

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

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE UM LAVADOR DE GASES
NO TRATAMENTO DOS EFLUENTES GASOSOS DE UM
RESTAURANTE NO MUNICÍPIO DE FLORIANÓPOLIS (SC)**

Magnun Maciel Vieira

**FLORIANÓPOLIS, (SC)
DEZEMBRO/2007**

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

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE UM LAVADOR DE GASES
NO TRATAMENTO DOS EFLUENTES GASOSOS DE UM
RESTAURANTE NO MUNICÍPIO DE FLORIANÓPOLIS (SC)**

Magnun Maciel Vieira

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

**Orientador
Prof. Dr. Henrique de Melo Lisboa**

**Co-orientador
MSc. Gilson Rodrigo de Miranda**

**FLORIANÓPOLIS, (SC)
DEZEMBRO/2007**

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

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE UM LAVADOR DE GASES NO
TRATAMENTO DOS EFLUENTES GASOSOS DE UM RESTAURANTE NO
MUNICÍPIO DE FLORIANÓPOLIS (SC)**

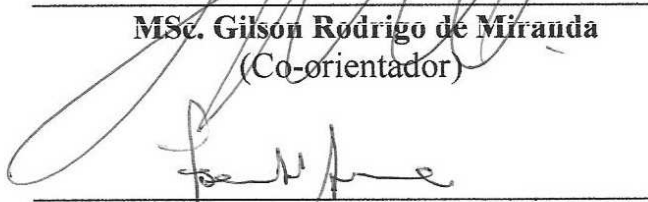
MAGNUN MACIEL VIEIRA

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

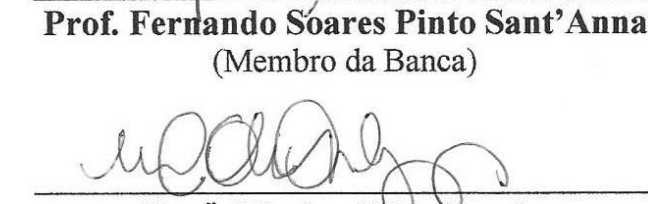
BANCA EXAMINADORA:



MSc. Gilson Rodrigo de Miranda
(Co-orientador)



Prof. Fernando Soares Pinto Sant'Anna
(Membro da Banca)



Engª. Marina Eller Quadros
(Membro da Banca)

**FLORIANÓPOLIS, (SC)
DEZEMBRO/2007**

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus e também a minha família por todo apoio e incentivo em meus estudos.

Agradeço sinceramente ao professor Henrique de Melo Lisboa, pois mesmo distante (no Canadá realizando seu pós-doutorado) acompanhou o desenrolar do trabalho e foi muito atencioso em sua revisão, além da liberdade na execução do trabalho e confiança em mim depositada. Além disso, agradeço por ter me proporcionado a oportunidade de realizar o estágio de conclusão de curso no Laboratório de Controle da Qualidade do Ar (LCQAr) – UFSC, que foi fundamental para o contato em tempo integral com a pesquisa na área de poluição atmosférica, possibilitando um melhor aprendizado teórico e prático.

Ao Gilson Rodrigo de Miranda que participou ativamente da realização do trabalho e mais do que co-orientador tornou-se um grande amigo. Agradeço pelos seus conselhos e sua disponibilidade.

À Marina Eller Quadros, que sempre esteve disposta a contribuir com suas experiências e conhecimentos.

Agradeço aos demais colegas do Laboratório de Controle da Qualidade do Ar que contribuíram de alguma forma na construção do trabalho e fizeram parte do meu dia-a-dia neste último semestre.

Agradeço também a todas as demais pessoas que direta ou indiretamente tiveram alguma participação na realização do trabalho.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS	2
2.1 OBJETIVO GERAL	2
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
3.1 CARACTERÍSTICAS DOS GASES DE EXAUSTÃO DE COZINHAS PROFISSIONAIS.....	3
3.2 VENTILAÇÃO LOCAL EXAUSTORA	3
3.3 COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS	4
3.3.1 NATUREZA E TOXICOLOGIA.....	4
3.4 ODORES	6
3.4.1 ODORES E A SAÚDE	6
3.4.2 CARACTERÍSTICAS DOS ODORES.....	8
3.4.2.1 Qualidade.....	8
3.4.2.2 Hedonicidade	10
3.4.2.3 Intensidade.....	10
3.4.2.4 Concentração.....	11
3.4.3 ANÁLISE DOS COMPOSTOS ODORANTES.....	12
3.4.3.1 Análise físico-química.....	12
3.4.3.2 Análise olfatométrica.....	13
3.4.3.3 Nariz eletrônico	15
3.5 ESTRATÉGIAS E TECNOLOGIAS DE CONTROLE DA QUALIDADE DO AR.....	15
3.5.1 MEDIDAS INDIRETAS DE CONTROLE	16
3.5.2 MEDIDAS DIRETAS DE CONTROLE.....	16
3.5.2.1 Lavadores de gases.....	16
3.6 LEGISLAÇÃO DE COV/ODORES.....	18
4. MATERIAIS E MÉTODOS	20
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	20
4.2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	22
4.2.1 MEDIÇÃO DA VAZÃO DO EFLUENTE GASOSO	22
4.2.2 AMOSTRAGEM DO EFLUENTE GASOSO	27
4.2.3 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS	29
4.2.3.1 Análise Qualitativa	31
4.2.3.2 Análise Quantitativa	32
4.2.4 ANÁLISES OLFATOMÉTRICAS.....	33
4.2.4.1 Determinação da Concentração e taxa de emissão do Odor	34
4.2.4.2 Determinação da Intensidade Odorante.....	36
4.2.4.3 Determinação da Hedonicidade do Odor.....	38
4.2.4.4 Determinação do Caráter do Odor	38
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	39
5.1 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS.....	39
5.1.1 ANÁLISE QUALITATIVA.....	39
5.1.2 ANÁLISE QUANTITATIVA.....	49
5.2 ANÁLISES OLFATOMÉTRICAS	53
5.2.1 DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO E DA TAXA DE ODOR EMITIDA	53

5.2.2 DETERMINAÇÃO DA INTENSIDADE DO ODOR	55
5.2.3 DETERMINAÇÃO DA HEDONICIDADE	56
5.2.4 DETERMINAÇÃO DO CARÁTER DO ODOR.....	57
7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	58
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	60
9. APÊNDICE	64
<i>APÊNDICE A: ANÁLISES OLFATOMÉTRICAS.....</i>	<i>64</i>
<i>APÊNDICE B: MEDIÇÃO DE VAZÃO</i>	<i>68</i>

RESUMO

Este trabalho visa caracterizar e avaliar a eficiência de um lavador de gases no tratamento dos efluentes gasosos de um restaurante através de análises físico-químicas e olfatométricas. A unidade de estudo foi um restaurante de alto padrão localizado no município de Florianópolis. Recentemente, este restaurante enfrentou problemas com o órgão fiscalizador ambiental municipal, devido à forte reclamação por parte da população circunvizinha, em relação à emissão de odores. A metodologia aplicada consistiu na medição da vazão e coleta de amostras na entrada e na saída do lavador de gases do restaurante para posterior análise físico-química e olfatométrica em laboratório. As análises foram realizadas no Laboratório de Controle de Qualidade do Ar (LCQAr), pertencente ao Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina. A avaliação da eficiência do tratamento realizado pelo equipamento de controle de efluentes gasosos deu-se em função da remoção de compostos orgânicos voláteis (COV) e odores. As amostras foram coletadas através de bombas diafragma (pressão/vácuo) utilizando-se sacos Tedlar (material inerte). Na realização das análises físico-químicas utilizou-se a técnica de dessorção térmica acoplada a um equipamento de cromatografia gasosa com detecção por espectrometria de massa. A análise olfatométrica envolveu a caracterização do odor através dos parâmetros: intensidade, hedonicidade, limite de percepção olfativa (concentração) e caráter do odor, com a utilização de um júri de odores através de metodologias internacionais. Os resultados confirmam que hidrocarbonetos e aldeídos são compostos tipicamente gerados no processo de cocção de alimentos em cozinhas profissionais, destacando o potencial poluidor deste tipo de atividade produtiva caso não se apliquem dispositivos de controle. O lavador de gases avaliado mostrou-se eficiente na remoção de alguns grupos de compostos orgânicos, no entanto pode ter tido sua eficiência prejudicada pelo emprego excessivo de surfactantes no líquido de lavagem, ressaltando que cuidados na operação devem ser tomados para o bom funcionamento do equipamento de controle. Ainda assim, o efluente gerado atende a legislação ambiental referente a odores.

PALAVRAS-CHAVE: Poluição atmosférica; COV; odores; olfatometria; lavador de gases; eficiência.

ABSTRACT

This work aims to characterize and evaluate the efficiency of a wet scrubber in the treatment of gas effluents of a restaurant through physico-chemical and olfactometric analysis. The case study was performed in a high standard restaurant located in the city of Florianópolis. Recently, this restaurant had problems with the municipal environmental supervisory body due to the strong complaints by the surrounding populations related to odors emissions. The methodology involved the measurement of the gas flow and the collection of samples at the inlet and outlet of the wet scrubber of the restaurant for later physico-chemical and olfactometric analysis in the laboratory. Analyses were carried at the Laboratory of Air Quality Control (LCQAr), belonging to the Department of Sanitary and Environmental Engineering of the Federal University of Santa Catarina. The treatment efficiency was evaluated in terms of volatile organic compounds (VOC) and odor removal. Samples were collected through diaphragm pumps (pressure/vacuum), using Tedlar bags (material inert). Thermal desorption coupled to a GC-MS was the methodology used for VOC qualification and quantification. The olfactometric analysis involved the characterization of odor through the following parameters: intensity, hedonic, olfactory perception threshold (concentration) and odor character, with the use of a group of panelists, through international methodologies. Results showed that hydrocarbons and aldehydes are typical compounds generated in the food cooking process in professional kitchens, highlighting the pollution potential of this kind of productive activity if treatment techniques are not applied. The wet scrubber evaluated showed efficiency for the removal of some groups of organic compounds, however it may have had its efficiency impaired by the excessive introduction of surfactants in the washing liquid, pointing out that care must be taken in the operation process for the good functioning of the equipment. Anyway, the outlet effluent generated meets environmental laws concerning odors.

KEYWORDS: Atmospheric pollution; VOC; odours; olfactometry; wet scrubber; efficiency.

1. INTRODUÇÃO

Desde que o homem habita a face da terra, várias de suas ações resultam no lançamento de substâncias químicas nos diversos compartimentos do meio ambiente. A partir da descoberta do fogo, as fogueiras contribuíram para o aumento do monóxido de carbono no ar atmosférico. No início, o incremento dessas substâncias era ínfimo e não chegava a comprometer o ecossistema. Entretanto, com o crescimento da população, a industrialização e o desenvolvimento tecnológico, a quantidade de substâncias liberadas tornou-se considerável, afetando todas as formas de vida existentes no planeta.

Nos últimos anos, a discussão sobre a necessidade de uma relação mais equilibrada entre homem e meio ambiente e a conseqüente associação da emissão de poluentes atmosféricos (principalmente aqueles de origem antropogênica) aos problemas ambientais, tornou-se mais evidente. Problemas como chuva ácida, aquecimento global e depleção da camada de ozônio são desastres enfrentados por todos, não obedecendo a limites geográficos ou políticos. Desta forma, a adaptação das necessidades humanas ao meio ambiente, torna-se um grande desafio para a humanidade.

Sobre a saúde humana, a poluição atmosférica afeta o sistema respiratório podendo agravar ou mesmo provocar diversas doenças crônicas, tais como: asma, bronquite, infecções nos pulmões, enfisema pulmonar e doenças do coração. Os odores também são responsáveis por efeitos psicológicos importantes, sobretudo nas regiões mais próximas às fontes emissoras.

Além disso, com uma maior fiscalização por parte dos órgãos ambientais e preocupação por parte da população, a importância dada às normas e possíveis punições aos infratores vem crescendo, juntamente com a busca por soluções para os problemas de ordem ambiental por parte dos empreendedores, que vêm na sua adequação ambiental uma possibilidade de dispor de um fator diferenciador em seu estabelecimento.

Neste contexto, podem-se citar as cozinhas profissionais ou industriais de restaurantes, que dependendo do processo utilizado na cocção de alimentos e da existência ou não de equipamentos de controle da qualidade de seus efluentes gasosos, podem contribuir significativamente para a poluição atmosférica. Tratam-se de fontes fixas de emissão, distribuídas de maneira difusa, e assim, de difícil controle, emitindo material particulado, monóxido de carbono, hidrocarbonetos, e compostos de enxofre e nitrogênio. Além disso, no que diz respeito às emissões oriundas de cozinhas profissionais de restaurantes, são raros os estudos realizados na área e há muitas questões a serem levantadas e respondidas adequadamente.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho consiste em caracterizar os efluentes gasosos de um restaurante visando avaliar, através de análises físico-químicas e olfatométricas, a eficiência de um lavador de gases na remoção de compostos orgânicos voláteis e odores.

2.2 Objetivos Específicos

- Verificar os compostos emitidos através de análises físico-químicas do efluente gasoso;
- Verificar o potencial odorante do efluente gasoso através de análises olfatométricas;
- Avaliar a eficiência do lavador de gases no que diz respeito ao controle da poluição atmosférica;
- Comparar as emissões atmosféricas geradas e o potencial odorante com a legislação ambiental vigente.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo é apresentada uma introdução geral sobre os compostos orgânicos voláteis e os odores, além dos problemas inerentes a emissão destes compostos. São igualmente apresentadas as tecnologias de análise de moléculas odorantes e de controle da poluição do ar. Além disso, é identificada a legislação de controle ambiental referente a odores e cozinhas profissionais.

3.1 Características dos gases de exaustão de cozinhas profissionais

De acordo com a norma NBR 14518 (ABNT, 2000) – *Sistemas de Ventilação para Cozinhas Profissionais*, a cocção¹ dos alimentos gera o desprendimento de vapor d'água, calor e diversas substâncias com propriedades poluentes, aderentes e combustíveis, com odores característicos, que são arrastados pelo sistema de exaustão e descarregados na atmosfera. Estas substâncias podem causar incômodos à vizinhança, além de formar incrustações combustíveis ao longo de todo o percurso de exaustão, com risco de provocar incêndios.

Além disso, a norma afirma que a análise química dos poluentes típicos registra a presença de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA), dispersos e aerotransportados em partículas de óleos e gorduras, de origem vegetal e animal. Entre os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA) presentes, destacam-se, como referência: fluoranteno, pireno, bem-zo(a)antraceno, criseno, benzo(o)pireno, benzo(b)fluoranteno, benzo(k)fluoranteno, benzo(a)pireno, benzo(a)perileno, benzo(g,h,i)perileno, dibenzeno (a,h)antraceno, indeno(1,2,3-cd)pireno; todos críticos em processos de cocção de grelhados e braseiros, e com atividade cancerígena comprovada.

3.2 Ventilação local exaustora

A solução para evitar que os contaminantes se espalhem no ar consiste, obviamente, em captá-los junto à fonte que os produzem. Deste modo, evita-se que os poluentes se espalhem pelo recinto e que venham a afetar o operador do equipamento onde são formados.

Segundo Macintyre (1990), uma instalação local exaustora possui essencialmente as seguintes partes:

- Captor: dispositivo de captação do ar que contém o contaminante, colocado no local onde se origina;
- Ventilador: capaz de produzir a rarefação ou depressão, graças à qual o ar contaminado se desloca do captor até a atmosfera exterior;
- Rede de dutos: conduzem o ar contaminado do captor ao ventilador e deste ao exterior ou aos equipamentos ou sistemas de tratamento;

¹ Entende-se por cocção, a utilização de energia térmica no preparo de alimentos.

- Sistema de tratamento: coletores de partículas, filtros, lavadores de gases e vapores, precipitadores eletrostáticos ou outros dispositivos que retenham partículas ou dissolvam os gases, impedindo que sejam lançados livremente na atmosfera.

3.3 Compostos Orgânicos Voláteis

Os compostos orgânicos voláteis (COV) são definidos como compostos orgânicos de elevada pressão de vapor e são facilmente vaporizados em condições de temperatura e pressão ambientes. A maioria dos hidrocarbonetos, incluindo orgânicos nitrogenados, clorados e sulfurados são designados como COV (CHU *et al.*, 2001).

Os termos hidrocarbonetos (HC) e COV são geralmente confundidos, sendo que os últimos são um subgrupo dos primeiros. Os hidrocarbonetos são geralmente derivados do petróleo e são formados exclusivamente por átomos de hidrogênio e carbono, sendo o metano o gás mais abundante. No grupo dos COV incluem-se os alcanos (metano), os alcenos (altamente reativos), os alcinos (raros na atmosfera), os aromáticos (derivados do benzeno), os aldeídos e as cetonas. Os restantes COV não-hidrocarbonetos, apesar de pouco abundantes, apresentam elevada reatividade: óxidos de etileno, formaldeído, formol, tetracloreto de carbono, CFC e PCB (MICHEL, 1997).

3.3.1 Natureza e toxicologia

As concentrações de COV na troposfera são influenciadas pela emissão, dispersão, deposição e reações fotoquímicas. Tanto fontes biogênicas quanto antropogênicas contribuem para a concentração de COV na troposfera. Nas áreas rurais predominam as emissões de origem biogênica, enquanto que nas industriais predominam emissões de origem antropogênica, oriundas da queima de combustíveis fósseis, indústrias químicas/petroquímicas, etc. (HANSEN e PALMGREN, 1996).

A emissão de COV tem um impacto direto e importante sobre o homem. O risco toxicológico principal dos COV é associado pela inalação. Os vapores penetram nas vias respiratórias chegando até os alvéolos pulmonares, onde se dissolvem no sangue (ALVARES JR.², 2002 *apud* SCHIRMER, 2004).

² ÁLVARES JR., O. M.; LACAVA, C. I. V.; FERNANDES, P. S. Tecnologias e gestão ambiental – Emissões atmosféricas. Brasília: Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI), 2002. 373p.

A Tabela 1 apresenta alguns compostos orgânicos voláteis e suas respectivas características toxicológicas.

Tabela 1 – Características toxicológicas de alguns COV.

Composto	Volatilidade	Penetração cutânea	Irritação	Poder de embriaguez-narcótico
Acetato de etila	3	1	2	1
Acetona	3	1	1	2
Benzeno	3	2	1	2
Diclorometano	3	1	3	2
Etileno glicol	1	0	2	1
n-Hexano	2	2	1	2
Isopropanol	2	0	1	2
Metanol	2	2	1	1
Metil butil cetona	1	1	1	2
Metil etil cetona	3	1	1	2
Percloroetileno	2	1	2	1
Estireno	3	2	2	2
Tetraidrofurano	3	2	3	1
Tolueno	2	1	1	2
Tricloroetileno	2	2	2	2
Xileno	1	2	1	2

Fonte: Adaptado Le Cloirec³ (1998) *apud* Schirmer (2004).

