europeia para olfatométrica dinâmica, por apresentar um limite de percepção individual igual a 14 ppb/v, inferior ao mínimo exigido pela norma, de 20 ppb/v. Ou seja, segundo a norma EN: 13725, 2003, este jurado apresentou-se excessivamente sensível ao odor.

Os resultados obtidos para os testes foram os seguintes:

***júri nº 1:***

$$10^{S_{ITE}} = 1,56 < 2,3$$

$$10^{Y_{ITE}} = 40,85 \text{ ppb/v (entre 20 e 80 ppb/v)}$$

Jurado aprovado.

***júri n° 2:***

$$10^{S_{ITE}} = 2,065 < 2,3$$

$$10^{Y_{ITE}} = 23,59 \text{ ppb/v (entre 20 e 80 ppb/v)}$$

Jurado aprovado.

***júri n° 3:***

$$10^{S_{ITE}} = 1,51 < 2,3$$

$$10^{Y_{ITE}} = \underline{14,35} \text{ ppb/v (menor que 20 ppb/v)}$$

Jurado reprovado.

***júri n° 4:***

$$10^{S_{ITE}} = 1,49 < 2,3$$

$$10^{Y_{ITE}} = 21,77 \text{ ppb/v (entre 20 e 80 ppb/v)}$$

Jurado aprovado.

Cabe aqui ressaltar a importância da informação dos jurados antes e durante as análises. Quanto mais informados forem, menor será a quantidade de “chutes” – quando o jurado não sente o odor, mas não clica no botão “sem odor”, e tenta acertar ao clicar em uma das três portas. Quando este acaba por acertar a porta, resultados irreais são gerados

A concentração de n-butanol na garrafa deve ser de 10ppm, portanto recomenda-se que seja feita uma análise extra nesta garrafa, para se obter a concentração exata, com três algoritmos significativos, do gás. Isto pois uma garrafa à 10ppm pode, na realidade conter n-butanol em 9 ou 12 ppm, e como o nariz humano percebe este gás em concentrações a partir de 20ppb, mesmo um erro de 0,5 ppm acarretaria num grande erro na análise.

Durante a operação do olfatômetro, deve ser observada a pressão nos diversos pontos de entrada do olfatômetro e a posição correta das diversas válvulas. Se algum jurado deixa dar qualquer resposta nos 15 segundos que lhes são concedidos, o computador classifica a sua resposta como 0, ou seja, como se estivesse indicado “nenhum odor” ou se estivessem errado uma tentativa (por exemplo, clicaram na porta 2, quando o odor saía da porta 3). Desta forma recomenda-se que seja sempre observada a tela do computador e que o teste seja repetido se algum jurado deixar de responder à tempo.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste trabalho foram realizados dois estudos de caso, ambos na temática de poluição de ar causada por odores.

No primeiro estudo de caso os resultados obtidos mostraram que é possível utilizar medições de concentração de metano em biogás para estimar a concentração de odor emitida por aterros sanitários desde que a medição de concentração de metano seja feita nas mesmas condições físicas que as amostras de ar para olfatosmetria são coletadas. Admite-se que a composição de biogás varie temporalmente e localmente, mas mesmo assim foi verificada a consistência da relação entre a concentração de Metano e Odores.

Entretanto, recomenda-se que novas pesquisas nesta área sejam realizadas em aterros sanitários no Brasil, para verificar se esta variação na composição do biogás e a proporção de gases odorantes acarrete e uma diferente relação entre estes parâmetros (concentração de metano e odores).

É importante ressaltar aqui que a presença de demais fontes emissoras de metano na vizinhança seja sempre verificada, e que a taxa de emissão destas fontes seja considerada, à priori do início de estudos desta natureza.

Quanto à avaliação da influência de parâmetros meteorológicos na emissão de biogás, também utilizando metano como gás indicador, os resultados atingidos mostrados que a quantidade de parâmetros analisados não foi suficiente para se obter uma relação consistente. Recomenda-se que em futuros estudos desta natureza, outros parâmetros, como a nebulosidade e saturação do solo sejam adicionados ao grupo de parâmetros. Recomenda-se também que o conjunto amostral também seja maior, preferencialmente com dados medidos a cada 2 ou 5 minutos, para que também possa ser avaliada a variação temporal da emissão, se esta é perene ou intermitente.

No segundo estudo de caso, foram avaliadas 4 pessoas conforme os critérios da norma da comunidade europeia EN:13725 de 2003: Qualidade do ar: Determinação da concentração de odores através de olfatosmetria dinâmica. Esta norma especifica um método para a determinação objetiva da concentração de odores em amostras gasosas utilizando olfatosmetria dinâmica com jurados humanos e o cálculo do fluxo de emissão de odores de fontes localizadas ou dispersas.

Na realização deste estudo, foram observados diversos pontos à se guardar quando da realização deste teste para avaliação de jurados, estes pontos estão descritos no item 4.3.2. deste trabalho. Dentre as quatro pessoas avaliadas, três foram aprovadas e podem ser servir aos estudos como jurados para olfatosmetria, conforme as exigências da norma. O jurado número 3 foi reprovado por mostrar-se excessivamente sensível ao odor, ou seja, seu limite de percepção individual ao n-butanol foi inferior ao mínimo exigido.

A avaliação de jurados é um aspecto importante da análise olfatométrica, e deve ser realizada sempre que um novo jurado é incorporado ao grupo; e também periodicamente para avaliar a evolução da percepção olfativa de cada jurado, no que se recomenda que uma planilha seja construída e revisada periodicamente.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AIRES, M. M.(1999) **Fisiologia**. Ed. Guanabara-Koogan. Rio de Janeiro.
- ÅKESSON, M. NILSSON, P. (1998) **Material dependence of methane production rates in landfills**, Waste Management & Research, volume 16, p. 108-118.
- BARBOSA, V.L. DUFOL, D. CALLAN, J.L. SNEATH, R. STUETZ, R.M. (2003) **Hydrogen sulphide removal by activated sludge diffusion**. 2<sup>nd</sup> IWA International Conference on Odour & VOCs – Measurement, Regulation and Control Techniques. Singapura.
- BATEMAN, C.S. (1993) **Modelling landfill gas production**. *Proceeding of the Sardenia 93, Sixt International Landfill Symposium*. Cagliari.
- BELLI FILHO, P. LISBOA, H. M.(1998) **Avaliação de emissões odorantes**, *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, Out-Dez 98.
- BELLI FILHO, P. B. WOLFF, D. B. CARVALHO, C.M. DA COSTA, R.H.R. RIBEIRO, L.G. (2000) **Gestão de odores e biodesodorização em uma estação de tratamento de esgoto sanitário**, *XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Porto Alegre.
- BIRD, R. B., STEWART, W. E. ET LIGHTFOOT, E. N. (1960). **Transport Phenomena**, John Wiley & sons, Inc, New York, 780 páginas.
- BOCKREIS, A. STEINBERG, I. (2003) **European Standards**, Section Waste Management and Waste Technology, Darmstadt University of Technology. Disponível em: [www.compostnetwork.info/downloads](http://www.compostnetwork.info/downloads) em 12 de novembro de 2003.
- BOGNER, J.E. SPOKAS, K.A. JOLAS, J. (1993) **Comparision of measured and calculated methane emissions**, *Proceeding of the Sardenia 93, Sixt International Landfill Symposium*. Cagliari.
- BOGNER, J.E. MEADOWS, M. CZEPIEL, P. (1997a). **Fluxes of methane between landfills and the atmosphere: natural and engineered controls**. *Soil Use and Management*, Vol. 13, p. 268-277.
- BOGNER, J.E. SPOKAS, K.A. BURTON, E.A. (1997b) **Kinetics of methane oxidation in a landfill cover soil: Temporal variations, a whole-landfill oxidation experiment, and modeling of net CH<sub>4</sub> emissions**, *Environmental science & technology*, Vol. 31, p. 2504-2514.
- BOLTZE, U. FREITAS, M. H. (1997). **Monitoring gas emissions from landfill sites**, Waste Management & Research, volume 15, p. 463-476.
- BONOLI, A. OLIVIERI, F. PARDO, M. SBERVEGLIERI, G. CIANCABILLA, F. BERGONZONI, M. (2003) **Use of an Electronic Nose to Identify Odours Collected in an Urban Waste Landfill**. *Proceeding of the Sardenia 2003, Ninth International Landfill Symposium*. Cagliari.
- BÖRJESSON, G. SVENSSON, B. H. (1997a). **Seasonal and diurnal methane emissions from a landfill and their regulation by methane oxidation**, *Waste management & research*, volume 15, p. 33-54.