Além dos efeitos diretamente causados ao homem, os COV também produzem efeitos indiretos, afetando consideravelmente o meio ambiente. A transferência dos COV presentes no ar para o meio aquático ocasiona uma série de problemas. A água potável, por exemplo, é alterada devido à presença destes contaminantes, seja em lençóis subterrâneos ou em superfície. Os COV podem ainda ser adsorvidos em diferentes superfícies sólidas (argila, lama, etc.) sendo dessorvidos em outros meios naturais (SCHIRMER, 2004).

Quase todos estes COV, ao combinarem-se com óxidos de azoto, radiação solar e oxigênio, na atmosfera, funcionam como percussores de um conjunto de gases agressivos, os chamados “oxidantes fotoquímicos” (GONÇALVES, 2004). Dentre os oxidantes fotoquímicos presentes na atmosfera, o ozônio é o que se encontra em maior quantidade (70 a 80%). Também são foto-oxidantes o peroxiacetilnitrato (PAN), peroxibenzonitrato (PBN), acroleína, benzopireno, aldeídos, cetonas, etc. (ÁLVARES Jr., 2002 *apud* SCHIRMER, 2004).

Gonçalves (2004) ainda acrescenta que os COV são poderosos absorventes da radiação infravermelha e importantes geradores de CO na troposfera, contribuindo para o efeito estufa e o aumento da temperatura global.

Sendo assim, torna-se imprescindível o controle da emissão de gases e vapores poluentes na atmosfera, pois mesmo lançados no ar, são capazes de alterar o ecossistema de maneira global.

³ LE COIREC, P. Les composés organiques volatils dans l'environnement. Nantes: Ecole de Mines de Nantes, 1998. 734p.

3.4 Odores

O odor tem se tornado um dos problemas ambientais mais sérios do planeta ao longo dos últimos vinte anos (LEYRIS *et al.*, 2000). Em determinados casos, os odores emitidos podem irritar as populações vizinhas. Entretanto, os proprietários de estabelecimentos comerciais e industriais podem controlar o odor espontaneamente ou sob pressão da população circunvizinha e/ou do governo (GOURONNEC e TOMASSO, 2000).

Pouliot (2002) define os odores como uma mistura de um grande número de moléculas voláteis, orgânicas ou minerais, tendo propriedades físico-químicas muito diferentes. Já para Michel (1997), um odor é por definição o sentimento resultante da recepção de um estímulo pelo sistema de membranas das mucosas olfativas. Le Cloirec *et al.*⁴ (1991) *apud* Carmo Jr. (2005), definem de maneira simples os odores como sendo uma mistura complexa de moléculas químicas voláteis, emitidas na sua maioria por atividades humanas, agrícolas, industriais ou domésticas.

Em um ser humano, um odor resulta da interação de moléculas químicas com o sistema olfativo. As moléculas químicas são transportadas no ar de seu ponto da emissão até a pessoa, sendo que ambientes naturais ou processos industriais podem causar a emissão de gases odorantes na atmosfera (GOURONNEC e TOMASSO, 2000).

A resposta humana para um odor é altamente subjetiva; diferentes pessoas encontram diferentes odores ofensivos em diferentes concentrações. Isto resulta na maneira diferente que os indivíduos percebem os odores (CARMO JR., 2005).

3.4.1 Odores e a Saúde

Antigamente, a humanidade acreditava que os odores bons ajudavam a preservar a saúde e os odores ruins, de mau cheiro, eram nocivos a saúde. Atualmente, muitos avanços foram obtidos no estudo dos efeitos do odor sobre a saúde das pessoas, porém este ainda é um campo que necessita de muita investigação (CARMO JR., 2005).

Os efeitos dos odores na saúde ainda são difíceis de serem quantificados, entretanto já foram relatados e documentados sintomas de náuseas, vômitos e dor de cabeça; falta de fôlego e tosse; intensificação da asma; distúrbios no sono e no apetite; irritação nos olhos, nariz e garganta; inquietação, tristeza e depressão; redução da sensação de bem-estar e do prazer de realização de atividades cotidianas como comer, passear, etc.

Há evidências, mostradas em estudos sob condições controladas, que determinados odores podem induzir a alterações fisiológicas e morfológicas, sobretudo no sistema respiratório cardiovascular (ÁLVARES JR., *et al.*, 2002 *apud* CARMO JR., 2005).

⁴ LE CLOIREC, P.; FANLO, J.L.; DEGORGÉ-DUMAS, J. R. Odeurs et désodorisation industrielles. Ecole des Mines D'Alès, 1991.

Apesar de todos esses sintomas ocasionados à saúde e impactos dos odores, há ainda uma grande dificuldade no estabelecimento de uma relação entre a intensidade e o tempo de exposição com a magnitude destes efeitos (ÁLVARES JR. *et al.*, 2002 *apud* CARMO JR., 2005).

Na Tabela 2 são apresentadas as características de alguns dos principais compostos relacionados aos maus odores, bem como seus “limites de percepção olfativa” e de toxicidade.

Tabela 2 – Limites de percepção e toxicidade de alguns compostos odoríferos.

Composto	Limites	
	Percepção (mg/m ³)	Toxicidade (mg/m ³)
Ácido acético	2,5	25
Ácido butírico	0,004	-
Acetona	240	2400
Amônia	18	33
Anilina	3,8	19
Benzeno	15	32
Dimetilamina	0,085	18
Dióxio de enxofre	1,2	13
Formaldeído	1,2	3
Metiletilcetona	29	590
Metilmercaptana	0,0042	1
Estireno	0,2	420
Sulfeto de Hidrogênio	0,00066	14
Tolueno	8,1	375

Fonte: Adaptado de Bouscaren⁵ (1984) *apud* Michel (1997).

A definição de saúde inclui estado de bem-estar físico, mental e social, sendo o bem-estar independente dos hábitos de vida, da biologia humana, do meio sócio cultural e do bem-estar sobre o meio físico (meio ambiente) dentro do qual a pessoa vive. Por essa razão, do ponto de vista da saúde pública, os incômodos olfativos não podem estar dissociados do conceito de saúde (SILVA⁶, 2002 *apud* CARMO JR., 2005).

⁵ BOUSCAREN, R 1984. Les odeurs et la désodonsation. Tech. Sci. Meth., 6: 3 13-320.

⁶ SILVA, G. P. 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 (Engenharia Ambiental)-Universidade Federal de Santa Catarina/UFSC. 96 p. 2002.

3.4.2 Características dos odores

Segundo Pouliot (2002), um odor pode ser caracterizado através de sua natureza específica (qualidade do odor), sensação agradável ou desagradável que provoca (caráter hedonístico ou aceitabilidade) e intensidade. Já para Sneath⁷ (2001) *apud* Carmo Jr. (2005), a percepção odorante tem quatro dimensões: detectabilidade, intensidade, qualidade e hedonicidade.

Nuvolari *et al.* (2003), assim como Sneath (2001) *apud* Carmo Jr. (2005), considera que quatro parâmetros independentes são necessários para uma completa caracterização de um odor. A descrição destes parâmetros é apresentada na Tabela 3:

Tabela 3 – Fatores que devem ser considerados para a caracterização completa de um odor.

Fator	Descrição
Qualidade ou Caráter	Relaciona as associações mentais feitas pelas pessoas ao sentirem o odor; a determinação pode ser subjetiva
Detectabilidade e Concentração do odor	O número de diluições exigidas para reduzir um odor ao mínimo que se pode detectar
Hedonicidade	A relativa agradabilidade ou desagradabilidade do odor sentido pelas pessoas
Intensidade	A força do odor; normalmente determinada em comparação com uma série de diluições de um composto de referência (butanol).

Fonte: Adaptado Nuvolari *et al.* (2003).

3.4.2.1 Qualidade

A qualidade do odor, também conhecida como “caráter do odor”, é uma escala de medida nominal (categoria). O odor é caracterizado utilizando-se um vocabulário de referência para gosto e sensação de odor. Entre as formas mais comuns de representação do odor está a *roda de odores* (Figura 1), descrita por McGinley C. e McGinley M. (2002), onde são destacadas oito categorias (famílias) de odores facilmente reconhecidos: floral, vegetal, frutífero, medicinal, químico, ofensivo, térreo e piscoso; com descrições específicas do odor para cada categoria.

⁷ SNEATH, R. W. In: *Odours in wastewater treatment: measurement, modelling and control*. Olfactometry and the CEN standard prEN17325. Edited by Richard Stuetz and Franz-Bernd Frechen. IWA. 2001.

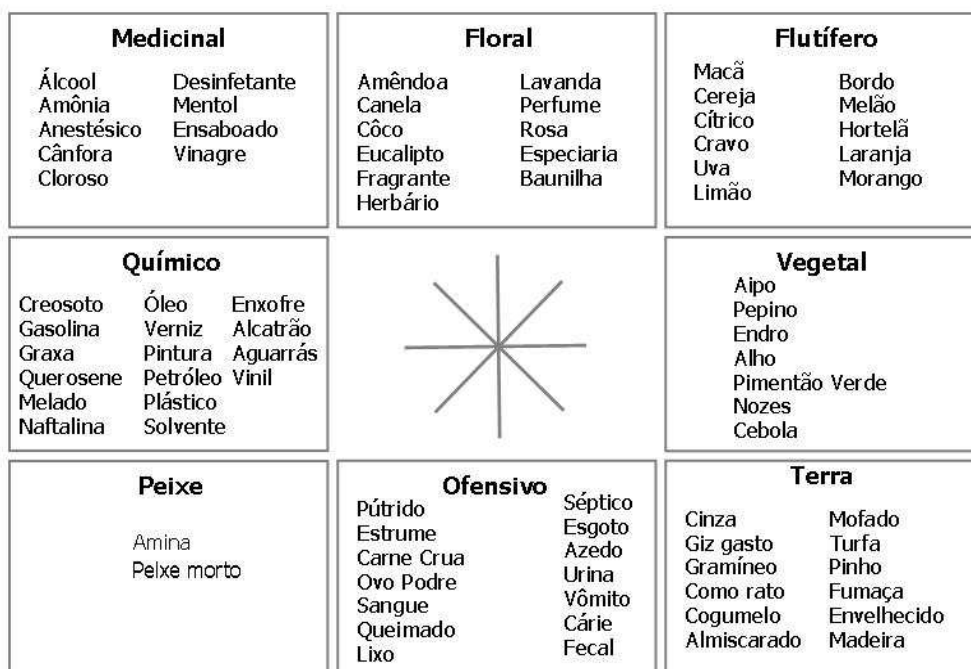


Figura 1 - Roda de odores (adaptado de McGinley C. e McGinley M., 2002).

Os resultados obtidos podem ser apresentados na forma de um histograma, o qual apresenta a percentagem das respostas assinaladas para cada odor específico da amostra, sendo que os asteriscos (*) são o número de vezes que cada odor foi escolhido pelos jurados. Além disso, podem ser apresentados através de um gráfico tipo radar, no qual os valores mais afastados do centro são os que obtiverem maior percentual de respostas (CARMO JR., 2005). Essas duas formas de representação podem ser visualizadas na Figura 2.

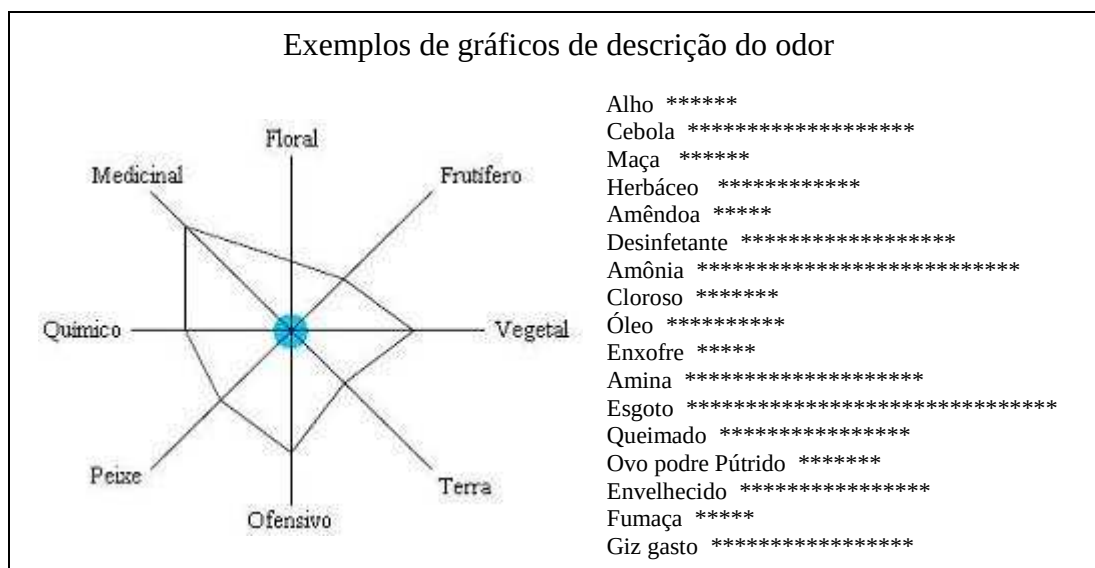


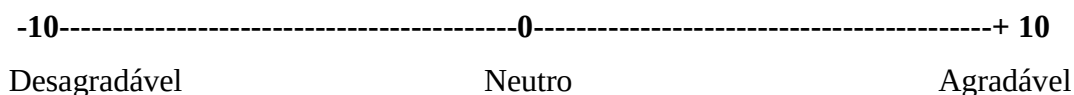
Figura 2 – Caracterização do odor.

Fonte: McGinley C. e McGinley M. (2002).

3.4.2.2 Hedonicidade

O valor hedônico é uma medida da agradabilidade do odor; uma categoria de julgamento quanto à característica do odor de ser ou não prazeroso.

McGinley C. e McGinley M. (2002), apresentam uma escala arbitrária de 21-pontos para a classificação dos odores pelo valor hedônico:



3.4.2.3 Intensidade

A intensidade percebida de um odor é relativa à sua força acima do limite de reconhecimento. A norma americana ASTM E544-75⁸, “prática padrão para referência supralimite de intensidade de odor”, apresenta dois métodos referenciando a intensidade de ambientes com odor: Procedimento A - Método da escala dinâmica; e Procedimento B - Método da escala estática.

O método da escala dinâmica utiliza um olfatômetro, dispositivo com fluxo contínuo de um odorante padrão (butanol) para apresentação a um júri. O júri compara a intensidade observada de uma amostra de odor, a um nível de concentração específico do odorante padrão. A intensidade é, usualmente, representada usando-se uma categoria de escala subjetiva (exemplo: fraca-moderada-forte) por magnitude estimada subjetiva (exemplo: odor A é duas vezes mais forte que o odor B) ou por referência a um odorante específico, do qual a concentração é ajustada, até que o odorante de referência e o do teste tiverem a mesma intensidade percebida (GOSTELOW *et al.*, 2000).

No método da escala estática, a avaliação da intensidade odorífera pode ser desenvolvida utilizando-se o método do butanol, que permite comparar a amostra a ser analisada com padrões referenciais de odores. Este método utiliza uma escala de referência, com concentrações diferentes e conhecidas de soluções diluídas em água ou em ar inodoro (PERRIN⁹, 1994 *apud* SCHIRMER, 2004). A Tabela 4 apresenta as diluições em água destilada recomendadas conforme a norma francesa AFNOR¹⁰ (1993) para 1-butanol.

⁸ ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. E 544-75. Standard practices for referencing suprathreshold odor intensity. American National Standard. Philadelphia, 1997.

⁹ PERRIN M.L. L'olfactométrie ou la mesure des odeurs. L'Environnement. 38, 4-5, 1994.

¹⁰ AFNOR – Association Française de Normalisation. Mesure olfactométrique-Mesure de l'odeur d'un échantillon gazeux ou d'une atmosphère – intensité supraliminaire (X 43-103). Paris, 1993.

Tabela 4 – Intensidade dos Odores para 1-Butanol.

Concentração (g/L)	Nível	Intensidade do odor
0,001	1	Muito fraco
0,01	2	Fraco
0,1	3	Médio
1	4	Forte
10	5	Muito forte

Fonte: AFNOR (1993).

Segundo a VDI 3882 - Parte 1¹¹ (1992) para avaliar a intensidade do odor de uma amostra inalada, o júri deve classificar sua impressão acerca do odor de acordo com o conceito especificado seguindo a escala apresentada na Tabela 5.

Tabela 5 – Escala de Categoria do Odor.

Odor	Nível de intensidade
Extremamente forte	6
Muito forte	5
Forte	4
Distinto	3
Fraco	2
Muito fraco	1
Não perceptível	0

Fonte: VDI 3882 – Parte I (1992).

3.4.2.4 Concentração

Segundo a VDI 3881 - Parte 1¹² (1986) e VDI 3882 - Parte 1 (1992), a concentração odorante de uma amostra gasosa (composto simples ou mistura composta) é determinada pela diluição do odor com ar neutro até que o limite de percepção do odor seja alcançado (CARMO JR., 2005).

A unidade quantitativa é a Unidade de Odor (UO) dividida pela unidade de volume (m^3), ou seja, UO/m^3 ou $UO \cdot m^{-3}$, sendo que a concentração de uma amostra inalada ao limite de percepção do odor é, por definição, igual a $1UO \cdot m^{-3}$. Assim, considerando que $1UO = 1 \text{ EROM}$ (massa de referência européia de odor) = $123\mu g$ n-butanol, quando $123\mu g$ n-butanol é evaporado em $1 m^3$ de gás neutro nas condições ($20^\circ C$), para a olfatometria, a concentração é $0,040\mu mol/mol$ (40ppb) (CARMO JR., 2005).

¹¹ VDI – Verein Deutscher Ingenieure – Olfactometry. VDI 3881 (part 1) - Determination of odour intensity. Berlin, 1992.

¹² VDI – Verein Deutscher Ingenieure – Olfactometry. VDI 3882 (part 1) - Odour Threshold Determinations - Fundamentals. Berlin, 1986.

3.4.3 *Análise dos compostos odorantes*

Sob determinadas condições, os odores podem ser considerados como uma fonte de constrangimento para o ambiente. Isso enfatiza a necessidade de saber medir estes odores a fim de estimar seu nível e assim, lutar contra este tipo de incômodo (POULIOT, 2002). A determinação da intensidade da fonte odorante é a primeira etapa para resolver um problema de odor (LEYRIS *et al.* 2000).

Para Michel (1997), pela sua própria natureza, o sentido olfativo não é um sentimento facilmente mensurável, sendo este atualmente menos conhecido cientificamente que alguns outros sentidos, tais como: visão, audição e tato.