- BÖRJESSON, G. SVENSSON, B. H. (1997b). **Effect of gas extraction interruption on emissions of methane and carbon dioxide from landfill, and on methane oxidation in the cover soil**, *Journal environment quality*, Vol. 26, p. 1182-1190.
- BÖRJESSON, G. SVENSSON, B. H. (1997c). **Measurements of Landfills Gaseous Emissions and Investigations on Methane Oxidation in the Cover Soils**, *Proceeding Sardinia 97 - Sixth International Landfill Symposium*, S. Margherita di Pula (Cagliari), Sardinia, Italy, Vol. 4, p. 45-52.
- BOWKER, A.H. LIEBERMAN G.J. (1965) **Méthodes statistiques de l'ingénieur**, Dunod, Paris, 516 páginas.
- BOWLY, S.W. (2003) **An Assessment of Current Methods for Quantifying Landfill Odours**. *Proceeding of the Sardenia 2003, Ninth International Landfill Symposium*. Cagliari.
- CARON, R.-F. DÉBEUF, E. GIASSON, F. GUY, C. PAGÉ, T. (2000) **Odile<sup>MC</sup> - Manuel technique et d'opération**. Odotech, Montreal.
- CEN – EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (2003) **Air quality – Determination of odour concentration by dynamic olfactometry (english version)**. European Standard. Bruxelles.
- CHAOUKI, J. KLVANA, D. PÉPIN. M.-F. (1995) **Introduction à l'analyse des données expérimentales**. *Département de Génie Chimique*. École Polytechnique de Montréal.
- CONCHON, J.A. BOUQUIN, O. CONCHON, E.A. (2000) **Odores industriais: método para o diagnóstico e solução de um grave problema ambiental**, *XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Porto Alegre.
- DE BRUYN, G. VAN ELST, T. KEGELS, J. (2003) **Case study: Intensive odour study at a non-ferrous metal plant in Belgium**. 2<sup>nd</sup> IWA International Conference on Odour & VOCs – Measurement, Regulation and Control Techniques. Singapura.
- EPA - ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (2001). **Odour impacts and odour emission control measures for intensive agriculture**, Final Report, Environmental Research n° 14. Irlanda.
- EPA - ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (1998). **Modeling VOC emissions from hazardous waste sites**, Final Report, National Center dor environmental research. Disponível em:  
[http://es.epa.gov/ncer/final/centers/hsrc/89/western/hildermann2\\_98.html](http://es.epa.gov/ncer/final/centers/hsrc/89/western/hildermann2_98.html) em 24 de maio de 2002.
- FASOLT, B. RAMTHUN, A. SCHNEIDER, J. (1995) **Determination of the gas emission flux landfills by concentration measurement of CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> in the top layer**, *Proceeding of the Sardenia 95, Sixt International Landfill Symposium*. Cagliari.
- FÉCIL, B. (2003) **Calibration d'un modèle de production du méthane sur un lieu d'enfouissement basée sur un bilan de matière du méthane**. Thèse de

maîtrise. Département de génie chimique. École Polytechnique de Montréal. Montreal, 190 p.

- FÉCIL, B. HEROUX, M. GUY, C. (2003) **Development of a method for the measurement of net methane emissions from msw landfills.** *Proceeding of the Sardenia 2003, Ninth International Landfill Symposium.* Cagliari.
- FEDDES, J. EDEOGU, I. COLEMAN, R. LEONARD, J. (1999) **Objective measurement of odour emissions from manure storage systems and measuring odour dispersion,** *Symposium Of The Hog Environmental Management Strategy (Hems).* Ottawa.
- FRENCHEN, F.B. FREY, M. WETT, M. LÖSER, C. (2003) **Aerodynamic performance of a low speed wind tunnel.** 2nd IWA International Conference on Odour & VOCs – Measurement, Regulation and Control Techniques. Singapura.
- GUY, C. PAGÉ, T. (2000) **Caractérisation et traitement des émissions d'odeurs.** École Polytechnique de Montréal. Montreal.
- GROSFILS, A. D. (1994) **Study and Sanitation of Odour Nuisance.** *Characterization and Control of Odours and VOC in the Process Industries (p. 137-144).* Elsevier. Amsterdam.
- HAARSTAD, K. (1997) **Methane in landfills: production, oxidation and emissions.** *Proceeding of the Sardenia 97, Sixt International Landfill Symposium.* Cagliari.
- HERMIA, J. TERMONIA, M. VIGNERON, S. (1994a) **VOC measurements in paint workshops.** *Characterization and Control of Odours and VOC in the Process Industries (p. 77-90).* Elsevier. Amsterdam.
- HERMIA, J. VIGNERON, S. (1994b) **Odours metrology and industrial olfactometry,** *Characterization and Control of Odours and VOC in the Process Industries (p. 77-90).* Elsevier. Amsterdam.
- KARNIK, M. PERSUAD, K. SNEATH, R. (2003). **Measuring Odour Emissions From Landfill Sites.** *Proceeding of the Sardenia 2003, Ninth International Landfill Symposium.* Cagliari.
- LAFFORT, P. (1994) **Aspects of the Olfactory Information,** *Characterization and Control of Odours and VOC in the Process Industries (p.61-76).* Elsevier. Amsterdam.
- LOCKHART, R.W. (2001) **Odour issues associated with industrial waste.** Disponível em [www.bcresearch.com](http://www.bcresearch.com) em 30 de setembro de 2003.
- LONGHUST, P.J. COTTER, M. GOSTELOW, P. (2003) **Odour management plans: a risk-based approach using stakeholder data.** 2<sup>nd</sup> IWA International Conference on Odour & VOCs – Measurement, Regulation and Control Techniques. Singapura.
- LORIMOR, J. (1996). **Measuring odors.** Iowa State University. Ames. Disponível em [www.extension.iastate.edu](http://www.extension.iastate.edu) em Set/2003.
- MOSHER, B. W., CZEPIEL, P. M., HARRISS R. C., SHORTER, J. H., KOLB, C.E., MC MANUS, J. B., ALLWINE, E. ET LAMB, B.K. (1999). **Methane**