Atualmente estão disponíveis três maneiras para medir o odor: análises físico-químicas, que informam a composição química dos odores percebidos; avaliação sensorial, que dá a percepção nasal do odor; e a medida do nariz eletrônico, que identifica determinados compostos odorantes em tempo-real. Diversas diferenças entre indivíduos foram observadas para os três tipos de avaliação: cultural, perceptivo e semântico, ou somente perceptivo, respectivamente (RAMALHO, 2000). As diferenças perceptivas estão relacionadas à maior sensibilidade por parte de alguns indivíduos para sentir um odor. Já as semânticas, dizem respeito às associações mentais realizadas pelos diferentes indivíduos ao sentirem um odor, estando relacionada com sua memória de odores.

Desauziers (2000) ainda acrescenta que no momento nenhum método pode ser considerado como uma referência para a medida do odor, sendo que as diferentes aproximações analíticas são complementares.

3.4.3.1 *Análise físico-química*

Os conhecidos métodos físico-químicos consistem em identificar e em quantificar, com auxílio de instrumentos analíticos, cada um dos compostos odorantes presentes no efluente gasoso. Entre estas técnicas encontram-se as análises volumétricas, colorimétricas, a cromatografia gasosa, a espectrometria de massa, e outras (MICHEL, 1997). Este conhecimento é particularmente relevante para selecionar o tratamento mais apropriado e para determinar as dimensões da unidade de desodorização. A identificação estrutural dos compostos odorantes pode também informar sobre seus mecanismos de formação, permitindo a solução da poluição olfativa através da realizando de ações diretamente no processo (DESAUZIERS, 2000).

A utilização de métodos físico-químicos na análise de compostos odorantes permite a identificação da impressão digital do odor, ou seja, identificar os produtos químicos presentes na mistura gasosa. Na qualificação e quantificação dos compostos, a técnica analítica mais utilizada é a cromatográfica gasosa, podendo estar acoplada a uma unidade de dessorção térmica e outra de espectrometria de massa (CARMO JR., 2005).

Para Guillot (2000), a cromatografia gasosa acoplada com espectrometria de massa (CG/EM) é geralmente utilizada, e parece ser atualmente, a técnica mais poderosa disponível para analisar compostos orgânicos odorantes. Em se tratando de

níveis muito baixos de percepção, uma etapa de adsorção em um adsorvente apropriado é frequentemente exigida como uma pré-concentração da amostra. A recuperação da amostra é realizada geralmente pela dessorção térmica (DT), seguida por separação e detecção analítica utilizando cromatografia gasosa e espectrometria de massa (CG/EM).

3.4.3.2 Análise olfatométrica

Michel (1997), salienta que no estado atual do conhecimento, somente o nariz humano pode determinar se uma mistura das moléculas é odorante ou não. Além disso, por causa da grande complexidade dos estímulos transmitidos ao cérebro durante a percepção dos odores, é difícil deduzir a intensidade destes estímulos somente através da composição físico-química do odor.

A olfatometria fornece uma compreensão global do odor, uma vez que permite verificar a sensibilidade do sistema olfativo humano, que frequentemente percebe sinais químicos correspondentes a pequenas concentrações moleculares não detectados facilmente pelos analisadores químicos atuais. A olfatometria também permite a integração das propriedades da membrana da mucosa nasal com a mistura de moléculas odorantes. De fato, quando a membrana da mucosa estiver sujeita a uma mistura de moléculas, pode haver uma inibição ou uma estimulação resultante dos sinais do odor que seriam obtidos das moléculas examinadas separadamente (GOURONNEC e TOMASSO, 2000).

A olfatometria inclui técnicas que possibilitam a determinação do fator de diluição de uma mistura gasosa e a determinação da intensidade dos odores. Por ser uma medida psicofísica, sofre limitações devido ao fato de que o nariz humano é essencialmente um instrumento qualitativo, permitindo obter as medidas quantitativas somente com o uso de instrumentos suplementares. Assim, a olfatometria permite converter a remoção odorante em números, de uma escala e em unidades que são fixadas (CARVALHO, 2001¹³ *apud* CARMO JR., 2005).

O aparelho utilizado na olfatometria é o olfatômetro. Este aparelho possibilita a realização da diluição de uma mistura odorante por um gás inodoro e apresentação da mistura diluída a um júri de pessoas com o intuito de se determinar o limite de percepção e fornecer a concentração odorante expressa em UO/m³ (VAN HARREVELD¹⁴, 2004 *apud* CARMO JR., 2005). Assim, o princípio geral do olfatômetro consiste em dirigir a mistura de gás obtida a um observador ou jurado, que detectará o momento em que começar a perceber o odor (CARMO JR., 2005).

O ponto de partida para a quantificação dos aspectos relativos ao odor é a definição de sua concentração limite. O limite de percepção olfativa (K₅₀) é a concentração na qual 50% do conjunto de indivíduos expostos detectam o odor a que estão sendo submetidos (GOURONNEC e TOMASSO, 2000).

¹³ CARVALHO, C. M.; SILVA, G. P. da; DE MELO LISBOA, H.; BELLI FILHO, P., CARMO JR, G. N. R. Olfatometria como ferramenta de avaliação da qualidade do ar - Estudo de casos In: 22 Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2003, Joinville.

¹⁴ VAN HARREVELD, A. P. Odour management tools-filling the gaps. Water Science & Technology. Vol.50, nº 4, 1-8. 2004.

Segundo a norma AFNOR NF X 43-104¹⁵ (1990), a olfatometria pode ser trabalhada de duas maneiras: em linha ou não, o que necessita a utilização de técnicas de amostragens diferentes.

Na amostragem para a olfatometria que não é em linha, as amostras são coletas em recipientes próprios para coleta de odores, como sacos e garrafas, e transportados ao laboratório para análise (CARMO JR., 2005).

Freechen¹⁶ (2000) *apud* Carmo Jr. (2005) salienta que os equipamentos utilizados no processo de amostragem devem ser escolhidos de modo a minimizar a probabilidade de adsorção, transformação química ou difusão.

Segundo a EN 13.725¹⁷ (2003) a amostragem para odores pode ser realizada através de técnicas diretas ou indiretas. Na amostragem direta, a coleta é realizada por bombeamento da amostra de ar para dentro do saco de amostragem. Já na amostragem indireta, o saco de amostragem é colocado em um vaso fechado e é conectado, para sucção, em uma bomba de ar, provocando depressão. Assim, a amostra de ar é aspirada para dentro do saco, reduzindo a pressão no interior do vaso. Deste modo, na amostragem direta há necessidade de limpeza da bomba após a amostragem, uma vez que a amostra de ar passa através desta; já na amostragem indireta isto não ocorre.

Segundo a VDI 3881 - Parte 2 (1987) existem basicamente duas técnicas de amostragem para análise com um olfatômetro: a amostragem dinâmica e a amostragem estática.

Na amostragem dinâmica, um fluxo parcial da amostra a ser investigada é transportado continuamente para o olfatômetro. O olfatômetro é conectado ao duto de amostragem e abastecido continuamente com um volume adequado da amostra odorante. Já na amostragem estática, um recipiente é preenchido com a amostra odorante e é conectado ao olfatômetro para investigação (CARMO JR., 2005).

Júri Olfatométrico é a denominação dada a um conjunto de pessoas selecionadas e treinadas para expressar a sua opinião/impressão a respeito da presença ou ausência de odor nas amostras de gases analisadas. A norma européia EN 13.725 (2003) afirma que a parte chave para a precisão da medida de odor é a seleção das pessoas que constituem o painel ou júri dos odores. Perrin (1994) *apud* Carmo Jr. (2005) ainda ressalta que o júri deve constituir-se numa amostra representativa da população, quanto a sexo, categoria profissional, entre outros.

Le Cloirec (1991) *apud* Carmo Jr. (2005) afirma que todo método de determinação de intensidade ou concentração de um odor necessita de um sistema de diluição. A diluição pode ser efetuada de forma estática ou dinâmica (Fernandez, 1997 *apud* CARMO JR., 2005).

¹⁵ AFNOR – Association Française de Normalisation. Qualite de l'air - atmosphères odorantes methodes de prelevement (X 43-104). Paris, 1990.

¹⁶ FRECHEN, F. B. Odour measurement and odour policy in Germany. Water Science and Technology, v. 41 N° 6 pp.17 – 24, 2000.

¹⁷ EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDISATION- CEN EN 13725. Determination of odour concentration measurement by dynamic olfactometry. Brussels. 2003.

No método dinâmico a vazão de ar odorante é diluída de forma contínua em uma vazão de ar puro (LE CLOIREC, 1991 *apud* CARMO JR., 2005) gerando um fluxo contínuo de mistura.

A apresentação das amostras odorantes ao júri através da diluição dinâmica é normalizada pela EN 13.725 (2003). Segundo esta norma existe três diferentes maneiras para apresentação da amostra odorante ao júri, sendo que todos os procedimentos produzem um resultado comum, são eles: o limite individual estimado (LIE); Modo SIM/NÃO; e Modo Escolha Forçada e Escolha Forçada/Modo Probabilidade.

3.4.3.3 Nariz eletrônico

Uma terceira técnica para análise de odores é o uso de um equipamento chamado nariz eletrônico. Segundo Hudon (1999), a denominação nariz eletrônico ou nariz artificial, explica-se pela analogia que existe entre este tipo de aparelho de medida e o sistema olfativo humano: os captosres químicos desempenham o papel dos neuroreceptores olfativos, enquanto que o sistema de tratamento de informações pode ser associado ao cérebro olfativo.

O princípio de funcionamento do nariz eletrônico baseia-se na utilização um conjunto de captosres não seletivos que reagem na presença de compostos voláteis, formando assim uma impressão digital da mistura odorante em estudo. O papel do sistema de reconhecimento é associar esta marca eletrônica a um determinado odor, após um tratamento matemático previamente implementado sobre um microprocessador. Sendo assim, de acordo com suas aplicações, é possível identificar, detector, ou ainda, discriminar diferentes odores (HUDON, 1999).

Apesar de ser aplicável em um efluente gasoso contendo uma grande variedade de compostos e proporcionar uma análise continua das emissões odorantes, esta ainda é uma técnica de alto custo.

3.5 Estratégias e Tecnologias de Controle da Qualidade do Ar

Existem duas formas de controlar as emissões gasosas: o controle na origem (ou medidas indiretas) e o controle de fim-de-linha (ou medidas diretas). O controle na origem envolve a redução de emissões através da substituição da matéria-prima, redução ou reciclagem. O controle de fim-de-linha implica na orientação mais correta do poluente, sendo sua escolha tecnológica, normalmente ditada por variáveis econômicas e ambientais. Estas variáveis dependem da natureza do composto a ser tratado, da concentração, do caudal volumétrico, e do modo de emissão da corrente gasosa. Por vezes, faz-se necessária a combinação de tecnologias para ir ao encontro dos limites estabelecidos pela legislação (MICHEL, 1997).

3.5.1 Medidas indiretas de controle

Medidas indiretas de controle são medidas que não implicam na utilização de unidades ou equipamentos destinados ao tratamento das emissões gasosas. Assim, aplicam-se ações no sentido de reduzir a carga poluidora buscando atender os padrões de emissão preconizados em norma. Dentre estas medidas podemos citar: o aumento da altura da chaminé, favorecendo a dispersão dos poluentes; a substituição do combustível utilizado no processo pela utilização de energias mais limpas, etc. Sanga (2004), define energia limpa para cocção como sendo aquela produzida de maneira eficiente e gerando menos substâncias poluentes, tais como CO₂ e produtos de combustão incompleta: CO, CH₄, CONM¹⁸ e MPT¹⁹.

A NBR 14518 (2000) – *Sistemas de Ventilação para Cozinhas Profissionais*, afirma que para promover a dispersão ambiental da carga poluidora, a descarga dos gases de exaustão deve ser feita a uma altura superior a 5 m em relação ao topo de todas as construções e tomadas de ar dentro de um raio de 50 m, a partir do centro terminal de descarga e em uma cota com no mínimo 10 m acima do solo, conforme VDI 3895. Porém, caso os padrões de emissão estabelecidos legalmente não possam ser atendidos, a norma determina que devam ser empregados dispositivos e equipamentos de tratamento aos gases de exaustão, com o objetivo de minimizar as emissões de poluentes à atmosfera, reduzir a frequência de limpeza no interior do sistema de exaustão e diminuir o risco de incêndios.

3.5.2 Medidas diretas de controle

Os equipamentos de controle da poluição do ar costumam ser divididos em função do estado físico de poluente a ser considerado, ou seja, equipamentos de controle de material particulado e equipamentos de controle de gases e vapores.

O material particulado pode ser removido do fluxo gasoso por sistemas secos (coletores mecânicos inerciais e gravitacionais; coletores centrífugos, como os ciclones; precipitadores eletrostáticos secos e filtros de tecido, como os filtros tipo mangas) e por sistemas úmidos (lavadores e precipitadores eletrostáticos úmidos).

Os gases e vapores podem ser removidos do fluxo poluído através de absorventes (lavadores de gases), adsorventes (carvão ativado), por condensadores, biofiltros, processos de incineração térmica ou catalítica, e por outros processos especiais.

3.5.2.1 Lavadores de gases

Segundo Hesketh (1996), lavadores são os dispositivos mais difundidos capazes de controlar materiais particulados e poluentes orgânicos. Além disso, podem ser utilizados no controle de odores (HESKETH e SCHFFTNER, 1996)

Os lavadores úmidos costumam ser divididos em dois grandes grupos: coletores de particulados e dispositivos de controle de emissões gasosas. Os coletores

¹⁸ Compostos orgânicos não metânicos.

¹⁹ Material particulado total.

de particulados baseiam-se na força inercial ou eletrostática para coleta de partículas transportadas. Já os dispositivos de controle de emissões gasosas criam grande superfície de contato entre líquido e gás de modo que os poluentes possam ser absorvidos pelo líquido de lavagem (HESKETH e SCHIFFTNER, 1996).

De acordo com Bounicore e Theodore (1994), os mecanismos de coleta de particulados envolvidos na separação de lavagem úmida podem incluir alguns ou todos os seguintes: impactação inercial, interceptação direta, difusão (movimento browniano), forças eletrostáticas, forças gravitacionais, condensação, e gradientes térmicos. A Figura 3, abaixo, ilustra os principais mecanismos.

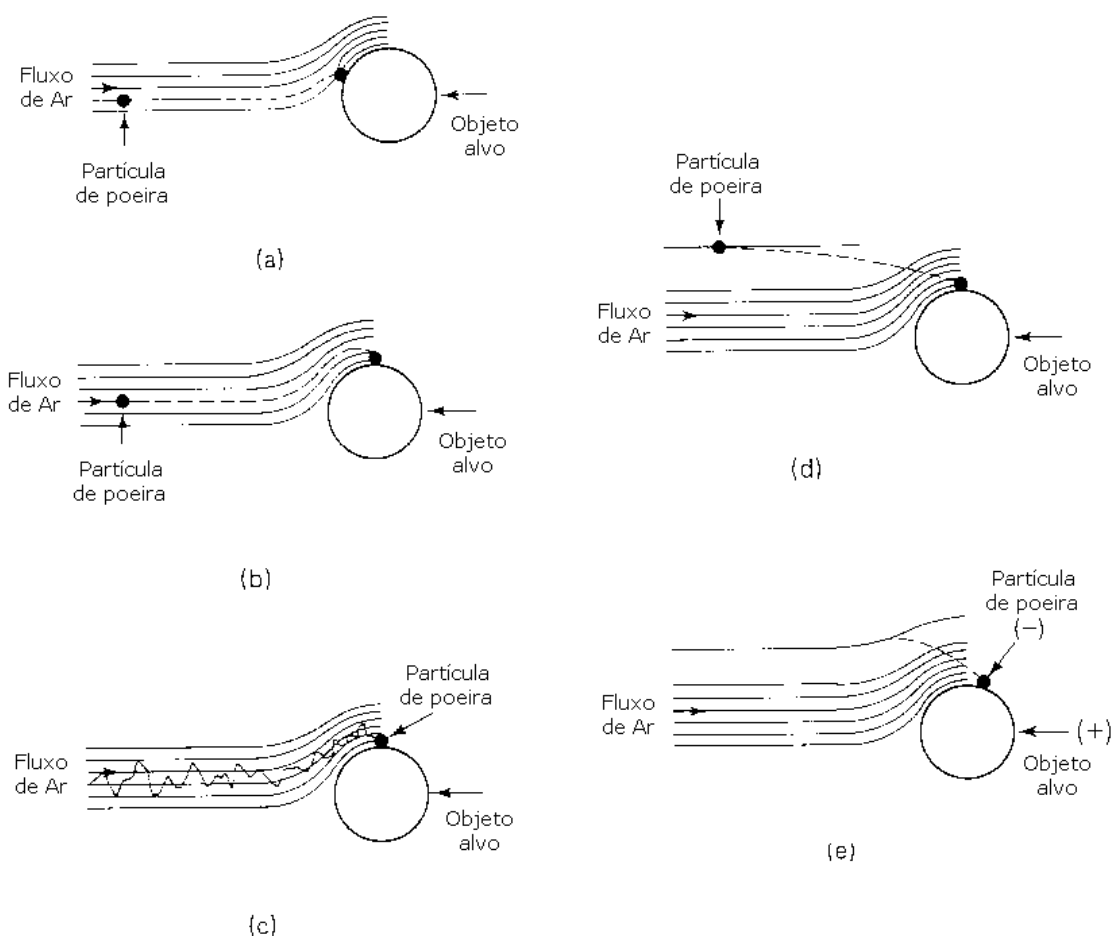


Figura 3 – Principais mecanismos de coleta em lavadores de úmidos: (a) impactação inercial; (b) interceptação direta; (c) difusão; (d) forças gravitacionais; (e) forças eletrostáticas (BOUNICORE e THEODORE, 1994).

Além de controlar poluentes gasosos e material particulado, os lavadores úmidos também apresentam a vantagem de serem capazes de lidar com gases quentes, partículas adesivas e vapores. As desvantagens são que estes requerem mais energia na operação, emitem gases úmidos e produzem efluentes líquidos (HESKETH, 1996).

O processo de absorção envolve a remoção de um contaminante gasoso (absorbato) de uma corrente gasosa por sua dissolução em um líquido (absorvente).

Assim, a absorção é um processo de transferência de massa que se dá devido a uma diferença de concentração entre os dois meios presentes (ALVARES JR., 2002 *apud* SCHIRMER, 2004). A eficiência desta transferência depende largamente da afinidade do poluente à fase líquida, sendo que a água é normalmente a solução de lavagem utilizada.

Hesketh (1996), afirma que inúmeros benefícios podem ser obtidos pela adição de substâncias no líquido de lavagem. Segundo o autor, tem sido discutido o uso de cátions alcalinos (sódio, magnésio e cálcio) para conter SO_2 absorvido como sulfetos e sulfatos. Isto aumenta a remoção de SO_2 e impede que o líquido resultante se torne um ácido fortemente corrosivo. Além disso, outros materiais como oxidantes, inibidores e catalisadores, podem melhorar o processo de lavagem.