- emissions at nine landfill sites the northeastern United States**, *Environmental science & technology*, Vol. 33, p. 2088-2094.
- MUNTONI, A. MANCA, DEMURO, M. (1995) **An integrated model for the prediction of landfill emissions**, *Proceeding of the Sardenia 95, Sixth International Landfill Symposium*. Cagliari.
- NETTER, F.H. (1998) **Atlas de anatomia humana**. Ed. Artmed. Porto Alegre.
- ODORIZZI, G. PARADISI, L. SILVESTRI, S. (2003) **Odour Impact Assessment from Waste Treatment Plants by Olfactometry. The Project of the Autonomous province of Trento**. *Proceeding of the Sardenia 2003, Ninth International Landfill Symposium*. Cagliari.
- PAGÉ, T. (1996) **Mesure du flux d'odeurs sur le site du CESM**. Rapport. Département de génie chimique. École Polytechnique de Montréal. Montreal, 26p.
- PAGÉ, T. GUY, C. (1997) **Odour dispersion modeling**. In: *Air & Waste Management Association's 90<sup>th</sup> Annual Meeting & Exhibition*. Toronto, 1997.
- PARK, J.-W. SHIN, H.-C. (2001) **Surface emission of landfill gas from solid waste landfill**, *Atmospheric environment*, Vol. 35, p. 3445-3451
- PHILLIPS, G. VAN ELST, T. WAUTERS, G. (2003) **Odour batement in a VFG-composting plant: a case study**. 2nd IWA International Conference on Odour & VOCs – Measurement, Regulation and Control Techniques. Singapura.
- RAMEL, M. (1994) **Physicochemical characterization of odours: a quantified approach to the problem. Example of a domestic refuse composting plant**, *Characterization and Control of Odours and VOC in the Process Industries* (p. 145-172). Elsevier. Amsterdam.
- RIBEIRO, E.G. (2002) **Controle de odores em indústrias e estações de tratamento de esgoto**. *Trabalho de Conclusão de Curso - ENS/UFSC*. Florianópolis.
- SAVANNE, D. ARNAUD, A. BENEITO, A. BERNE, P. BURKHALTER, R. CELLIER, P. GONZE, M.A. LAVILLE, P. LEVY, F. MILWARD, R. POKRYSZKA, Z. SABROUX, J.C. TAUZIEDE, C. TREGOURES, A. (1997) **Comparison of different methods for measuring landfill methane emissions**, *Proceeding of the Sardenia 97, Sixth International Landfill Symposium*. Cagliari.
- SENANTE, E. GALTIER, L. BEKAERT, C. LAMBOLEZ-MICHELL. BUDKA, A. (2003) **Odours Management at MSW Landfill Sites: Odours Sources, Odourous Compounds and Control Measures**. *Proceeding of the Sardenia 2003, Ninth International Landfill Symposium*. Cagliari.
- SHUBERT, W. GÜNTHER, F.W. (2003) **Odours from pressure mains – Prevention and solutions**. 2<sup>nd</sup> IWA International Conference on Odour & VOCs – Measurement, Regulation and Control Techniques. Singapura.
- SILVA, G.P. (2002) **Avaliação de incômodos olfativos emitidos pela suinocultura – Estudos na bacia hidrográfica do rio dos Fragosos e na região urbana do município de Concórdia**. *Dissertação de Mestrado – ENS/UFSC*. Florianópolis.

- SIRONI, S. ROSSI, A.N. DEL ROSSO, R. CÉNTOLA, P. IL GRANDE, M. (2003) **Odour Impact Assessment using Dispersion Modelling: a Case Study of an Operating Landfill.** *Proceeding of the Sardenia 2003, Ninth International Landfill Symposium.* Cagliari.
- STUETZ, R. (2002) **Review of Odour Sampling and Measurement.** *Report* – Cranfield University. Cranfield.
- SUFFET, I.H.M. BURLINGAME, G.-A. ROSENFELD, P.E. BRUCHET, A. (2003) **The value of an odour-quantity-wheel classification scheme for wastewater treatment plants.** 2<sup>nd</sup> IWA International Conference on Odour & VOCs – Measurement, Regulation and Control Techniques. Singapura.
- TAGARIS, E. SOTIROPOULOU, R.E.P. PILINIS, C. HALVADAKIS, C.P. (2003) **A methodology to estimate odors around landfill sites: The use of methane as an odor index and its utility in landfill siting,** *Journal of the Air & Waste Management Association.* Vol. 53. p. 629-634;
- VAN BRÖEK, G. NIEUWEJAERS, B. (2003) **The way to a sustainable odour policy in Flandres.** 2<sup>nd</sup> IWA International Conference on Odour & VOCs – Measurement, Regulation and Control Techniques. Singapura.
- VAN HARREVELD, A.P. (2003) **Odour management tools – A gap analysis.** 2<sup>nd</sup> IWA International Conference on Odour & VOCs – Measurement, Regulation and Control Techniques. Singapura.
- VANEIST, T. DE BRUYN, T. VAN BERENDONCK, L. (2003) **Odour abatement strategy at an oil refinery plant in Belgium: A case study.** 2<sup>nd</sup> IWA International Conference on Odour & VOCs – Measurement, Regulation and Control Techniques. Singapura.
- WALPOT, J.I. (1994) **TNO Experience with Olfactometry, Characterization and Control of Odours and VOC in the Process Industries.** Elsevier. Amsterdam, p. 119-12;
- WILLERS, H. OGINK, N. D'AMICO, A. MARTINELLI, E. DINATALE, C. VAN RAS, N. VAN DER WAARDE, J. (2003) **Monitoring of biological odour filtration in closed environments with olfactometry and an electronic nose.** 2<sup>nd</sup> IWA International Conference on Odour & VOCs – Measurement, Regulation and Control Techniques. Singapura.
- WITHERSPOON, J.R. ADAMS, G. CAIN, W. CORMETTO-MUNIZ, E. FORBES, B. HENTZ, L. NOVACK, J.T. HOGGINS, M. MURTHY, S. McEWEN, D. ONG, H.T. DAIGGER, G.T. (2003) **Water environmental research foundations (WERFs) anaerobic digestion and related processes odour and health effect study.** 2<sup>nd</sup> IWA International Conference on Odour & VOCs – Measurement, Regulation and Control Techniques. Singapura.
- YOUNG, A. (1990) **Volumetric changes in landfill gas flux in response to variations in atmospheric pressure.** *Waste Management & Research.* p. 379-385.
- ZAVRAS, V. (2003) **Combined sensory and analytical methods to formulate, develop and determine viable odour control techniques.** 2<sup>nd</sup> IWA International

Conference on Odour & VOCs – Measurement, Regulation and Control Techniques. Singapura.

ZURITA, M.L.L. LUCA, S.J. RODRIGUEZ, M.T.R. (1996) **Avaliação de 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. Rio de Janeiro.