A remoção de partículas também pode ser melhorada pela utilização de surfactantes (desengordurantes). Pequenas quantidades destes produtos reduzem a tensão superficial da fase líquida. No entanto, deve-se tomar cuidado para evitar o emprego excessivo de surfactantes nos pontos de recirculação, uma vez que isto pode resultar na formação de espuma no interior do lavador, ocasionando a redução da absorção enquanto melhora a coleta de partículas (HESKETH, 1996).

Segundo Hesketh (1996), a eficiência de lavadores úmidos depende do quão bem a névoa separadora funciona. Se adequadamente projetado e operado, podem apresentar eficiência superior a 99,5%. Para Michel (1997), os lavadores úmidos podem tratar concentrações de COV de 500 $\mu\text{l/l}$ a 5000 $\mu\text{l/l}$ com eficiências de 95 a 98%.

3.6 Legislação de COV/Odores

À medida que se conhecem melhor os efeitos da poluição atmosférica na vida humana e no meio ambiente, as exigências legais de controle de compostos orgânicos tóxicos e odoríferos têm incrementado. O aumento da exigência dos regulamentos por entidades municipais, nacionais e internacionais tem levado os setores industriais e comerciais a aplicar tecnologias mais rigorosas no tratamento de emissões gasosas. Os limites de emissão são estabelecidos por agências ambientais, tendo em conta o potencial risco à saúde e degradação ambiental que estes poluentes podem causar.

Nos programas de ação da União Européia (EU) a prevenção da poluição atmosférica tem sido apontada como uma das questões mais relevantes no que diz respeito ao meio ambiente. Na década de 90, o Comitê Europeu de Normalização (CEN) formou uma comissão técnica que desenvolveu um teste padrão para o odor, o qual foi liberado no final de 2001, intitulado EN 13.725: “Qualidade do ar - Determinação da concentração do odor pela olfatometria dinâmica” (McGINLEY M. e McGINLEY C., 2002).

A Legislação Federal Brasileira, mediante a Resolução CONAMA 03/90, estabelece padrões de qualidade do ar para os poluentes convencionais, tais como: partículas totais em suspensão, dióxido de enxofre, monóxido de carbono, todavia, não estabelece padrões de emissão ou limites de emissão de compostos odoríferos pelas fontes de emissões ou metodologias para a análise de odores. Entretanto, a Política Nacional do Meio Ambiente considera como poluição todas as atividades

que, direta ou indiretamente, prejudiquem o bem estar da população. Desta forma, quando se necessita de padrões para mensurar o odor, deve-se buscar um entendimento entre as partes interessadas ou valer-se de legislações praticadas fora do Brasil (BICHARA, 1999 *apud* CARMO JR, 2005).

Em Santa Catarina, o Decreto 14.250 (FATMA, 1981) regulamenta dispositivos da Lei nº 5.793 de 15 de outubro de 1980, referentes à Proteção e a Melhoria da Qualidade Ambiental. Na Subseção III, da Seção III, Capítulo II, que trata dos padrões de emissão, encontra-se o Artigo 31, que estabelece 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”. Além disso, a norma determina que a constatação das emissões deve ser feita por agentes credenciados e baseada em uma lista de substâncias de referência, através de sua comparação no ar com o Limite de Percepção de Olfativa (LPO).

O Decreto 14.250 (FATMA, 1981), prevê o LPO para apenas 53 produtos químicos. Este fato está muito aquém da realidade, uma vez que apenas no ano de 1985 o Registro Internacional de Substâncias Químicas Potencialmente Tóxicas (IRTC), fez menção ao registro pelo *Chemical Abstracts Service* (CAS) de 7 milhões de substâncias químicas. Além disso, os LPO dos compostos odorantes estabelecidos pela legislação catarinense são similares em gênero e número aos tabelados por Leonardos *et al.*²⁰ (1969), cuja definição não é resultante de uma pesquisa experimental (MUNIZ, 2007).

No Estado do Paraná, a Resolução nº 041/02 – SEMA (Capítulo I, Artigo 11) estabelece que atividades geradoras de substâncias odoríferas, com uma taxa de emissão acima de 5.000.000 UO.h⁻¹ (unidades de Odor por hora), deverão promover a instalação de equipamento previamente analisado pelo Instituto Ambiental do Paraná, visando à captação e remoção do odor. O tipo de equipamento de remoção de odor a ser instalado dependerá das condições locais de dispersão, da proximidade de áreas habitadas e da quantidade de substâncias odoríferas emitidas, a qual deverá ser quantificada por olfatometria e expressa em Unidades de Odor lançadas na atmosfera por hora. A eficiência do equipamento de remoção de odor, determinada por olfatometria (Norma VDI 3881: Olfactometry, Odour Threshold Determination, Part 1-4), deve ser no mínimo de 85%, sendo que esta determinação aplica-se a uma fonte fixa pontual (chaminé).

Em se tratando especificamente de cozinhas profissionais, a NBR 14518 – *Sistemas de Ventilação para Cozinhas Profissionais* dispõe sobre os limites de emissão de material particulado e de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA) a serem atendidos. A norma também determina que as análises sejam executadas por cromatografia líquida de alta pressão (HPLC) ou cromatografia gasosa com espectrometria de massa (CG/EM).

²⁰ LEONARDOS, G.; KENDALL, D.; BARNARD, N. *Odor threshold determinations of 53 odorant chemicals*. Journal of the air Pollution Control Association. v.19, n.2. 1969. p.91-95.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo, é realizada a descrição do cenário e dos procedimentos empregados no desenvolvimento deste trabalho de conclusão de curso, a partir das informações teóricas levantadas.

A metodologia aplicada consistiu na medição da vazão e coleta de amostras dos gases de exaustão de uma cozinha profissional para posterior análise físico-química e olfatométrica em laboratório. As análises foram realizadas no Laboratório de Controle de Qualidade do Ar (LCQAr), pertencente ao Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina. Foram coletadas amostras na entrada e na saída do equipamento de controle da poluição atmosférica do restaurante. Após as análises, foi realizado o processamento dos resultados obtidos, bem como sua interpretação e análise. Por fim, foi avaliada a eficiência do tratamento realizado pelo lavador de gases no que diz respeito aos compostos emitidos e ao seu potencial odorante.

4.1 Caracterização da área de estudo

A unidade experimental de estudo foi um restaurante localizado no município de Florianópolis (Figura 4). Trata-se de um restaurante de alto padrão, localizado em uma região nobre e muito povoada da cidade.



Figura 4 – Vista da fachada do restaurante.

Recentemente, este restaurante enfrentou problemas com o órgão fiscalizador ambiental municipal, no caso a Vigilância Sanitária. O problema foi devido à ineficiência do seu equipamento de tratamento de efluentes gasosos e à forte reclamação, por parte na população circunvizinha, em relação à emissão de odores.

O restaurante realiza trabalhos de fritura de uma variedade de alimentos, principalmente hamburgers, sobre chapas quentes, conforme pode ser observado na Figura 5.



Figura 5 – Processo de cocção de alimentos.

A fim de adequar-se ambientalmente, o proprietário do estabelecimento substituiu todo o antigo sistema de exaustão e controle de seu efluente gasoso. Foram adquiridos da Capmetal equipamentos de tecnologia de ponta no controle de poluentes atmosféricos.

Segundo a NBR 14.518²¹ (2000), os Precipitadores Hidrodinâmicos são unidades onde sob ação da força centrífuga, o fluxo gasoso tem sua velocidade elevada ao ingressar num rotor que também é responsável pela atomização da solução aquosa e o contato instantâneo entre o fluxo de exaustão poluente e o líquido de lavagem, utilizando a tecnologia de centrifugação multiventuri.

O processo de centrifugação líquida multiventuri baseia-se em princípios mecânicos e físico-químicos, onde a captação dos poluentes ocorre pelos efeitos concomitantes de carreamento de partículas; condensação forçada de névoas e vapores; e solubilização e neutralização de gases e odores (CAPMETAL, 2007).

No interior da cozinha foi instalado um conjunto de coifas em aço inoxidável sobre as chapas utilizadas na cocção de alimentos. Estas coifas são dotadas de um dispositivo de resfriamento que promove a condensação dos gases e vapores captados logo na entrada do sistema de exaustão. Após ser captado, o efluente é encaminhado a um pequeno lavador, localizado no interior da cozinha, que realiza a pré-lavagem do efluente antes deste seguir pela rede de dutos externos. É comum utilizar um pré-lavador antes de passar o efluente gasoso por outro dispositivo de coleta e lavagem (HESKETH, 1996). A instalação é complementada por interligação hidráulica / elétrica, rede de dutos, exaustor e periféricos como dampers e registros.

²¹ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. *Sistemas de Ventilação para Cozinhas Profissionais* – NBR 14518, 2000.

Na parte externa do restaurante, foi instalado um conjunto de dutos de exaustão (Figura 6^a) e um Precipitador Hidrodinâmico, constituído de dois lóbulos contrapostos, sendo um de centrifugação e outro de separação ciclônica (Figura 6^b), responsável pela realização do tratamento do efluente gasoso da cozinha profissional.



Figura 6 – (a) sistema de dutos de exaustão externo e (b) Precipitador Hidrodinâmico com tecnologia multiventuri.

Não foi possível obter maiores detalhes do funcionamento do equipamento ou de todo o processo, uma vez que se trata de uma tecnologia patenteada, constituindo, portanto, ‘segredo industrial’.

O novo sistema de exaustão e tratamento de efluentes gasosos do restaurante foi instalado, porém não era conhecida a real eficiência apresentada pelo equipamento de controle empregado e se este gerava efluente que atendia aos padrões de emissão exigidos legalmente, de modo a não comprometer o meio ambiente.

4.2 Procedimento experimental

4.2.1 Medição da vazão do efluente gasoso

Segundo Mancintyre (1990), a velocidade do ar pode ser medida com o auxílio de um tubo de Pitot ou com placas de orifício e bocais calibrados, além dos anemômetros de palhetas giratórias e dos anemômetros de palheta oscilante.

Neste trabalho, a medição da velocidade do efluente gasoso foi realizada através de um tubo de Pitot do tipo “S”, juntamente com um manômetro digital e baseada na NBR 11.966²² (MB 3080), a qual prescreve o método de determinação da

²² ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. *Efluentes gasosos em dutos e chaminés de fontes estacionárias – Determinação da velocidade e vazão* – NBR 11966, 1989a.

velocidade média e da vazão volumétrica do efluente gasoso em duto ou chaminé de fonte estacionária.

Na aplicação desta norma foi necessário consultar a NBR 10.701²³ (NB 1202), NBR 10.702²⁴ (MB 2994) e NBR 11.967²⁵ (MB 3081), correspondendo, respectivamente, às metodologias de determinação de pontos de amostragem numa secção transversal de duto ou chaminé de fonte estacionária, determinação da umidade e determinação da massa molecular do gás em base seca em dutos (ABNT, 1989). A medição das temperaturas de bulbo seco e úmido foi realizada utilizando um aparelho termopar.

Segundo a NBR 10.701 (1989), a seção transversal para tomada de velocidade deve ser escolhida num trecho reto a uma distância de pelo menos 8 diâmetros à jusante e 2 diâmetros à montante de duas singularidades (curva, joelho, contração, expansão, etc.) consecutivas. Caso isto seja impraticável, a norma recomenda que seja selecionada uma seção transversal que esteja pelo menos 2 diâmetros à jusante e 0,5 diâmetro à montante.

Para atender a norma foi necessário fazer um prolongamento na chaminé. Foi utilizada uma chapa metálica de 1 metro de comprimento que foi soldada provisoriamente ao duto de saída do lavador de gases (Figura 7).



Figura 7 – Prolongamento da chaminé do lavador de gases.

A determinação do número de pontos na seção transversal foi realizada com base na Figura 8, considerando o diâmetro da chaminé de 86 cm e um trecho linear de duto de 2,5 m.

²³ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. *Determinação de pontos de amostragem em dutos e chaminés de fontes estacionárias - Procedimento* – NBR 10701, 1989c.

²⁴ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. *Efluentes gasosos em dutos e chaminés de fontes estacionárias - Determinação da massa molecular - Base seca* – NBR 10702, 1989d.

²⁵ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. *Efluentes gasosos em dutos e chaminés de fontes estacionárias - Determinação da umidade* – NBR 11967, 1989b.

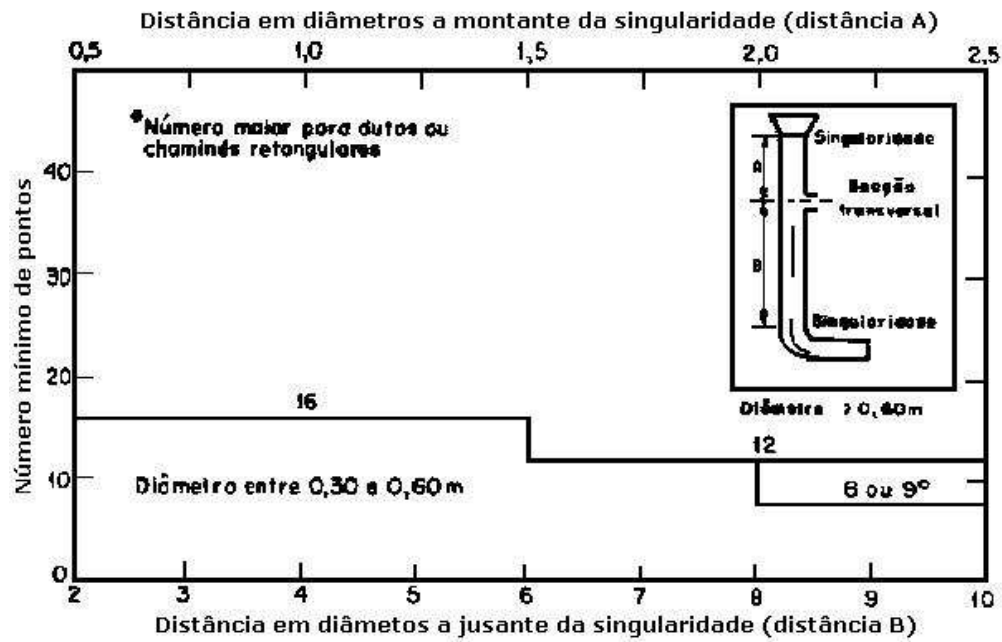


Figura 8 – Número mínimo de pontos para determinação da velocidade.
Fonte: NBR 10701/1989.

Conforme a Figura 8 constatou-se a necessidade da utilização de 16 pontos para determinação da velocidade na saída da chaminé. Estes pontos foram distribuídos sobre dois diâmetros perpendiculares (metade em cada diâmetro). A Figura 9 apresenta o procedimento de execução e os furos realizados na chaminé.



Figura 9 – Furos na chaminé: (a) Momento da execução, (b) prolongamento da chaminé com furos.

A disposição dos pontos de medição para uma chaminé de seção circular é feita em função da percentagem do diâmetro a partir da parede do ponto, conforme a Tabela 6.

Tabela 6 – Disposição dos pontos de medição em porcentagem do diâmetro.

Número de ordem do ponto no diâmetro	Número de pontos no diâmetro											
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
1	14,6	6,7	4,4	3,2	2,6	2,1	1,8	1,6	1,4	1,3	1,1	1,1
2	35,4	25,0	14,6	10,5	8,2	6,7	5,7	4,9	4,4	3,9	3,5	3,2
3		75,0	29,6	19,4	14,6	11,8	9,9	8,5	7,5	6,7	6,0	5,5
4		93,3	70,4	32,3	22,6	17,7	14,6	12,5	10,9	9,7	8,7	7,9
5			85,4	67,7	34,2	25,0	20,1	16,9	14,6	12,9	11,6	10,5
6			95,6	80,6	65,8	35,6	26,9	22,0	18,8	16,5	14,6	13,2
7				89,5	77,4	64,4	36,6	28,3	23,6	20,4	18,0	16,1
8				96,8	85,4	75,0	63,4	37,5	29,6	25,0	21,8	19,4
9					91,8	82,3	73,1	62,5	38,2	30,6	26,2	23,0
10					97,4	88,2	79,9	71,7	61,8	38,8	31,5	27,2
11						93,3	85,4	78,0	70,4	61,2	39,3	32,3
12						97,9	90,1	83,1	76,4	69,4	60,7	39,8
13							94,3	87,5	81,2	75,0	68,5	60,2
14							98,2	91,5	85,4	79,6	73,8	67,7
15								95,1	89,1	83,5	78,2	72,8
16								98,4	92,5	87,1	82,0	77,0
17									95,6	90,3	85,4	80,0
18									98,6	93,3	88,4	83,9
19										96,1	91,3	86,8
20										98,1	94,0	89,5
21											96,5	92,1
22											98,9	94,5
23												96,8
24												98,9

Fonte: NBR 10701/1989.

A Figura 10 ilustra a disposição dos pontos na chaminé, com suas respectivas distâncias da parede, em centímetros. Para dutos ou chaminés com diâmetro superior a 0,6 m, como é o caso, a norma determina que nenhum ponto deve ficar localizado a uma distância inferior a 2,5 cm da parede – condição atendida.

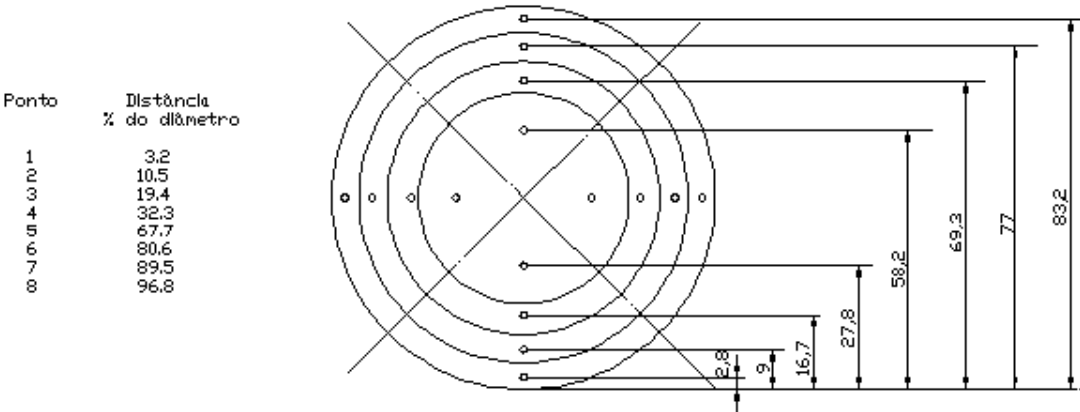


Figura 10 – Seção circular dividida em 16 áreas iguais com a localização dos pontos de medição de velocidade.

Uma vez determinado o número e a localização dos pontos de medição da velocidade, procedeu-se à medição propriamente dita. A localização dos pontos em função da porcentagem do diâmetro da chaminé foi determinada e os pontos foram

marcados no TUDO de Pitot com o auxílio de uma fita adesiva. A figura 11 apresenta o procedimento de medição da velocidade do efluente gasoso.