**Páginas da rede pesquisadas:**

*Department of Primary Industries* – [www.dpi.qdl.gov.au/environment/1464.html](http://www.dpi.qdl.gov.au/environment/1464.html)

*Environment Protection Agency* – [www.epa.gov](http://www.epa.gov)

*Nasal Ranger* – [www.nasalranger.com](http://www.nasalranger.com)

*Odotech* – [www.odotech.com](http://www.odotech.com)

*Odounet* – [www.odournet.com](http://www.odournet.com)

*Sciencenet* – [www.sciencenet.org.uk/database/Social/Senses/s00122b.html](http://www.sciencenet.org.uk/database/Social/Senses/s00122b.html)

*Tecnovir International* – [www.enviroaccess.ca/fiches\\_2/F2-02-96.html](http://www.enviroaccess.ca/fiches_2/F2-02-96.html)

*Universidade da Califórnia: Berkeley* – [www.berkeley.edu](http://www.berkeley.edu)

*Universidade de Minnesota* – [www.bae.umn.edu/annrpt/1998/research/lvstk2.html](http://www.bae.umn.edu/annrpt/1998/research/lvstk2.html)

*Waste & Resources Action Programme* – [www.wrap.org.uk](http://www.wrap.org.uk)

## **7 ANEXOS**

Anexo 1: Características e Limite de percepção de alguns odores

<i>Família</i>	<i>Composto</i>	<i>Fórmula</i>	<i>Característica</i>	<i>Limite de percepção [ppm]</i>		
<i>Compostos Nitrogenados</i>	Amônia	NH <sub>3</sub>	Pungente Pungente, irritante	0,038 17		
	Metilamina	CH <sub>3</sub> -NH <sub>2</sub>	Peixe Peixe Podre	3,2 4,7		
	Etilamina	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> -NH <sub>3</sub>	Amonia	0,27		
	Trietilamina	-	Peixe	0,0004		
	Dimetilamina	2(CH <sub>3</sub> )-NH	Peixe Peixe Podre	0,00044 0,34		
	Trimetilamina	3(CH <sub>3</sub> )-N	Pungente, peixe	0,0004		
	n-butilamina	-	Azedo, amonia	0,08		
	Dibutilamina	-	Peixe	0,016		
	di-isotropilamina	-	Peixe	0,13		
	Indole	C <sub>8</sub> H <sub>6</sub> -NH	Fecal, nauseante	0,0001		
	Skatole	C <sub>9</sub> H <sub>8</sub> -NH	Fecal, nauseante	0,001		
	Piridina	-	Pungente, irritante	0,66		
<i>Compostos Oxigenados</i>	<i>Ácidos Graxos Voláteis</i>	Ácido Fórmico	HCOOH	Picante	0,024	
		Ácido Acético	CH <sub>3</sub> -COOH	Vinagre	1,019	
		Ácido Propiônico	CH <sub>3</sub> -CH <sub>2</sub> -COOH	Rançoso, pungente	0,028	
		Ácidos Isobutírico e Butírico	C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> -COOH	Rançoso	0,0003	
		Ácido Isovalérico	CH <sub>3</sub> -CH <sub>2</sub> -CH(CH <sub>3</sub> )-COOH	Desagradável	0,0006	
		Ácido Valérico	C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> -COOH	Desagradável	0,0006	
	<i>Aldeídos e Cetonas</i>	Formaldeído	H-CHO	Desagradável	1,199	
		Acetaldeído	CH <sub>3</sub> -CHO	Agridoce Pungente, fruta	0,0001 0,067	
		Acetona	CH <sub>3</sub> -CO-CH <sub>3</sub>	Doce, menta	20,6	
		Acreolin	-	Queimado, doce	0,0228	
		Propinaldeído	-	Doce	0,011	
		Crotonaldeído	-	Pungente, sufocante	0,037	
		Metil-etil-cetona	CH <sub>3</sub> -CO-C <sub>2</sub> H <sub>5</sub>	Doce, menta	0,25	
		Butiraldeído	C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> -CHO	Doce	9,5	
		Valeradeído	-	Pungente	0,028	
		<i>Compostos Sulfurados</i>	Metil-mercaptana	CH <sub>3</sub> CS	Repolho podre	0,0016
			Dióxido de Enxofre	SO <sub>2</sub>	Enjoativo	1,1
			Oxissulfeto de carbono	COS	Pungente, ácido	-
			Dimetil-sulfeto	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> S	Repolho podre	0,0025
Dimetil-dissulfeto	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> S <sub>2</sub>		Pútrido	0,0001 – 0,03		
Dimetil-trissulfeto	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> S <sub>3</sub>		-	0,0062		
Sulfeto de Hidrogênio	H <sub>2</sub> S		Ovo podre	0,001 - 0,0081		

(adaptado de Suffet *et.al.*, 2003, Barbosa *et. al.*, 2003, Lockhart, 2001 e Senante *et.al.*, 2003 )

Anexo 2: Efeitos para a saúde do H<sub>2</sub>S

<i>Concentração [ppm]</i>	<i>Efeito psicológico</i>
0,02 – 0,13	Limite de percepção
0,15 - 0,77	Odor distinto e ofensivo
3 – 5	Odor moderadamente intenso e ofensivo
10	Olhos doloridos
20 – 30	Forte e intenso, mas não intolerável
50	Irritação conjuntiva, contração respiratória
50 – 100	Leve irritação no trato respiratório e mais intensamente nos olhos após 1 hora de exposição

(Lockhart, 2001).

Anexo 3: Limite de emissão de odores por setor industrial na Irlanda; e classificação através de pesquisa com a população.

<i>Indústria</i>	<i>Valor Limite [ou<sub>E</sub>/m<sup>3</sup>]</i>	<i>Meta [ou<sub>E</sub>/m<sup>3</sup>]</i>	<i>Classificação em 1997</i>
Padarias	≤ 5		
Processamento de carne	≤ 1.5	≤ 0,8	
Secador de palha	≤ 2.5		
Massas	≤ 5		1,7
Torra de café	≤ 3,5		4,6
Sabores e fragrâncias	≤ 3,5	≤ 2,0	9,8
Novas estações de tratamento de esgotos e águas residuárias em área residencial	≤ 0,5		12,9
Novas estações de tratamento de esgotos e águas residuárias em área rural ou industrial	≤ 1		12,9
Estações de tratamento de esgotos e águas residuárias existentes em área residencial	≤ 1.5		12,9
Estações de tratamento de esgotos e águas residuárias existentes em área rural ou industrial	≤ 3,5		12,9
Criadouros de animais	≤ 1		13,2
Novo pátio de compostagem, tratamento da fração orgânica de resíduos sólidos domésticos	≤ 1.5	≤ 0,5	14
Pátio de compostagem existente, tratamento da fração orgânica de resíduos sólidos domésticos	≤ 3	≤ 1,5	14
Matadouros	≤ 1.5	≤ 0,55	17

(EPA, 2001)

Anexo 4: Compostos odorantes susceptíveis a contribuir para as emissões odorantes de aterros sanitários.

<i>Composto</i>	<i>Fórmula Química</i>	<i>Limite de percepção de odor mais baixo encontrado em literatura (<math>\mu\text{g}/\text{Nm}^3</math>)</i>
Ácido sulfídrico	H <sub>2</sub> S	0,7
Dissulfato de carbono	CS <sub>2</sub>	24,3
Dimetilssulfeto	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> S	2,5
Dimetil-dissulfeto	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	0,1
Dimetil-trissulfeto	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	6,2
Dietilsulfeto	(C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>2</sub> S	-
Dietildissulfeto	(C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	-
Metanotiol	CH <sub>3</sub> SH	0,04
Etanotiol	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> SH	0,032
Trimetilamina	(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> N	0,8
Limoneno	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	10
Pineno	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	16
3-Careno	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	20
Felandreno	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	20
1-Butanol	C <sub>4</sub> H <sub>7</sub> OH	123
2-Butanol	C <sub>3</sub> H <sub>5</sub> -OH-CH <sub>3</sub>	400
Eucaliptol	-	0,2
Etanal	CH <sub>3</sub> CHO	0,2
Butanal	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> CHO	13
Etilbenzeno	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> -C <sub>2</sub> H <sub>5</sub>	400
Propilbenzeno	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> -C <sub>3</sub> H <sub>7</sub>	40
Butilbenzeno	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> -C <sub>4</sub> H <sub>9</sub>	100
Propionato	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> CO <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	-
Etil-butanato	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> CO <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	3
Xileno	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> C <sub>6</sub> H <sub>4</sub>	400
Metil-butirato	-	-
Etil-butirato	-	-
Acido butanóico	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> COOH	1
Tricloroetano	Cl <sub>3</sub> CH	12.000

(Pagé, 1996).

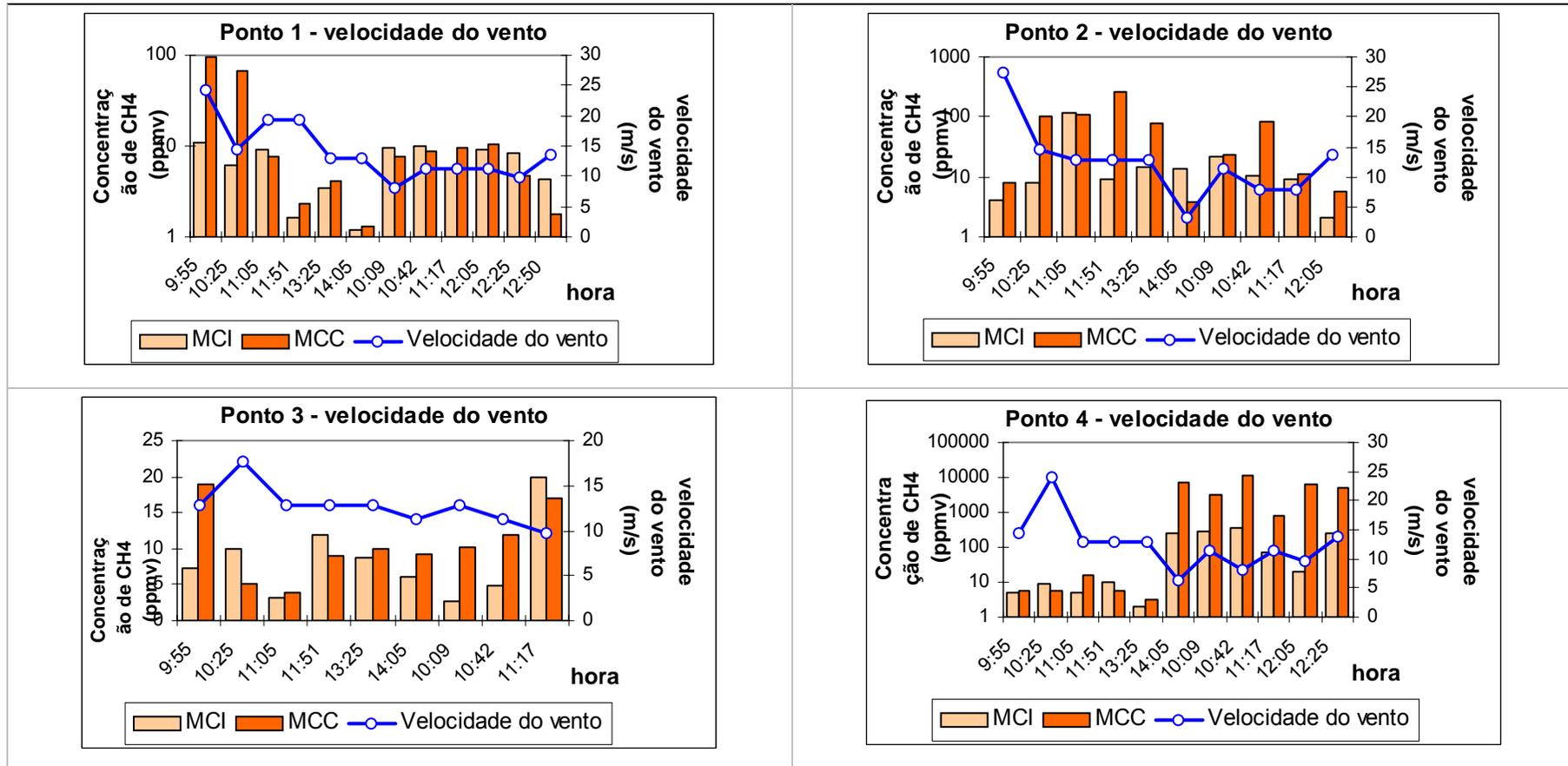
Anexo 5: Tabela de dados de fluxo de metano e fluxo de odor.