Figura 11 – Medição da velocidade.

Este procedimento foi realizado em dois momentos. Num primeiro momento foi verificada a pressão e a temperatura referente a cada um dos 16 pontos utilizando o tubo de Pitot juntamente com o manômetro e o aparelho termopar. Em um segundo momento, foi fixado um pequeno pedaço de algodão umedecido na ponta no Pitot (Figura 12) e realizadas novas medições de temperatura e pressão.



Figura 12 – Fixação de algodão na ponta do Pitot.

Uma vez conhecida a velocidade média do escoamento, o diâmetro e, portanto a área da seção de escoamento do ar pôde-se calcular a vazão pela equação da continuidade: $Q = V \cdot A$, realizando-se algumas correções relativas à temperatura e pressão. O cálculo detalhado da vazão do efluente gasoso encontra-se no Apêndice B.

4.2.2 Amostragem do efluente gasoso

A amostragem dos gases foi realizada com base na norma NF X 43-104 (AFNOR, 1990), que descreve os procedimentos de amostragens de diferentes gases de acordo com o tipo de fonte e análise, assim como as condições de armazenamento e transporte das amostras.

O método de amostragem utilizado neste trabalho foi baseado numa amostragem estática, que não é em linha. As amostras foram coletadas em recipientes próprios para coleta de odores. Utilizaram-se sacos de amostragem de Tedlar, que posteriormente foram encaminhados ao laboratório para análise.

A técnica utilizada para amostragem do efluente gasoso foi a amostragem direta, uma vez que a amostra de ar foi bombeada diretamente para recipientes próprios para coleta de gases. Foram utilizados sacos fabricados em Tedlar® (marca registrada DuPont) que são resistentes à adsorção de odores e formam barreira a gases. Estes têm capacidade aproximada de 60 litros de ar (Figura 13).



Figura 13 - Saco Tedlar utilizado para amostragem

As amostras foram coletadas com o auxílio de duas bombas diafragma pressão/vácuo (uma para cada ponto de amostragem), que possui interior revestido de inox para não adsorver odores. A Figura 14 apresenta esquematicamente a acoplagem dos equipamentos utilizados no procedimento de amostragem.

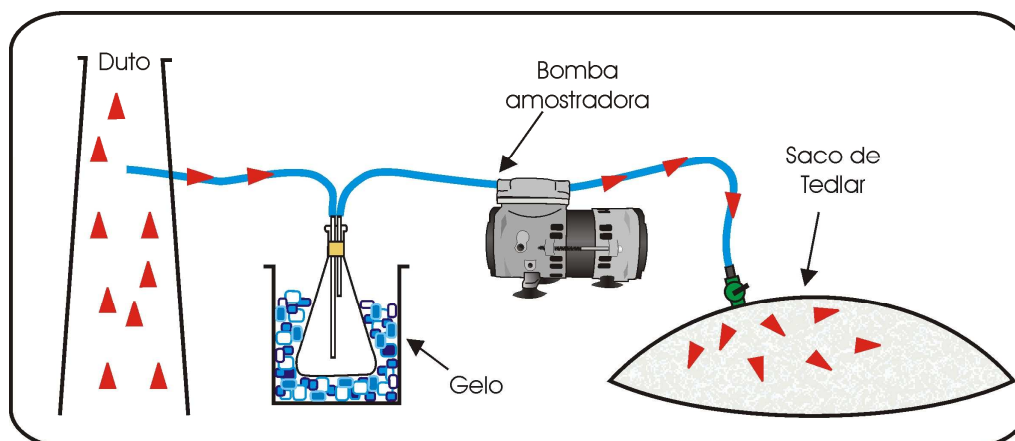


Figura 14 – Sistema de coleta das amostras de campo (com bomba diafragma).

Como o objetivo era avaliar a eficiência do equipamento de controle de emissões atmosféricas do restaurante, foram selecionados dois pontos para a realização de amostragens: um à montante e outro à jusante do Precipitador Hidrodinâmico, ambos após a unidade de pré-lavagem situada no inteiro da cozinha profissional. A Figura 15 apresenta os pontos de amostragem.

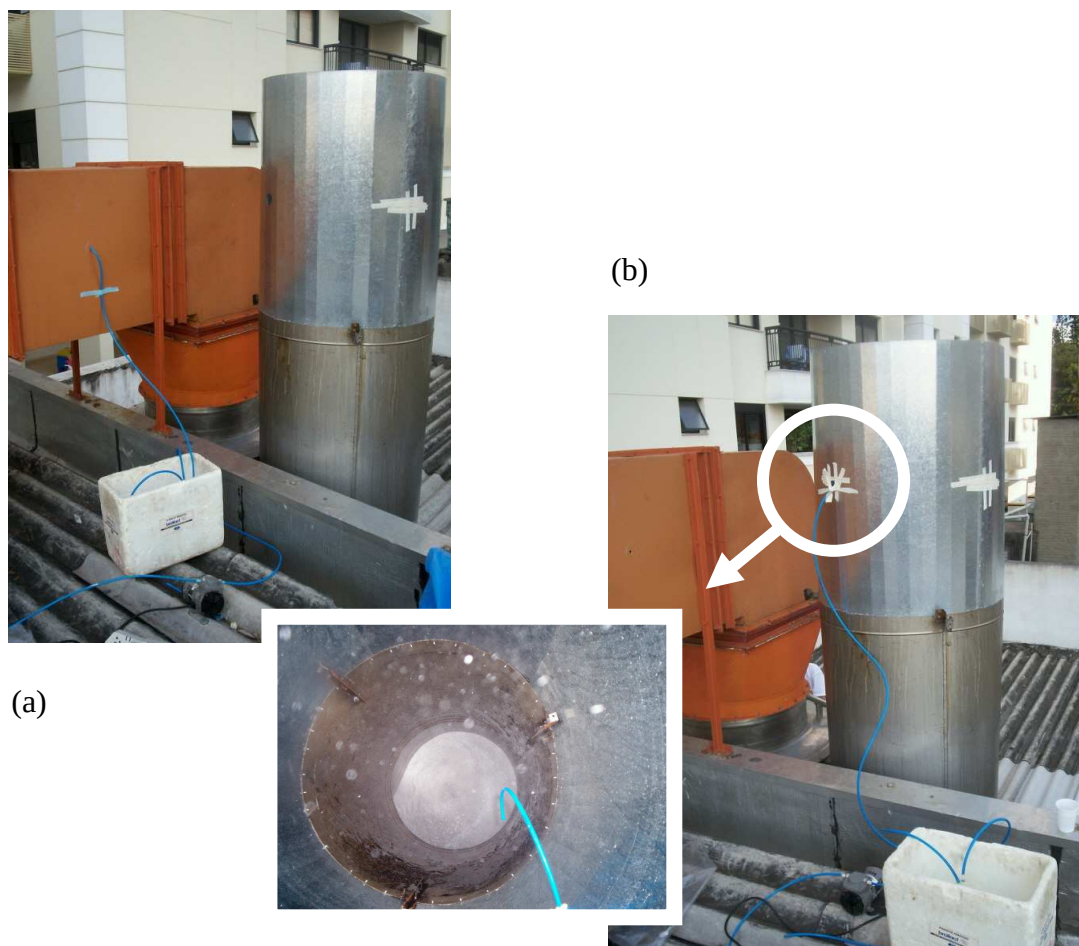


Figura 15 – Pontos de amostragem: (a) entrada e (b) saída.

A amostragem se deu no dia 9 de outubro de 2007. O vento soprava do quadrante sul com intensidade forte e o tempo era estável, com pouca cobertura de nuvens. A amostragem ocorreu no horário normal de funcionamento do restaurante, sendo que naquele dia, especialmente, o estabelecimento sofria uma auditoria por parte da vigilância sanitária em virtude do próprio procedimento de amostragem do efluente gasoso da cozinha profissional. Nesse contexto, as fiscais acompanharam o processo de cocção dos alimentos buscando assegurar que a produção ocorreria de forma habitual. A Figura 16 mostra o momento da amostragem.



Figura 16 – Momento da amostragem.

4.2.3 Análises físico-químicas

As análises físico-químicas foram realizadas na unidade de cromatografia gasosa e espectrometria de massas do Laboratório de Controle de Qualidade do Ar (LCQAr), pertencente ao Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina.

Após a coleta dos gases no restaurante, com os sacos já no laboratório, foi empregada a técnica da adsorção para concentrar os compostos presentes no efluente gasoso. Os procedimentos de amostragem laboratorial seguiram a metodologia TO-17 da USEPA (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos), que se baseia na amostragem ativa dos gases através da passagem do ar contaminado por tubos (cartuchos) preenchidos com material adsorvente. Foram utilizados cartuchos de inox contendo Tenax® e o carvão ativado Carbotrap® (150 mg de cada).

Para realização de tal procedimento, foi utilizada uma bomba (de vácuo) da marca SKC, modelo 224-PCXR8, previamente regulada através de um calibrador eletrônico DC-Lite (marca Drycal) para uma vazão de 100,0 ml/min. Este procedimento ocorreu durante aproximadamente 30 minutos, resultando num volume total amostrado de 3000 ml em cada cartucho, exceto para o cartucho correspondente a amostra E1, onde foi amostrado apenas 900 ml devido ao esgotamento da amostra.

A Figura 17 apresenta o processo de extração dos gases amostrados em campo no laboratório.



Figura 17 – Transferência do gás do saco para o adsorvente.

Foi utilizado um equipamento de dessorção térmica automática (DTA) da marca Perkin Elmer (PE), modelo TurboMatrix, com o objetivo de dessorver os compostos retidos no cartucho devido à amostragem. Uma vez dessorvidos, os compostos foram armazenados num *trap* frio (*cold trap temperature*) e enviados à coluna cromatográfica.

Como já mencionado anteriormente, a cromatografia gasosa (CG) tem por finalidade separar os compostos para posterior identificação. O cromatógrafo utilizado neste trabalho foi da Perkin Elmer, modelo Autosystem XL. A coluna cromatográfica teve a seguinte especificação: capilar apolar com filme líquido PE 5MS (5% fenil-metilpolisiloxano), com 30 metros de comprimento, 0,25 mm de diâmetro externo e 0,5 μm de espessura de filme.

Uma vez separados, os compostos foram detectados no espectrômetro de massas (EM). Neste trabalho o espectrômetro utilizado também foi da PE, modelo Turbo Mass.

A Figura 18 apresenta os equipamentos utilizados na análise físico-química: dessorção térmica automática, cromatografia gasosa e espectrometria de massa (no detalhe à direita, a ampliação dos cartuchos no carrossel do DTA).

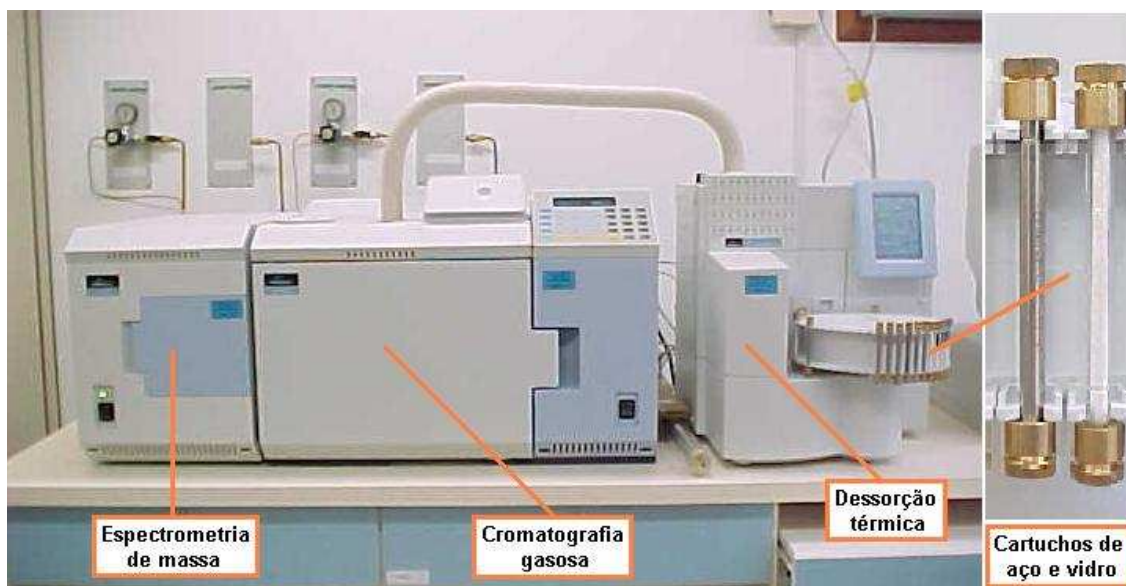


Figura 18 – Equipamentos utilizados na análise físico-química.

Os parâmetros dos equipamentos, utilizados nas análises foram os seguintes:

- Dessorção térmica automática (DTA): Os “splits” do dessorvedor foram ajustados de modo a permitir que apenas 9,0% dos compostos dessorvidos chegassem à coluna.

- Cromatografia gasosa (CG): O forno do cromatógrafo teve a seguinte programação: temperatura inicial de 35 °C; aquecimento a uma taxa de 15,0 °C/min até 160 °C; aquecimento a uma taxa de 10,0 °C/min até 300 °C, completando a rampa de aquecimento.

- Espectrometria de massas (EM): Os parâmetros utilizados na detecção dos compostos foram: Mass range (m/z) = 30-300 (full scan, ou seja, varredura completa dos compostos). Tempo de aquisição: 30 min

Com o objetivo de assegurar a qualidade das análises foi realizado um branco, ou seja, uma análise de um tubo adsorvente sem nenhuma quantidade de amostra. No branco não foi identificado nenhum composto com probabilidade maior que 75%, segundo a biblioteca Nist. Este resultado atesta a qualidade dos cartuchos utilizados em laboratório e garante que todos os compostos identificados nas análises das amostras do restaurante estavam presentes naquela atmosfera, não sendo resultado de um “efeito de memória” do equipamento.

4.2.3.1 Análise Qualitativa

A análise qualitativa envolveu a identificação dos compostos orgânicos voláteis presentes no efluente gasoso. Depois de identificados, os COV foram classificados basicamente segundo suas respectivas funções orgânicas em: álcoois, aldeídos, amidas, ésteres, hidrocarbonetos (alifáticos e cíclicos), ácidos carboxílicos, e compostos aromáticos (qualquer composto com anel aromático).

4.2.3.2 Análise Quantitativa

Para quantificação dos compostos identificados, foram construídas, para cada composto, curvas de calibração externas compostas por 5 pontos. Os coeficientes de correlação (R) das curvas apresentaram ótimos ajustes das curvas com os pontos ($R > 0,99$). A elaboração destas curvas foi realizada com a utilização de soluções padrão correspondente a cada um dos compostos que se desejava quantificar, sendo assim, estava condicionada a disponibilidade das mesmas (Figura 19).



Figura 19 – Preparação de solução padrão.

O limite de detecção para cada composto foi determinado empregando-se uma curva de calibração em baixas concentrações. Seguindo as recomendações de Ribani *et al.*²⁶ (2004) *apud* Miranda (2007), considera-se limite de detecção o valor gerado pela multiplicação de 3,3 vezes a estimativa do desvio padrão do coeficiente linear da curva de calibração, em baixas concentrações, dividido pelo coeficiente angular da curva. A Tabela 7 apresenta os limites de detecção encontrados, referentes aos compostos para os quais se dispunha de soluções padrão.

Tabela 7 – Limite de detecção.

Composto	Limite de detecção (ng)
Benzeno	11
Tolueno	3
Etilbenzeno	3
Xilenos	5
Heptano	2
Octano	12
Fenol	55

²⁶ RIBANI, M.; BOTTOLI, C. G.; JARDIM, I. C. F.; MELO, L. F. C. Validação em métodos cromatográficos e eletroforéticos. Química Nova, v. 27, n. 05, p.771-780. 2004.

O limite de detecção apresentado, refere-se à mínima massa de analito que pode ser detectada num nível conhecido e confiável. Esse limite depende da razão entre a magnitude do sinal do analítico e o tamanho das flutuações estatísticas no sinal do branco (SKOOG *et al*, 2002).

Nem todos os compostos para os quais foi determinado o limite de detecção foram identificados no efluente gasoso, pelo menos em quantidades suficientes para gerar um sinal significativo no CG/EM. Sendo assim, foram determinadas apenas as concentrações dos compostos aromáticos: benzeno, tolueno e fenol.

No caso dos compostos identificados que não se dispunha de solução padrão para quantificação, a análise quantitativa foi realizada em função da variação da área do pico cromatográfico correspondente a cada um destes compostos, determinada diretamente através de um software ligado ao CG-EM.

O tratamento dos resultados obtidos foi realizado através de um método estatístico chamado teste Q, válido para situações onde o número de resultados é inferior a 10. Este método é muito utilizado em análises químicas rotineiras e rejeita valores críticos com um nível de confiança de 90% (BACCAN *et al*, 1990).

4.2.4 Análises olfatométricas

As análises olfatométricas foram realizadas na unidade de olfatometria do Laboratório de Controle de Qualidade do Ar (LCQAr), pertencente ao Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina.

Após a coleta das amostras, os sacos foram transportados para o laboratório de olfatometria, e com a utilização de um júri de odores, foi realizada a caracterização do odor através dos parâmetros: intensidade, hedonicidade, limite de percepção olfativa (concentração) e caráter do odor.

Para estas análises, foram utilizadas duas metodologias: olfatometria estática para análise da intensidade, hedonicidade e caráter odorante; e olfatometria dinâmica, com utilização de um olfatômetro, para determinação do limite de percepção olfativa através da diluição dinâmica das amostras e suas concentrações odorantes, em UO.m^{-3} .

A análise para determinação do limite de percepção olfativa (que leva à concentração do odor) contou com a participação de seis jurados, enquanto que as análises adicionais de olfatometria estática contaram com a participação de oito jurados.

As amostragens em cada ponto, e suas respectivas análises foram realizadas em triplicata. A Tabela 8 descreve as amostras coletadas e analisadas, bem como o número de horas decorridas entre amostragem e análise. Pode-se observar que todas as análises foram realizadas dentro do período máximo recomendado pela EN 13.725 (2003), de 30 horas após a coleta, sendo que o tempo médio decorrido entre amostragem e análise foi inferior a 4 horas.

Tabela 8 - Tempo decorrido coleta/análise.

Ponto	Amostra	Coleta		Análise		Tempo decorrido (h)
		Dia	Hora	Dia	Hora	
Entrada	E1	9/out	15:37	9/out	18:41	3:04
	E2	9/out	15:49	9/out	19:09	3:20
	E3	9/out	15:58	9/out	19:37	3:39
Saída	S1	9/out	16:10	9/out	20:02	3:52
	S2	9/out	16:18	9/out	20:26	4:08
	S3	9/out	16:25	9/out	20:47	4:22

4.2.4.1 Determinação da Concentração e taxa de emissão do Odor

Para detecção do limite de percepção olfativo (k_{50}) foi utilizado o olfatômetro de diluição dinâmica, marca Odile versão 2000 (Figura 20). O Olfatômetro Odile 2000 é composto por sistema de ar puro; unidade de pressurização; unidade de diluição; mesa olfatométrica com seis baias (ou *boxes*); e *software* de operação em computador.



Figura 20 – Olfatômetro de diluição dinâmica Odile, versão 2000 e demais unidades.

Os sacos com as amostras odorantes eram colocados na unidade de pressurização, sendo os gases enviados à unidade de diluição, a qual fazia a diluição destes com ar neutro em concentrações determinadas pelo software, sendo que a primeira diluição foi arbitrada pelo operador.

As diluições foram realizadas de maneira decrescente e logarítmica. O software fazia a análise contínua dos resultados, trabalhando com a média logarítmica de cada um dos jurados e posteriormente com a média dos todos os jurados.

Cada baia possui um teclado para votação dos júrís e três saídas de ar, das quais apenas uma sai a mistura de ar odorante com ar puro. As outras duas saídas

recebem somente ar puro. A amostra diluída é apresentada de maneira aleatória aos jurados, e ocorre em diversos fatores de diluição. A Figura 21 mostra o teclado de votação, assim como os pontos de percepção utilizados pelos jurados.



Figura 21 – Teclado para votação e pontos para percepção.

No momento da votação o jurado tem 15 segundos para cheirar as três saídas. Percebendo algum tipo de odor, deverá apertar o botão correspondente, abaixo do tubo de saída do odor, e o voto será registrado pelo *software*. Caso o jurado perceba um odor muito forte deverá apertar duas vezes o botão. Caso não perceba nenhum odor, deverá apertar o botão “Nenhum odor”. A Figura 22 mostra o momento da votação pelo conjunto de jurados.



Figura 22 – Momento da votação pelos jurados.

Os resultados do Limite de Percepção de Odor foram apresentados pela norma EN 13.725 (2003) da comunidade europeia. Ela é baseada na estimativa dos

limites de percepção individuais de cada jurado e calcula a média geométrica dos limites pessoais estimados (EZ_{50p}) para estimar o valor do limite de percepção do júri (EZ_{50}). As amostras foram analisadas em 3 etapas consecutivas (3 *rounds*) e posteriormente unificadas para a determinação do limite de percepção. Os limites de percepção individuais passam então por um teste lógico, onde as respostas muito distantes da média geométrica são descartadas e a média é recalculada, em etapas sucessivas, até que o teste lógico seja atendido.

Além disso, o software também apresenta os resultados através da norma americana ASTM-E 679-91²⁷ e de um modelo de regressão linear (Probit) de todas as respostas dos jurados para cada análise. Este modelo trabalha com todas as respostas dos jurados, considerando até mesmo as respostas ruins. Já a norma EN 13.725 (2003) só considera as boas respostas. Estes resultados podem ser visualizados no Apêndice A.

Para atestar a precisão e a confiabilidade dos resultados obtidos, foi subtraído dos valores encontrados para a concentração odorante das amostras, o valor de 29 UO/m³, correspondente ao branco realizado no dia 24 de agosto de 2007.

Uma vez determinada a concentração das amostras analisadas, pôde ser calculada a taxa de emissão do efluente gasoso multiplicando-se a concentração média do efluente na saída da chaminé pela vazão volumétrica do efluente gasoso.

4.2.4.2 Determinação da Intensidade Odorante

A metodologia utilizada para avaliação da intensidade odorante proposta pela ASTM E-544-75 (1997) é uma prática que visa realizar uma comparação da intensidade de odor da fonte com a intensidade de uma série de concentrações de uma substância odorante de referência, que no caso foi o butanol (1-butanol). Na série de concentrações de butanol, com base em diluição em água, foram utilizados os valores apresentados na Tabela 6, conforme AFNOR (1986).

Cada membro do júri passou por um teste olfatométrico para sua calibração e posterior identificação das amostras analisadas. O objetivo do teste é submeter, individualmente, os membros do júri às diferentes concentrações da solução de 1-butanol que apresentam diferentes intensidades (Figura 23).

²⁷ ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. E 679-91. Standard Practice for Determination of Odor and Taste Thresholds by a Forced-Choice Ascending Concentration Series Method of Limits. American National Standard. Philadelphia, 1997



Figura 23 – Apresentação das soluções de 1-Butanol.

As soluções foram colocadas em cinco frascos de vidro numerados aleatoriamente. O jurado deve colocá-las em ordem crescente para ser aprovado. Estas concentrações apresentam a seguinte ordem crescente das intensidades odorantes com seus respectivos níveis de intensidade: muito forte (5), forte (4), médio (3), fraco (2) e muito fraco (1). Além da avaliação do júri, estas amostras também foram utilizadas posteriormente para a determinação da intensidade odorante.

Após a memorização destas intensidades, o júri foi orientado a comparar a intensidade do odor em cada amostra com as intensidades da escala de referência, não levando em conta sua qualidade (Figura 24).



Figura 24 – Apresentação da amostra ao jurado.

4.2.4.3 Determinação da Hedonicidade do Odor

Para a ordenação do tom hedônico do odor, foi utilizada a escala arbitrária de 21 pontos proposta por McGinley C. e McGinley M. (2002). Os jurados utilizaram sua experiência pessoal e memória olfativa para avaliar o valor hedônico de um odor, referindo-se à escala. O valor hedônico do odor, testado em laboratório, foi a média dos valores hedônicos individuais assinalados por cada jurado.

4.2.4.4 Determinação do Caráter do Odor

Para determinação do caráter do odor, foi solicitado aos jurados que estes identificassem o caráter (categoria) do odor da amostra tendo como referência a *roda de odores* proposta por McGinley C. e McGinley M. (2002). No entanto, a resposta dos jurados era livre, não se restringindo apenas aos aromas relacionados nas famílias de odores.

No processo de avaliação das respostas obtidas, agruparam-se os odores em cada uma das famílias de acordo com suas características. Foram classificados como ‘químicos’ os odores correspondentes a óleo, graxa e plástico. O odor de detergente foi classificado na categoria ‘frutífero’ e o de comida na categoria ‘vegetal’, uma vez que não havia categoria que apresentasse maior semelhança com o odor descrito pelos jurados.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, são apresentados os resultados obtidos através das análises físico-químicas e olfatométricas do efluente gasoso, na entrada e saída do lavador de gases, bem como uma discussão dos mesmos.

5.1 Análises Físico-químicas

5.1.1 Análise Qualitativa

A qualificação dos COV foi realizada para o efluente gasoso na entrada e na saída do lavador de gases, sendo três amostras para cada ponto. Consideraram-se como compostos identificados apenas aqueles cuja probabilidade de identificação, seguindo a biblioteca NIST, foi igual ou superior a 75%.

Nessas condições, identificaram-se um total 31 compostos referentes às amostras E1, E2 e E3 (entrada); assim como um total de 20 compostos referentes às amostras S1, S2 e S3 (saída).

Os compostos identificados nos principais picos cromatográficos para o ponto situado na entrada do lavador de gases estão indicados nas Figuras 25, 26 e 27, e relacionados, respectivamente, nas Tabelas 9, 10 e 11, por classes de compostos.

No caso especificamente da amostra E1, é importante ressaltar que o volume amostrado foi de apenas 900 ml, conforme já mencionado anteriormente. Sendo assim, para se associar o tamanho de seus picos cromatográficos ao de outras amostras, cujo volume amostrado foi de 3000 ml, deve-se considerar que este deve ser multiplicado por três (aproximadamente).

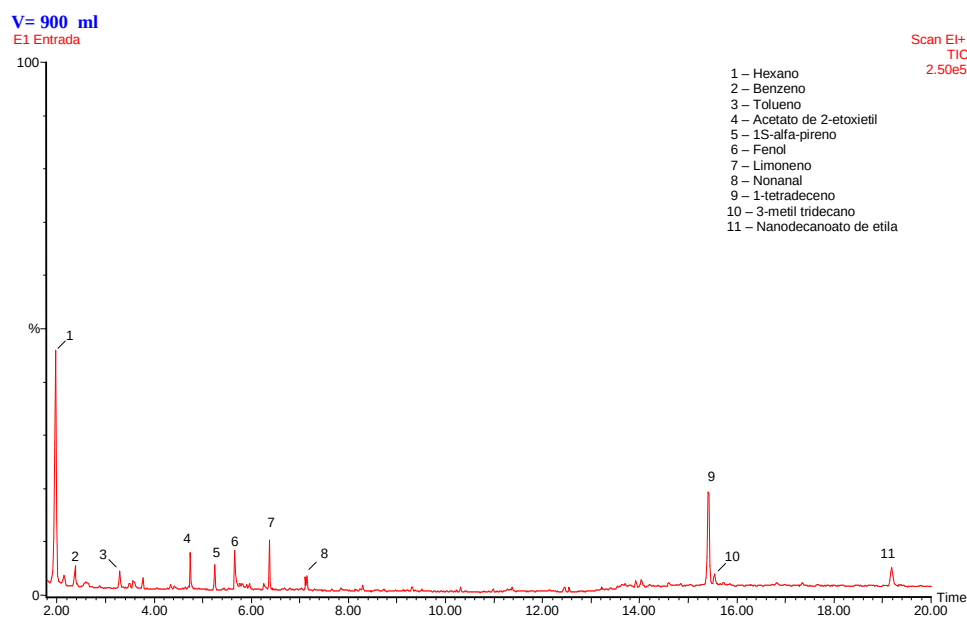


Figura 25 – Cromatograma de identificação das emissões da amostra E1.

Tabela 9 - Principais compostos identificados na amostra E1.

Composto	t _R (min)	Fórmula	PM	% Prob
Aldeídos				
Pentanal	2,59	C ₅ H ₁₀ O	86	89,9
Hexanal	3,56	C ₆ H ₁₂ O	100	91,0
Nonanal	7,16	C ₉ H ₁₈ O	142	91,8
HC alifáticos e cíclicos				
Hexano	1,97	C ₆ H ₁₄	86	94,2
1,3,5,7-Ciclooctatetraeno	4,68	C ₈ H ₈	104	94,9
1S-alfa-pireno	5,25	C ₁₀ H ₁₆	136	98,2
Limoneno	6,37	C ₁₀ H ₁₆	136	98,0
Nonano	10,31	C ₉ H ₂₀	128	91,7
2,6-dimetil heptadecano	14,03	C ₁₉ H ₄₀	268	93,7
1-tetradeceno	15,41	C ₁₄ H ₂₈	196	96,4
Aromáticos				
Benzeno	2,37	C ₆ H ₆	78	96,1
Tolueno	3,29	C ₇ H ₈	92	94,6
Fenol	5,65	C ₆ H ₆ O	94	94,2
Ésteres				
Acetato de 2-etoxietil	4,74	C ₆ H ₁₂ O ₃	132	97,4
Nanodecanoato de etila	19,18	C ₂₁ H ₄₂ O ₂	326	96,8

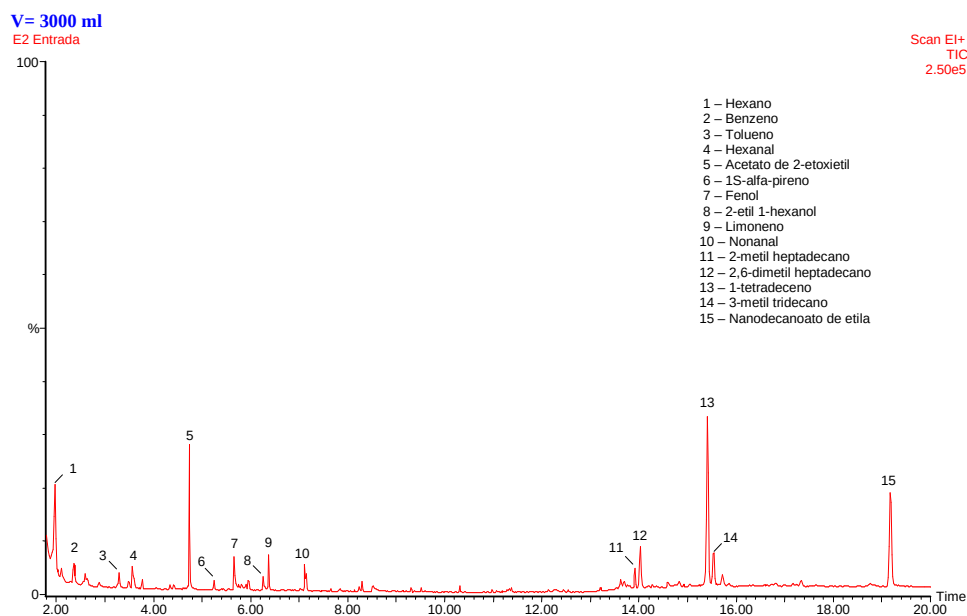


Figura 26 – Cromatograma de identificação das emissões da amostra E2.

Tabela 10 - Principais compostos identificados na amostra E2.

Composto	t _R (min)	Fórmula	PM	% Prob
Álcoois				
2-heptanol	2,89	C ₇ H ₁₆ O	116	86,6
2-etil 1-hexanol	6,26	C ₈ H ₁₈ O	130	94,1
Aldeídos				
Pentanal	2,59	C ₅ H ₁₀ O	86	92,8
4-pentanal	3,49	C ₄ H ₈ O	84	86,2
Hexanal	3,56	C ₆ H ₁₂ O	100	94,2
Octanal	5,97	C ₈ H ₁₆ O	128	90,0
Nonanal	7,16	C ₉ H ₁₈ O	142	91,5
HC alifáticos e cíclicos				
Hexano	1,97	C ₆ H ₁₄	86	93,7
1S-alfa-pireno	5,25	C ₁₀ H ₁₆	136	95,0
Limoneno	6,37	C ₁₀ H ₁₆	136	96,6
(Z)-3-trideceno	13,63	C ₁₃ H ₂₆	182	93,1
2-metil-heptadecano	13,92	C ₁₈ H ₃₈	254	95,4
2,6-Dimetil heptadecano	14,03	C ₁₉ H ₄₀	268	96,3
1-tetradeceno	15,41	C ₁₄ H ₂₈	196	98,2
3-metil-tridecano	15,54	C ₁₄ H ₃₀	198	95,5
Aromáticos				
Benzeno	2,37	C ₆ H ₆	78	90,5
Tolueno	3,29	C ₇ H ₈	92	94,8
Fenol	5,65	C ₆ H ₆ O	94	93,4
2-fenoxi-etanol	8,53	C ₈ H ₁₀ O ₂	138	84,0
Ésteres				
Acetato de 2-etoxietil	4,74	C ₆ H ₁₂ O ₃	132	97,5
Nanodecanoato de etila	19,17	C ₂₁ H ₄₂ O ₂	326	97,2
Ácidos orgânicos				
Ácido oléico	18,76	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	282	90,1

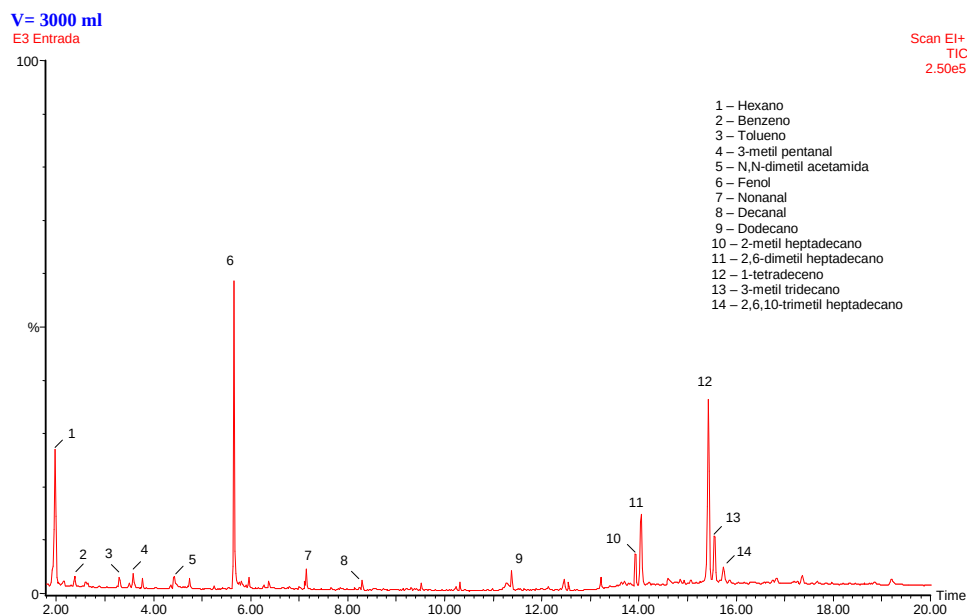


Figura 27 – Cromatograma de identificação das emissões da amostra E3.

Tabela 11 - Principais compostos identificados na amostra E3.

Composto	t _R (min)	Fórmula	PM	% Prob
Aldeídos				
Pentanal	2,59	C ₅ H ₁₀ O	86	91,6
3-metil pentanal	3,58	C ₆ H ₁₂ O	100	86,4
Heptanal	4,76	C ₇ H ₁₄ O	114	82,9
Octanal	5,97	C ₈ H ₁₆ O	128	91,6
Nonanal	7,16	C ₉ H ₁₈ O	142	93,6
Decanal	8,29	C ₁₀ H ₂₀ O	156	95,9
HC alifáticos e cíclicos				
Hexano	1,97	C ₆ H ₁₄	86	94,0
1-hexeno	2,15	C ₆ H ₁₂	84	86,6
(Z)-3-Trideceno	11,28	C ₁₃ H ₂₆	182	93,8
Dodecano	11,37	C ₁₂ H ₂₆	170	95,0
2-metil-heptadecano	13,92	C ₁₈ H ₃₈	254	96,9
2,6-Dimetil Heptadecano	14,05	C ₁₉ H ₄₀	268	96,4
1-Tetradeceno	15,41	C ₁₄ H ₂₈	196	98,0
3-metil-tridecano	15,54	C ₁₄ H ₃₀	198	93,2
2,6,10-Trimetil Dodecano	15,74	C ₁₅ H ₃₂	212	95,1
Aromáticos				
Benzeno	2,37	C ₆ H ₆	78	94,2
Tolueno	3,29	C ₇ H ₈	92	90,0
Fenol	5,65	C ₆ H ₆ O	94	94,4
Ésteres				
Nanodecanoato de etila	19,18	C ₂₁ H ₄₂ O ₂	326	91,3
Amidas				
N,N-dimetil-acetamida	4,44	C ₄ H ₉ ON	87	81,6

As diferenças entre cromatogramas podem ser explicadas pela condição de amostragem (seqüencial). Além disso, houve variação no processo de operação da chama com a cocção de diferentes tipos de alimentos: carne, franco, peixe e queijo.