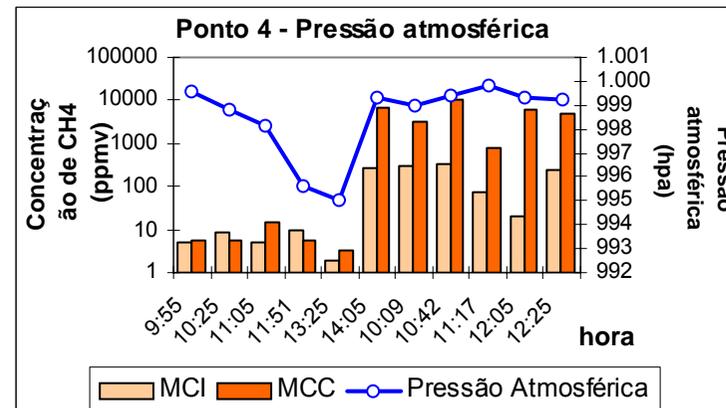
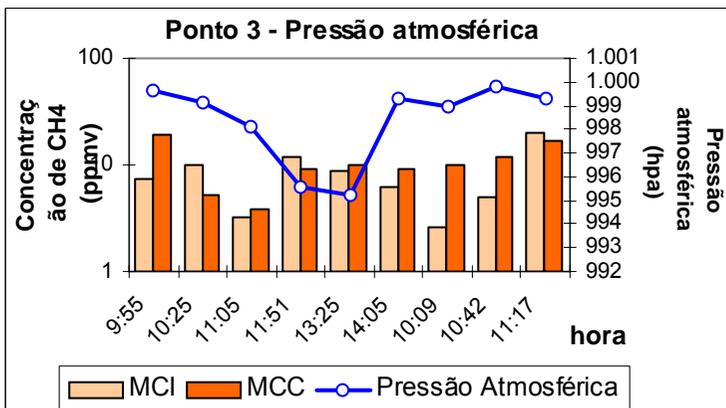
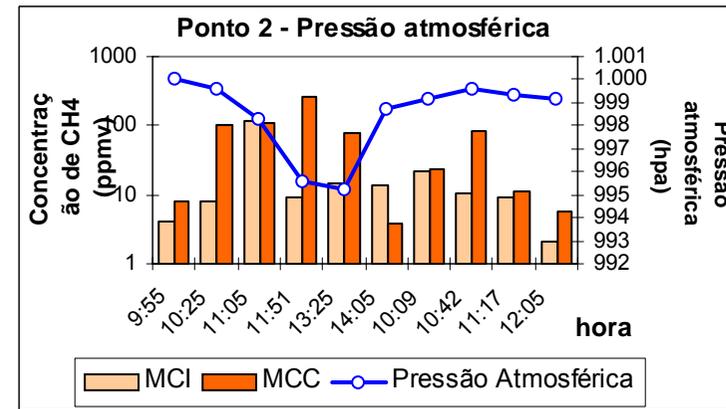
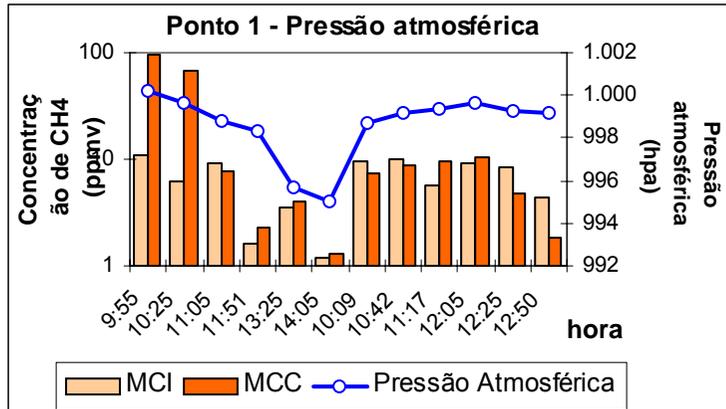
<i>MCC</i>	<i>MCI</i>	<i>Fluxo de Metano</i>	<i>Conc. Odor</i>	<i>Fluxo de Odor</i>	
<i>(ppm)</i>	<i>(ppm)</i>	<i>(<math>\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{s}</math>)</i>	<i>(<math>\text{u.o.}/\text{m}^3</math>)</i>	<i>(<math>\text{u.o.}/\text{m}^2/\text{s}</math>)</i>	
3.46	1.99	1.32	79.20	0.07	
2.86	5.27	2.46	90.52	0.08	
2.70	2.55	2.28	90.52	0.08	
7.44	6.39	7.87	113.14	0.10	
-		53171.80	10567.69	9.34	
96.28	47.44	68.63	248.92	0.22	
-	1.55	0.68	79.20	0.07	
171.58	28.11	145.15	147.09	0.13	
19.46	10.81	15.13	113.14	0.10	
1.36	1.26	0.27	79.20	0.07	
810.67	315.43	1891.93	590.43	0.52	
1.92	1.19	0.67	199.01	0.18	
47.49	47.49	34.30	203.02	0.18	
1255.32	861.73	13957.96	2526.48	2.23	
194.73	200.74	91.90	3768.23	3.33	
39.10	31.49	52.64	2390.32	2.11	
15.91	2.49	15.69	1571.56	1.39	
817.86	177.35	5352.00	2331.72	2.06	
-3.45	-4.85	1.56	1560.65	1.38	
215.09	91.39	106.06	703.47	0.62	
1262.34	434.18	8755.31	1682.84	1.49	
5.80	7.58	5.61	34.42	0.03	
104.99	16.51	112.79	58.75	0.05	
9.98	11.76	3.77	52.60	0.05	
486.49	43.89	2052.76	268.23	0.24	
24.26	19.62	24.31	165.81	0.15	
-	-	1.66	40.26	0.04	
-	-	3.05	63.84	0.06	
-	-	0.21	61.14	0.05	
-	-	0.53	56.35	0.05	
4.58	3.76	0.23	46.93	0.04	
6.38	5.19	8.97	116.78	0.10	
45.60	14.49	112.61	164.50	0.15	
17.40	6.69	23.71	158.65	0.14	
8.44	4.82	7.94	134.86	0.12	
0.45	0.45	0.25	104.44	0.09	
0.45	0.45	0.74	179.71	0.16	
0.90	0.45	2.02	164.42	0.15	
0.45	0.45	0.25	226.20	0.20	
26.23	12.67	14.67	202.60	0.18	
9.58	3.37	0.61	166.16	0.15	
42.67	8.09	54.48	199.76	0.18	
3029.73	79.50	1990.07	345.47	0.31	
Media	245.6	10.8	2048.76	747.63	0.66
Desv. pad.	576,61	161,24	8393,18	1750,75	1,55

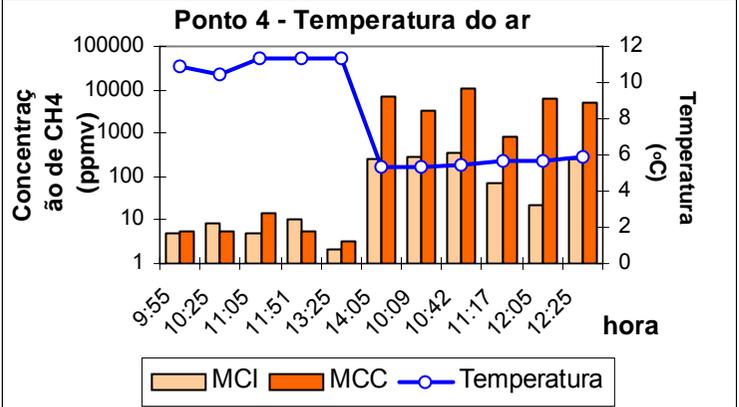
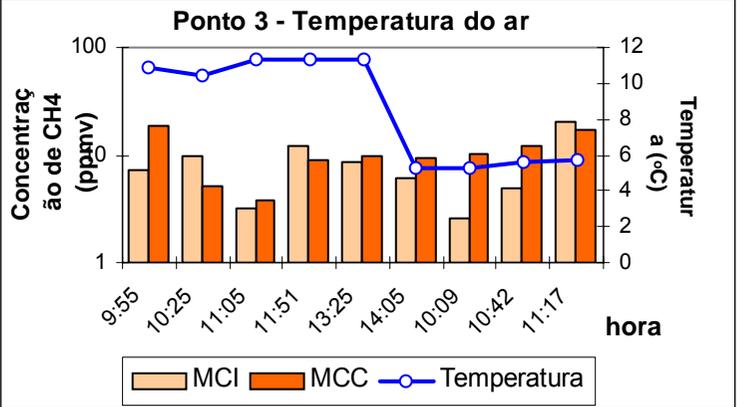
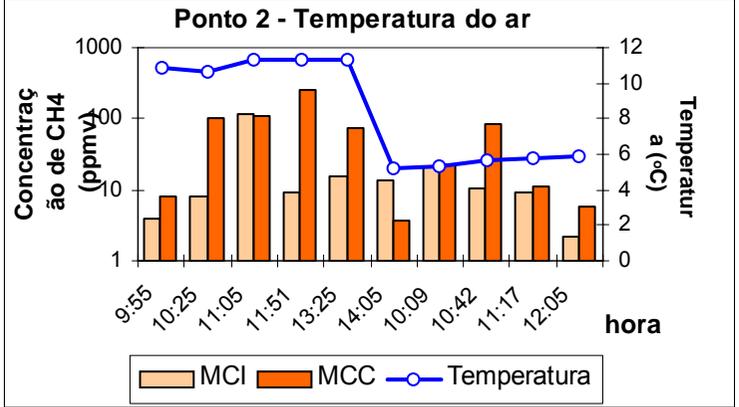
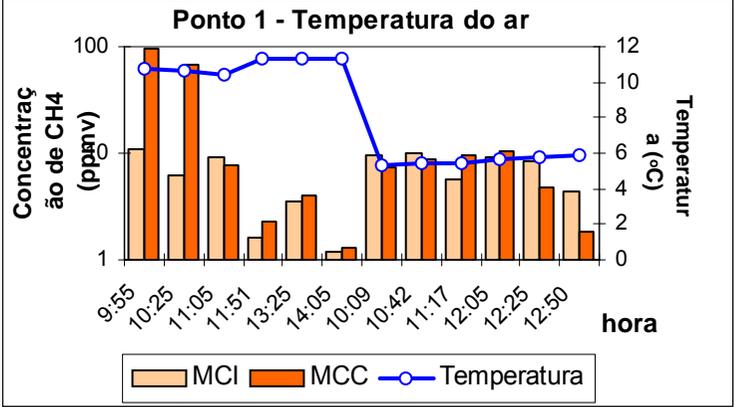
Anexo 6: Concentração de metano e parâmetros meteorológicos coletados

Ponto 1	Data	Hora (hh:mm)	MCI (ppmv)	MCC (ppmv)	Temperatura (°C)	Vento (m/s)	Pressão (hpa)	dp/dt hpa/min
x = 20 y = 20	19-Nov-03	9:55	11	94	10.7	24.1	1000.2	-
	19-Nov-03	10:25	6.2	68	10.6	14.5	999.6	-0.020
	19-Nov-03	11:05	9.3	7.7	10.4	19.3	998.8	-0.020
	19-Nov-03	11:51	1.6	2.3	11.3	19.3	998.3	-0.011
	19-Nov-03	13:25	3.5	4.1	11.3	12.9	995.7	-0.028
	19-Nov-03	14:05	1.2	1.3	11.3	12.9	995.0	-0.018
	20-Nov-03	10:09	9.7	7.5	5.3	8.0	998.7	-
	20-Nov-03	10:42	10	8.8	5.4	11.3	999.2	0.015
	20-Nov-03	11:17	5.7	9.4	5.4	11.3	999.4	0.006
	20-Nov-03	12:05	9	10.5	5.7	11.3	999.6	0.004
	20-Nov-03	12:25	8.4	4.8	5.8	9.7	999.3	-0.015
	20-Nov-03	12:50	4.3	1.8	5.9	13.7	999.2	-0.004
Ponto 2	Data	Hora (hh:mm)	MCI (ppmv)	MCC (ppmv)	Temperatura (°C)	Vento (m/s)	Pressão (hpa)	dp/dt hpa/min
x = 20 y = 0	19-Nov-03	10:06	4	8	10.9	27.4	1000	-
	19-Nov-03	10:42	8	101	10.6	14.5	999.6	-0.011
	19-Nov-03	11:55	117	110	11.3	12.9	998.3	0.0
	19-Nov-03	13:30	9	255	11.3	12.9	995.6	0.0
	19-Nov-03	13:54	15	76	11.3	12.9	995.2	-0.017
	20-Nov-03	10:00	13.3	3.7	5.2	3.2	998.7	-
	20-Nov-03	11:05	21.7	22.9	5.3	11.3	999.2	0.008
	20-Nov-03	12:02	10.3	82	5.7	8	999.6	0.007
	20-Nov-03	12:22	8.9	11.3	5.8	8	999.3	-0.015
	20-Nov-03	12:48	2.12	5.8	5.9	13.7	999.2	-0.004
Ponto 3	Data	Hora (hh:mm)	MCI (ppmv)	MCC (ppmv)	Temperatura (°C)	Vento (m/s)	Pressão (hpa)	dp/dt hpa/min
x = 80 y = 0	19-Nov-03	10:15	7.3	19	10.9	12.9	999.6	-
	19-Nov-03	10:46	10	5.2	10.4	17.7	999.1	-0.016
	19-Nov-03	12:12	3.2	3.8	11.3	12.9	998.1	-0.012
	19-Nov-03	13:32	12	9.1	11.3	12.9	995.6	-0.031
	19-Nov-03	13:59	8.7	10	11.3	12.9	995.2	-0.015
	20-Nov-03	10:22	6.14	9.2	5.3	11.3	999.3	-
	20-Nov-03	10:51	2.6	10.2	5.3	12.9	999.0	-0.010
	20-Nov-03	11:58	4.9	12	5.6	11.3	999.8	0.012
20-Nov-03	12:18	20	17	5.7	9.7	999.3	-0.025	
Ponto 4	Data	Hora (hh:mm)	MCI (ppmv)	MCC (ppmv)	Temperatura (°C)	Vento (m/s)	Pressão (hpa)	dp/dt hpa/min
x = 40 y = 20	19-Nov-03	10:16	5.2	5.6	10.9	14.5	999.6	-
	19-Nov-03	11:00	8.5	5.4	10.4	24.1	998.8	-0.018
	19-Nov-03	12:00	5.12	15	11.3	12.9	998.1	-0.012
	19-Nov-03	13:35	9.9	5.4	11.3	12.9	995.6	-0.026
	19-Nov-03	14:02	2	3.3	11.3	12.9	995.0	-0.022
	20-Nov-03	10:15	265	7000	5.3	6.4	999.3	-
	20-Nov-03	10:47	293	3200	5.3	11.3	999.0	-0.009
	20-Nov-03	11:20	350	10700	5.4	8	999.4	0.012
	20-Nov-03	11:55	74	818	5.7	11.3	999.8	0.011
	20-Nov-03	12:15	21	6012	5.7	9.7	999.3	-0.025
20-Nov-03	12:45	249	5000	5.9	13.7	999.2	-0.003	

Anexo 7: Comparação entre os parâmetros meteorológicos e a emissão de metano nos 4 pontos medidos









## Anexo 9: Planilhas de cálculo do limite de percepção individual dos jurados

<b>Data:</b> 7-Nov-03																
<b>Realizada por:</b> Marina Eller Quadros																
<b>Norma de Referência:</b> EN 13725:2003 - Determinação da concentração de um odor por olfatométrica dinâmica																
<b>Olfatometro:</b> OdileR	<b>Gas de referência:</b> n-Butanol															
<b>Laboratório:</b> École Polytechnique de Montréal	<b>Concentração:</b> 10.2 ppm															
<b>Cliente:</b> Odotech Inc.																
Assessores	1) nom1															
	2) nom2															
	3) nom3															
	4) nom4															
<b>Estimações do limite individual de percepção (ITE<sub>n-butanol</sub>) - 1º dia</b>																
# 1	<b>Assessor</b>	<b>Branco</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>10</b>	<b>16</b>	<b>40</b>	<b>64</b>	<b>102</b>	<b>161</b>	<b>Limite Individual</b>		
														<b>ppb/v</b>	<b>diluições</b>	
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	28	364
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	28	364
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	28	364
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	52	196
	5	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	2914
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	83	123	
# 2	<b>Assessor</b>	<b>Branco</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>23</b>	<b>36</b>	<b>56</b>	<b>89</b>	<b>Limite Individual</b>		
														<b>ppb/v</b>	<b>diluições</b>	
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	46	222	
	2	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	8	1275
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	13	816
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	19	537
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	46	222
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	46	222	
# 3	<b>Assessor</b>	<b>Branco</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>7</b>	<b>12</b>	<b>18</b>	<b>28</b>	<b>45</b>	<b>72</b>	<b>113</b>	<b>179</b>	<b>Limite Individual</b>		
														<b>ppb/v</b>	<b>diluições</b>	
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	59	174
	2	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	10	1074
	3	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	15	680
	4	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	15	680
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	93	110
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	93	110	
# 4	<b>Assessor</b>	<b>Branco</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>9</b>	<b>14</b>	<b>22</b>	<b>34</b>	<b>54</b>	<b>85</b>	<b>134</b>	<b>Limite Individual</b>		
														<b>ppb/v</b>	<b>diluições</b>	
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	44	232
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	18	567
	3	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	8	1360
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	28	364
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	70	147
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	70	147	

**Informações Gerais**

Data: 11-Nov-03

Realizada por: Marina Eller Quadros

Norma de Referência: EN 13725:2003 - Determinação da concentração de um odor por olfatosmetria dinâmica

Olfatometro: OdileR

Gas de referência: n-Butanol

Laboratório: École Polytechnique de Montréal

Concentração: 10.2 ppm

Cliente: Odotech Inc.