Conforme pôde ser observado nos cromatogramas e tabelas apresentadas, para o ponto situado na entrada do lavador de gases, as amostras apresentaram em geral grande similaridade, sendo que os compostos identificados são principalmente hidrocarbonetos e aldeídos. A Figura 28 apresenta, na mesma escala, os cromatogramas referentes às amostras da entrada do lavador de gases.

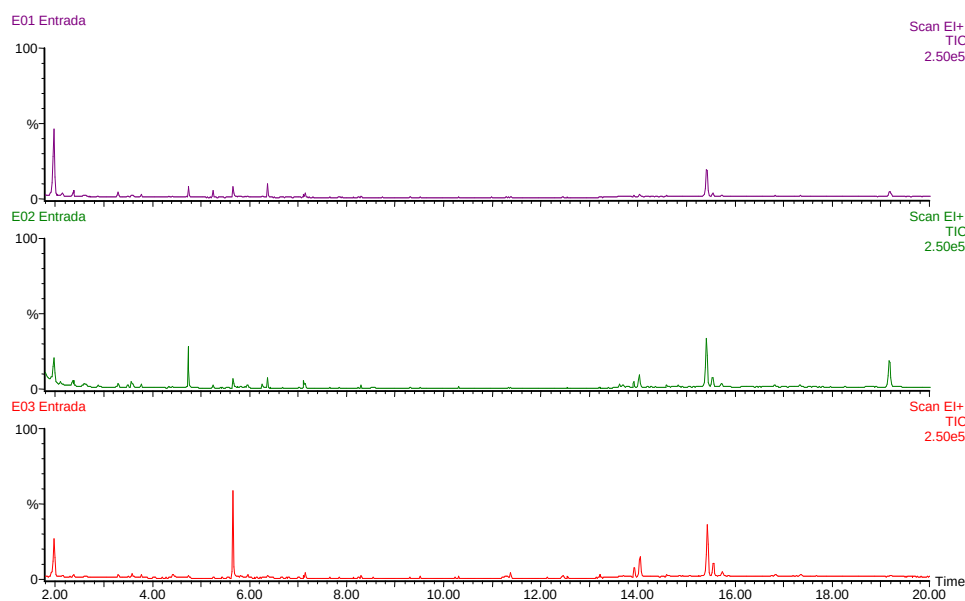


Figura 28 – Cromatogramas das amostras de entrada.

Moon *et al.* (2006) numa pesquisa com o objetivo de identificar os principais compostos orgânicos voláteis responsáveis pelo aroma de carne, avaliaram através de análises físico-químicas (CG-FID) e olfatométricas (CG-O) os compostos emitidos e aqueles supostamente responsáveis pelo aroma de carne em processos de cozimento e fritura deste tipo de alimento. Entre os compostos identificados pelos autores nos processos de fritura estão os aldeídos: pentanal, hexanal, heptanal, octanal, nonanal e decanal; além dos hidrocarbonetos: tridecano, tetradecano, tolueno e limoneno; também identificados neste trabalho.

Os compostos identificados nos principais picos cromatográficos para o ponto situado na saída do lavador de gases estão indicados nas Figuras 29, 30 e 31, e relacionados nas Tabelas 12, 13 e 14, por classes de compostos.

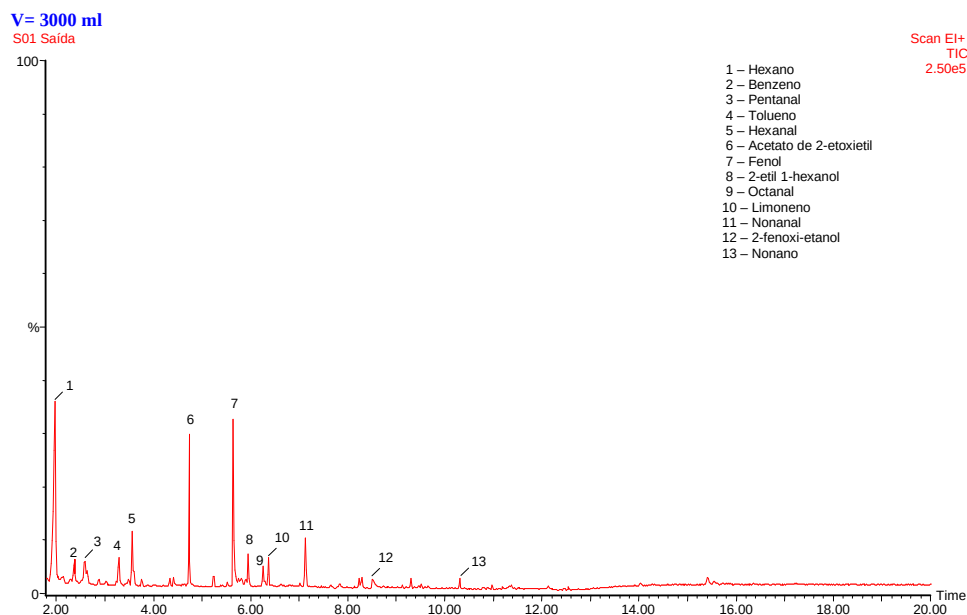


Figura 29 – Cromatograma de identificação das emissões da amostra S1.

Tabela 12 - Principais compostos identificados na amostra S1.

Composto	t _R (min)	Fórmula	PM	% Prob
Álcoois				
2-etil 1-hexanol	6,26	C ₈ H ₁₈ O	130	95,8
Aldeídos				
Pentanal	2,59	C ₅ H ₁₀ O	86	97,6
Hexanal	3,56	C ₆ H ₁₂ O	100	96,1
Octanal	5,95	C ₈ H ₁₆ O	128	95,5
Nonanal	7,14	C ₉ H ₁₈ O	142	96,5
Decanal	8,29	C ₁₀ H ₂₀ O	156	94,0
HC alifáticos e cíclicos				
Hexano	1,97	C ₆ H ₁₄	86	94,2
1-hexeno	2,15	C ₆ H ₁₂	84	90,0
1S-alfa-pireno	5,25	C ₁₀ H ₁₆	136	96,3
Limoneno	6,37	C ₁₀ H ₁₆	136	96,4
Nonano	10,31	C ₉ H ₂₀	128	92,7
1-Tetradeceno	15,41	C ₁₄ H ₂₈	196	93,4
3-metil-tridecano	15,54	C ₁₄ H ₃₀	198	95,5
Aromáticos				
Benzeno	2,37	C ₆ H ₆	78	95,4
Tolueno	3,29	C ₇ H ₈	92	94,7
Fenol	5,65	C ₆ H ₆ O	94	96,2
2-fenoxi-etanol	8,51	C ₈ H ₁₀ O ₂	138	89,6
Ésteres				
Acetato de 2-etoxietil	4,74	C ₆ H ₁₂ O ₃	132	97,3

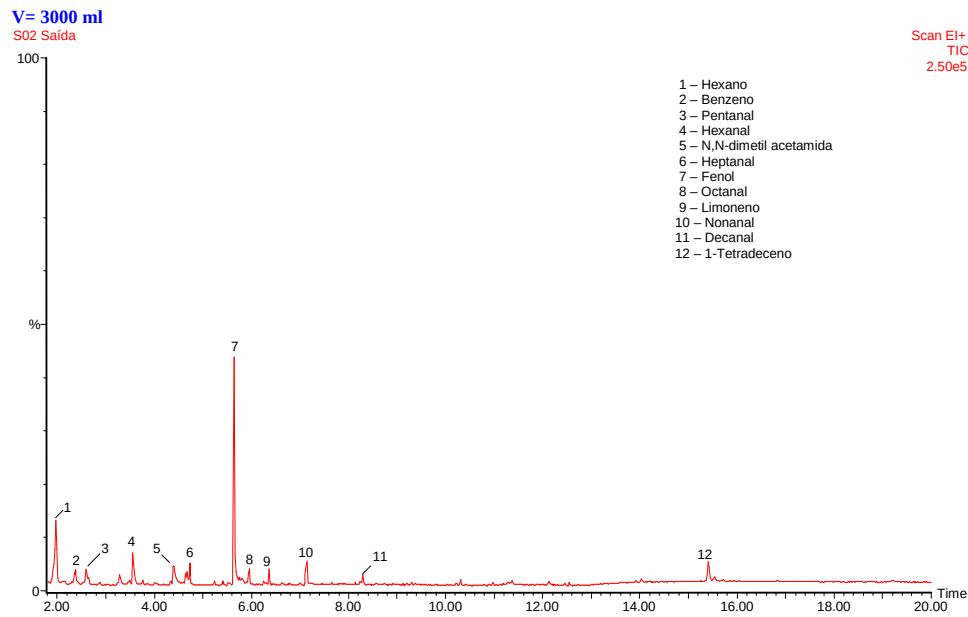


Figura 30 – Cromatograma de identificação das emissões da amostra S2.

Tabela 13 - Principais compostos identificados na amostra S2.

Composto	t _R (min)	Fórmula	PM	% Prob
Aldeídos				
Pentanal	2,59	C ₅ H ₁₀ O	86	93,9
Hexanal	3,56	C ₆ H ₁₂ O	100	95,5
Heptanal	4,76	C ₇ H ₁₄ O	114	95,5
Octanal	5,97	C ₈ H ₁₆ O	128	92,8
Nonanal	7,16	C ₉ H ₁₈ O	142	92,0
Decanal	8,29	C ₁₀ H ₂₀ O	156	95,3
HC alifáticos e cíclicos				
Hexano	1,97	C ₆ H ₁₄	86	93,3
Limoneno	6,37	C ₁₀ H ₁₆	136	96,8
Nonano	10,31	C ₉ H ₂₀	128	89,0
1-Tetradeceno	15,41	C ₁₄ H ₂₈	196	97,3
Aromáticos				
Benzeno	2,37	C ₆ H ₆	78	94,4
Tolueno	3,29	C ₇ H ₈	92	93,6
Fenol	5,65	C ₆ H ₆ O	94	94,5
Amidas				
N,N-dimetil-acetamida	4,44	C ₄ H ₉ ON	87	93,0

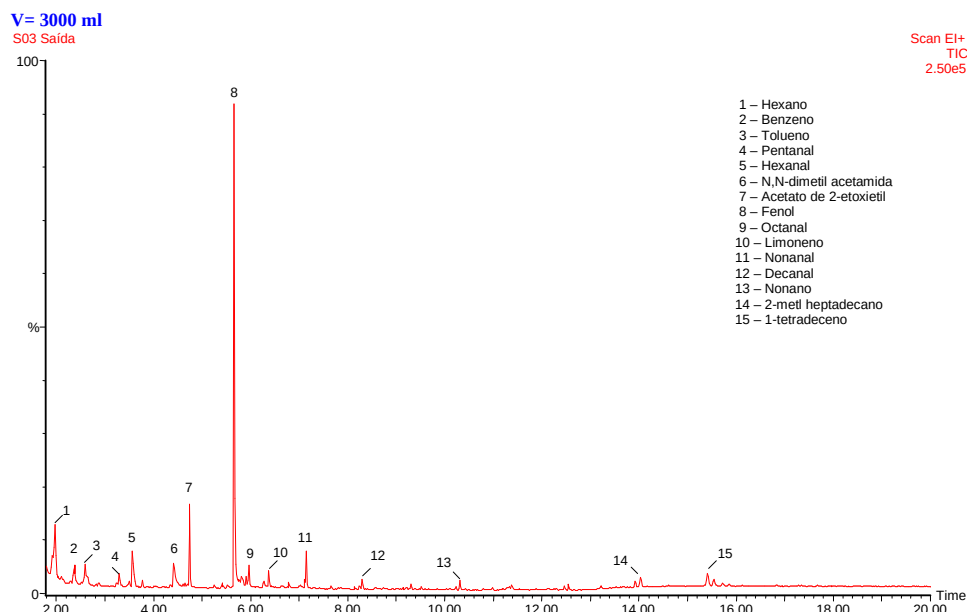


Figura 31 – Cromatograma de identificação das emissões da amostra S3.

Tabela 14 - Principais compostos identificados na amostra S3.

Composto	t _R (min)	Fórmula	PM	% Prob
Aldeídos				
Pentanal	2,59	C ₅ H ₁₀ O	86	89,9
Hexanal	3,56	C ₆ H ₁₂ O	100	91,0
Nonanal	7,16	C ₉ H ₁₈ O	142	91,8
HC alifáticos e cíclicos				
Hexano	1,97	C ₆ H ₁₄	86	94,2
Limoneno	6,37	C ₁₀ H ₁₆	136	98,0
Nonano	10,31	C ₉ H ₂₀	128	92,1
2,6-Dimetil heptadecano	14,03	C ₁₉ H ₄₀	268	93,7
1-tetradeceno	15,41	C ₁₄ H ₂₈	196	97,7
3-metil-tridecano	15,54	C ₁₄ H ₃₀	198	93,4
Aromáticos				
Benzeno	2,37	C ₆ H ₆	78	96,1
Tolueno	3,29	C ₇ H ₈	92	94,6
Fenol	5,65	C ₆ H ₆ O	94	94,2
Ésteres				
Acetato de 2-etoxietil	4,74	C ₆ H ₁₂ O ₃	132	97,4

A Figura 32 apresenta, na mesma escala, os cromatogramas referentes às amostras da saída do lavador de gases.

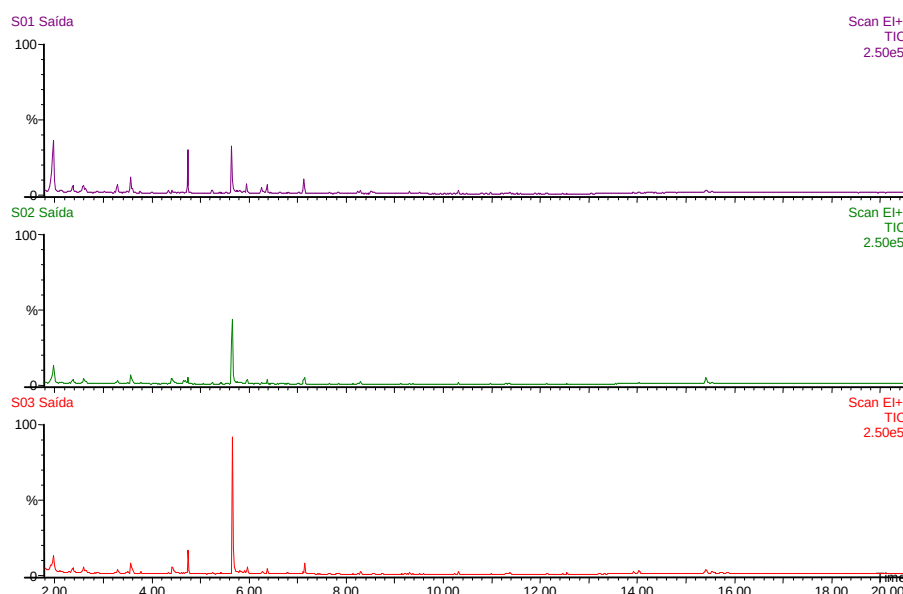


Figura 32 – Cromatogramas das amostras de saída.

Conforme pôde ser observado nos cromatogramas e tabelas apresentadas, para o ponto situado na saída do lavador de gases, as amostras apresentaram novamente, em geral, grande similaridade. Nota-se a redução no número de compostos identificados, especialmente hidrocarbonetos. Além disso, é possível visualizar um grande pico no tempo de 5,65 min, correspondente ao fenol.

A Figura 33, abaixo, apresenta os cromatogramas referentes a todas as amostras analisadas, para entrada e saída do lavador de gases.

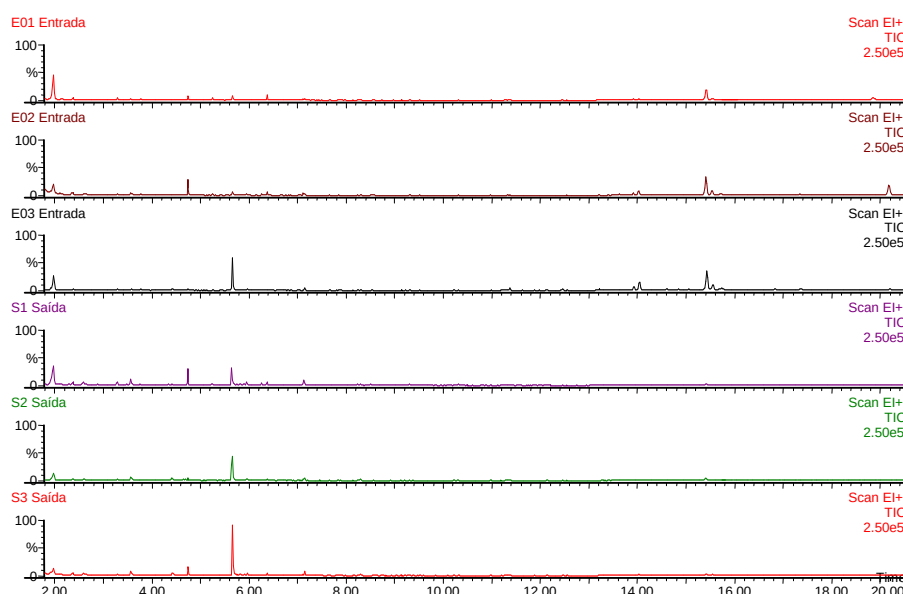


Figura 33 – Cromatogramas: entrada e saída.

A Figura 33 permite observar que nos três primeiros cromatogramas, referentes à entrada do sistema de controle dos efluentes gasosos, há presença de alguns picos cromatográficos localizados ao final do cromatograma, fato que não ocorre nos três últimos. Este fato está associado a provável redução destes poluentes no efluente gasoso. Outro fato que chama a atenção é a presença picos expressivos de fenol, especialmente nos cromatogramas referentes à saída do lavador de gases.

No processo de operação do lavador de gases, verificou-se a utilização de três substâncias, quais sejam: desinfetante para uso geral (Zix 40 / ECOLAB®), odorizador de ambientes (CASIS® COMPACT), detergente desencrustante alcalino (Greasestrip Plus / ECOLAB®). Analisando a composição destes produtos, foi identificada a presença de compostos fenólicos no desinfetante (nonil fenol) e no odorizador de ambientes (isocetil fenox e fenoxietanol). O excesso na aplicação dos dois primeiros pode ter sido responsável pela formação de picos de fenol de tal magnitude, conforme comentado anteriormente. Isto explica a grande quantidade de fenol no efluente, tanto na entrada, como na saída do lavador de gases; além da presença dos compostos: limoneno, 2-fenoxi-etanol, e ácido oléico - também identificados no efluente gasoso. Além disso, conforme a Figura 34, o excesso na aplicação de detergente pode ter sido responsável pela formação indevida de espuma no líquido de lavagem.