Assessores

- 1) nom1
- 2) nom2
- 3) nom3
- 4) nom4

**Estimações do limite individual de percepção (ITE<sub>n-butanol</sub>)**

	Assessor	Branco												Limite Individual		
			1	2	3	4	7	11	17	26	41	65	102	ppb/v	diluições	
# 5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	34	304
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	53	192
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	14	729
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	22	474
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	14	729
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	22	474

	Assessor	Branco												Limite Individual		
			2	3	4	6	9	14	23	36	56	89	142	ppb/v	diluições	
# 6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	73	141
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	46	222
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	19	551
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	19	551
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	19	551
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	30	346

	Assessor	Branco												Limite Individual		
			2	3	4	6	9	14	23	36	56	89	142	ppb/v	diluições	
# 7	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	46	222
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	73	141
	3	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	8	1360
	4	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	12	887
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	19	551
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	30	346

**Informações Gerais**

Data: 14-Nov-03

Realizada por: Marina Eller Quadros

Norma de Referência: EN 13725:2003 - Determinação da concentração de um odor por olfatosmetria dinâmica

Olfatometro: OdileR

Gas de referência: n-Butanol

Laboratório: École Polytechnique de Montréal

Concentração: 11 ppm/v

Cliente: Odotech Inc.

Assessores

- 1) nom1
- 2) nom2
- 3) nom3
- 4) nom4

**Estimações do limite individual de percepção (ITE<sub>n-butanol</sub>)**

	Assessor	Branco												Limite Individual		
			1	2	3	4	7	11	18	28	44	70	110	ppb/v	diluições	
# 8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	57	193
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	23	478
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	15	759
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	23	478
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	15	759
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	23	478

	Assessor	Branco												Limite Individual		
			1	2	3	4	7	12	19	30	47	75	119	ppb/v	diluições	
# 9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	61	180
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	25	449
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	16	710
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	25	449
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	16	710
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	25	449

	Assessor	Branco												Limite Individual		
			1	3	4	7	11	17	26	41	65	102	162	ppb/v	diluições	
# 10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	22	512
	2	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	14	786
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	22	512
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	22	512
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	22	512
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	34	328

## Anexo 10: Resultados da avaliação dos 4 jurados para olfatometria.

### Informações Gerais

**Data:** 17-nov-03  
**Realizada por:** Marina Eller Quadros  
**Norma de Referência:** EN 13725:2003 - Determinação da concentração de um odor por olfatometria dinâmica  
**Olfatometro:** OdileR **Gas de referência:** n-Butanol  
**Laboratório:** École Polytechnique de Montréal

#### Avaliação do Juri 1: nom1

Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>	Y <sub>4</sub>	Y <sub>5</sub>	Y <sub>6</sub>	Y <sub>7</sub>	Y <sub>8</sub>	Y <sub>9</sub>	Y <sub>10</sub>	$\bar{y}_{ITE}$	$S_{ITE}$	Unidade
364	222	174	232	304	141	222	193	180	512			diluições
28	46	59	44	34	73	22	57	61	22			ppb/v
1,447158	1,6627578	1,767156	1,643453	1,525045	1,860338	1,332438	1,755875	1,78533	1,332438	1,611199	0,191802	log ppb/v

#### Critérios de seleção:

- 1)  $10^{S_{ITE}} = 1,555255 \leq 2,3$       **O desvio padrão satisfaz às exigências**
  - 2)  $20 \leq 10^{Y_{ITE}} \leq 80$       **O anti-log da média satisfaz à exigência**
- $10^{Y_{ITE}} = 40,85064$

$$S_{ITE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_{ITE})^2}{(n-1)}}$$

#### Avaliação do Juri 2: nom2

Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>	Y <sub>4</sub>	Y <sub>5</sub>	Y <sub>6</sub>	Y <sub>7</sub>	Y <sub>8</sub>	Y <sub>9</sub>	Y <sub>10</sub>	$\bar{y}_{ITE}$	$S_{ITE}$	Unidade
364	1275	1074	567	192	222	141	478	449	786			diluições
28	8	10	18	53	46	73	23	25	14			ppb/v
1,447158	0,90309	0,977724	1,255273	1,724276	1,662758	1,860338	1,361728	1,389166	1,146128	1,372764	0,315018	log ppb/v

#### Critérios de seleção:

- 1)  $10^{S_{ITE}} = 2,065468 \leq 2,3$       **O desvio padrão satisfaz às exigências**
  - 2)  $20 \leq 10^{Y_{ITE}} \leq 80$       **O anti-log da média satisfaz à exigência**
- $10^{Y_{ITE}} = 23,59195$

$$S_{ITE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_{ITE})^2}{(n-1)}}$$

#### Avaliação do Juri 3: nom3

Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>	Y <sub>4</sub>	Y <sub>5</sub>	Y <sub>6</sub>	Y <sub>7</sub>	Y <sub>8</sub>	Y <sub>9</sub>	Y <sub>10</sub>	$\bar{y}_{ITE}$	$S_{ITE}$	Unidade
364	816	680	1360	729	551	1360	759	710	512			diluições
28	13	15	8	14	19	8	15	16	22			ppb/v
1,447158	1,09691	1,176091	0,875061	1,146128	1,267172	0,875061	1,161368	1,190332	1,332438	1,156772	0,179911	log ppb/v

#### Critérios de seleção:

- 1)  $10^{S_{ITE}} = 1,513249 \leq 2,3$       **O desvio padrão satisfaz às exigências**
  - 2)  $20 \leq 10^{Y_{ITE}} \leq 80$       **O assessor não satisfaz às exigências**
- $10^{Y_{ITE}} = 14,34736$

$$S_{ITE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_{ITE})^2}{(n-1)}}$$

#### Avaliação do Juri 4: nom4

Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>	Y <sub>4</sub>	Y <sub>5</sub>	Y <sub>6</sub>	Y <sub>7</sub>	Y <sub>8</sub>	Y <sub>9</sub>	Y <sub>10</sub>	$\bar{y}_{ITE}$	$S_{ITE}$	Unidade
196	537	680	364	478	551	887	478	449	512			diluições
52	19	15	28	22	19	12	23	25	22			ppb/v
1,716003	1,2787536	1,176091	1,447158	1,332438	1,267172	1,060698	1,361728	1,389166	1,332438	1,336165	0,173092	log ppb/v

#### Critérios de seleção:

- 1)  $10^{S_{ITE}} = 1,489678 \leq 2,3$       **O desvio padrão satisfaz às exigências**
  - 2)  $20 \leq 10^{Y_{ITE}} \leq 80$       **O anti-log da média satisfaz à exigência**
- $10^{Y_{ITE}} = 21,68526$

$$S_{ITE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_{ITE})^2}{(n-1)}}$$