O excesso na aplicação destes produtos, tanto no caso do desinfetante e do odorizador de ambientes, quanto no caso detergente, foram confirmados no momento da amostragem através do relato do funcionário responsável pela operação do equipamento, que afirmou tê-los aplicado em excesso acidentalmente.



Figura 34 – Lavador de gases.

Na região inicial dos cromatogramas podem-se observar pequenos picos, referentes a aldeídos, que se apresentam de maneira muito similar em todas as amostras. A formação de compostos carbônicos pode resultar da oxidação de ácidos insaturados e/ou da decomposição térmica oxidativa de lipídios no alimento (MOON *et al*, 2006). Nesse estudo, pentanal, 4-pentanal, 3-metil pentanal, hexanal, haptanal, octanal, nonanal e decanal foram identificados no efluente da cozinha profissional, induzindo a crer que a formação de aldeídos é resultado natural do processo de cocção de alimentos. Entretanto, praticamente os mesmos compostos foram identificados na saída do lavador de gases, o que sugere a ineficiência do sistema de tratamento na remoção deste tipo de contaminante.

Além disso, pode-se perceber que os compostos aromáticos benzeno e tolueno estiveram presentes em todas as amostras analisadas, tanto na entrada como na saída do lavado de gases. No entanto, estes compostos parecem apresentar-se em pequena quantidade no efluente gasoso.

5.1.2 Análise Quantitativa

De um modo geral, a análise quantitativa dos compostos identificados deu-se em função da variação de sua área cromatográfica, exceto para os compostos aromáticos (benzeno, tolueno e fenol), onde foi possível realizar sua quantificação em função de sua concentração no efluente gasoso.

A Tabela 15 apresenta as áreas cromatográficas dos principais compostos identificados, obtidas através da sua integração diretamente dos cromatogramas gerados.

Tabela 15 - Principais compostos identificados nas amostras e suas respectivas áreas cromatográficas.

Compostos	Área cromatográfica	
	Entrada	Saída
Aldeídos		
Pentanal	426	572
Hexanal	389	510
Heptanal	224	304
Octanal	275	467
Nonanal	754	485
Decanal	3417	2943
HC alifáticos e cíclicos		
Hexano	6462	1430
2,6-dimetil heptadecano	926	180
1-tetradeceno	3316	327
Limoneno	1093	228
Nonano	473	148
1S-alfa-pireno	525	208
Aromáticos		
Tolueno	479	359
Benzeno	751	576
Fenol	1922	3752
Ésteres		
Acetato de 2-etoxietil	2219	1553
Nanodecanoato de etila	1406	0

É importante ressaltar que estes valores são válidos apenas a título de comparação, uma vez que não podem ser associados diretamente à concentração destes compostos no efluente gasoso. De qualquer maneira, permitem uma avaliação da eficiência na remoção destes poluentes.

Baseado na Tabela 15, as Figuras 35, 36 e 37 apresentam a eficiência na remoção de aldeídos; hidrocarbonetos e ésteres; e compostos aromáticos; respectivamente, em termos de variação da área cromatográfica.

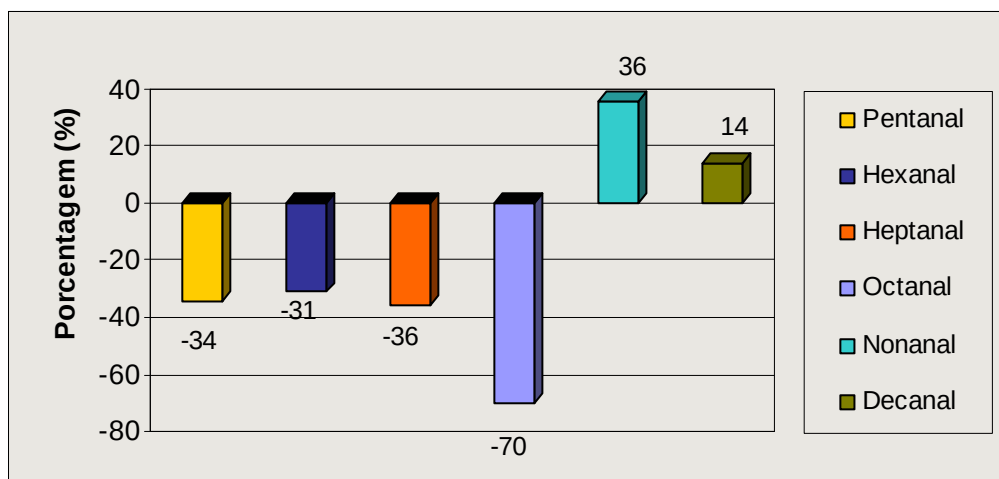


Figura 35 – Eficiência na remoção de aldeídos em termos de área cromatográfica.

Analisando a figura acima, pode-se perceber que houve uma redução de 36 % na quantidade de nonanal e 14 % de decanal no efluente gasoso do lavador de gases. No entanto, ocorreu um aumento dos aldeídos de cadeias menores. Uma maior área cromatográfica não significa exatamente que existe maior quantidade de um composto do que outro, uma vez que esta depende do sinal emitido pelo aparelho, que por sua vez depende da fragmentação que o composto sofre no espectrômetro de massa. No entanto, como se está referindo a compostos pertencentes à mesma classe orgânica (aldeídos), onde a diferença está basicamente no tamanho da cadeia carbônica (C_5 - C_{10}), pode-se atribuir o aumento na quantidade dos aldeídos de cadeias menores a fragmentação dos compostos nonanal e decanal (de cadeias maiores).

É importante salientar que apesar da eficiência apresentada na remoção destes compostos não ser aparentemente equivalente ao acréscimo nos aldeídos de cadeias menores, há de se considerar que a quantidade (massa) de nonanal e decanal é muito superior às demais, conforme pôde ser observado na Tabela 15. De qualquer forma, não se verifica significativa eficiência na remoção deste tipo de composto orgânico.

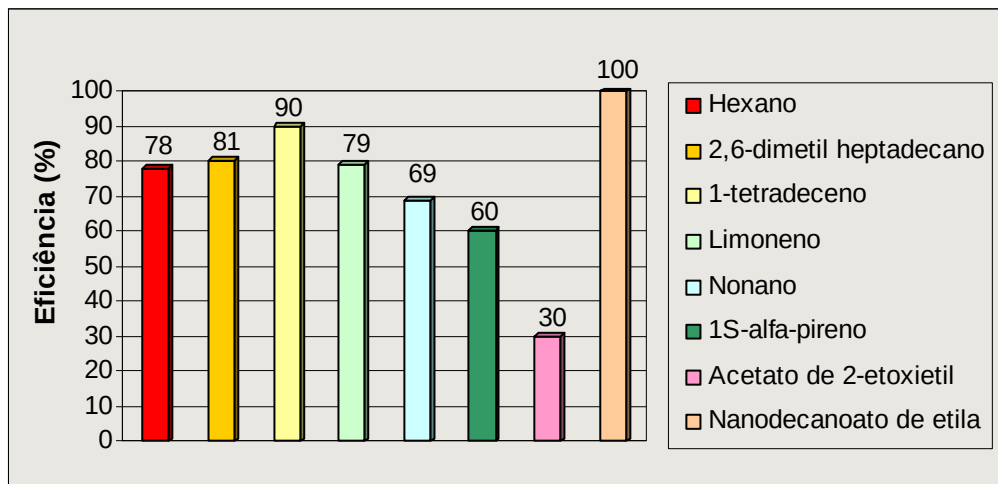


Figura 36 – Eficiência na remoção de HC e ésteres em termos de área cromatográfica.

Analisando o gráfico acima, pode-se perceber a grande eficiência apresentada pelo sistema de tratamento de efluentes gasosos na remoção de hidrocarbonetos e ésteres, atingindo valores da ordem de 90% para o 1-tetradeceno (hidrocarboneto) e 100% para o nanodecanoato de etila (éster). Tanto hidrocarbonetos, como ésteres, especialmente os de grande cadeia molecular, são compostos extremamente apolares, isso deve ter sido um fator determinante para o alcance de eficiências desta magnitude.

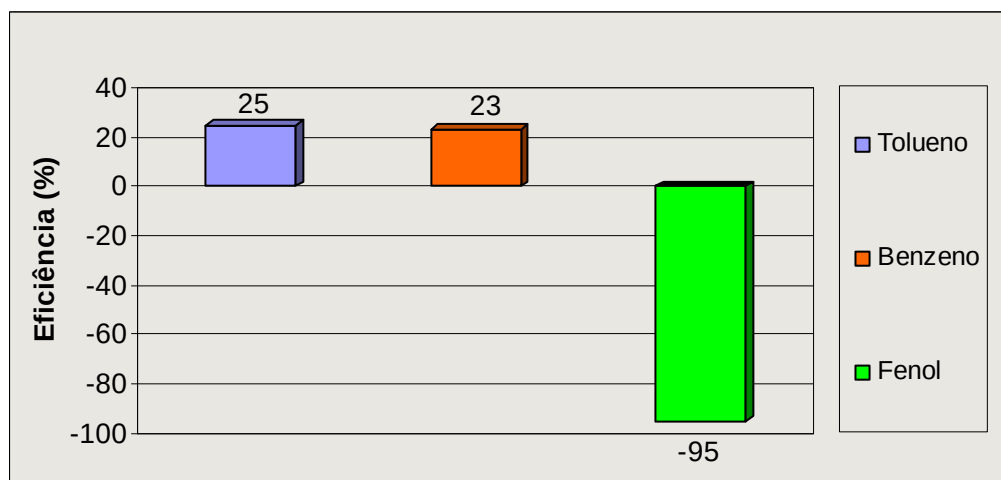


Figura 37 – Eficiência na remoção dos compostos aromáticos.

A Figura 37, evidencia ainda mais o que já foi comentado anteriormente, no que diz respeito ao emprego excessivo de detergente no líquido de lavagem. Percebe-se um aumento de 95 % na concentração de fenol. Com relação ao benzeno e ao tolueno, estes tiveram percentuais de redução similares no efluente gasoso. Talvez isto aconteça devido ao próprio fato destes compostos possuírem cadeias carbônicas muito semelhantes – o tolueno tem apenas um radical $-\text{CH}_3$, a mais, ligado ao anel aromático.

A concentração dos compostos aromáticos foi determinada através de uma relação entre a quantidade de massa do composto identificada e o volume amostrado de cada amostra. A Tabela 16 apresenta os valores obtidos.

Tabela 16 - Concentração para benzeno, tolueno e fenol, em ppm_v, nas amostras coletadas na entrada e saída do lavador de gases.

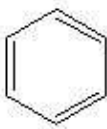
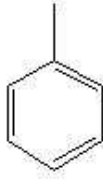
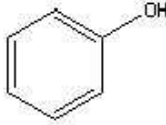
Ponto	Amostra	Composto		
		Benzeno	Tolueno	Fenol
Entrada	E1	< LD*	< LD*	0,71
	E2	< LD*	< LD*	0,19
	E3	< LD*	< LD*	1,28
Saída	S1	< LD*	< LD*	0,81
	S2	< LD*	< LD*	1,50
	S3	< LD*	< LD*	2,07

* Limite de detecção para Benzeno: 1,2 ppb_v; Tolueno: 0,3 ppb_v; Fenol: 4,8 ppb_v.

Conforme pode ser observado na tabela acima, as concentrações dos compostos benzeno e tolueno ficaram abaixo dos limites de detecção empregados nas análises. Isto significa dizer que seus valores são inferiores a 1,2 e 0,3 ppb_v, respectivamente. Com relação ao fenol, destaca-se os grandes valores encontrados para este composto, o que já era esperado em função do tamanho de seus picos cromatográficos.

A Tabela 17, apresenta a fórmula molecular e a concentração média dos compostos aromáticos quantificados e seus respectivos limites de percepção olfativa (LPO), em ppm_v, de acordo com o Decreto nº 14.250 (FATMA, 1981).

Tabela 17 – Fórmula molecular e limite de percepção olfativa.

Composto		Benzeno	Tolueno	Fenol
Fórmula molecular				
LPO FATMA (1981)		4,68	2,14	0,047
Conc. Média (ppm _v)	Entrada	< 0,0012	< 0,0003	0,73
	Saída	< 0,0012	< 0,0003	1,43

Comparando os valores encontrados na quantificação dos compostos aromáticos presentes no efluente gasoso do restaurante com os valores de limite de percepção olfativa estabelecidos pela legislação estadual, pode-se perceber que a concentração de fenol, tanto na entrada como na saída do lavador de gases, está muito acima dos valores prescritos em norma. Em alguns casos, como na amostra S3, correspondente a saída do lavador de gases, este valor chega a ser aproximadamente 50 vezes superior. Já para o benzeno e o tolueno, estes valores ficaram bem abaixo dos valores estabelecidos, o que indica que esses compostos não contribuíram significativamente para o buquê odorante.

É possível que os teores de benzeno e tolueno encontrados estejam relacionados ao gás de cozinha ou ao ar ambiente, ou seja, pode indicar que estes compostos sejam decorrentes dos carros que circulam na Beira Mar. Para demonstrar isto, um branco do ar ambiente poderia ter sido realizado.

5.2 Análises Olfatométricas

5.2.1 Determinação da concentração e da taxa de odor emitida

Os resultados obtidos nas análises olfatométricas (em unidades de odor por metro cúbico: UO/m³), bem como o cálculo da taxa de emissão odorante são apresentados nas Tabelas 18 e 19, a seguir. Os resultados individuais obtidos através do olfatômetro estão apresentados no Apêndice A.

Tabela 18 - Concentração do odor.

Ponto	Amostra	Concentração de Odor [UO/m³]	
		Valor unitário²⁸	Média
Entrada	E1	526	427
	E2	476	
	E3	278	
Saída	S1	416	526
	S2	660	
	S3	502	

Analisando a tabela acima, pode-se constatar que houve um aumento de aproximadamente 23 % no valor referente à concentração do odor. Este aumento pode ter sido provocado pelo aumento de fenol no efluente de saída do lavador de gases.

Para o cálculo da taxa de emissão odorante foi utilizada a vazão da chaminé, medida no local, conforme metodologia descrita anteriormente. A vazão é apresentada em Nm³/h (normal metros cúbicos por hora), cujo valor representa a vazão volumétrica em base seca (corrigida para as condições padrão, de 20°C de temperatura e 760 mmHg de pressão).

Tabela 19: Taxa de emissão de odor.

Ponto	Amostra	Concentração de Odor [UO/m³]		Vazão [Nm³/h]	Taxa de emissão [UO/h]²⁹
		Valor unitário	Média		
Saída	S1	416	526	3.585	1.885.710
	S2	660			
	S2	502			

Como a legislação do estado de Santa Catarina não possui padrões de emissão para fontes fixas (chaminés), em termos de concentração odorante (em UO.h⁻¹), no que concerne qualquer tipo de poluente que não fumaça, utiliza-se como referência a legislação do Estado do Paraná. O valor da carga de emissão de odor determinado para a chaminé avaliada, de 1,9 x 10⁶ UO.h⁻¹ encontra-se abaixo do valor de 5 x 10⁶ UO.h⁻¹ permitido pela resolução SEMA 041/2002 da Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMA) do Estado do Paraná.

²⁸ Destes valores já foi subtraído o valor do branco, de 29 UO/m³, medido no dia 24/08/2007.

²⁹ Unidades de odor por hora.

5.2.2 Determinação da Intensidade do Odor

A intensidade odorante média na entrada e saída da chaminé teve índice de 2,54 e 2,83, respectivamente – em uma escala que vai de 1 a 5, onde o índice = 1 representa um odor muito fraco e um índice = 5 representa um odor muito forte.

As Figuras 38 e 39, apresentam os resultados obtidos para a intensidade odorante das amostras analisadas na entrada e saída do lavador de gases, respectivamente.

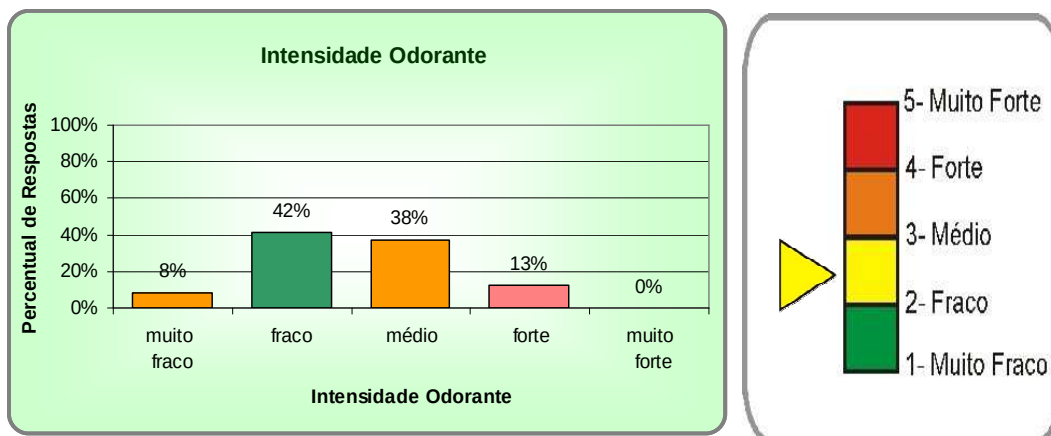


Figura 38 – Intensidade odorante - entrada do lavador de gases.

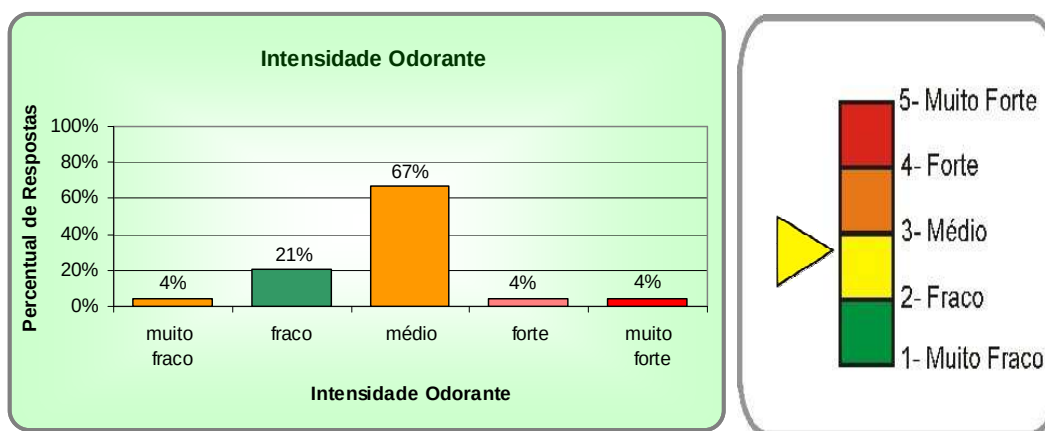


Figura 39 – Intensidade odorante - saída do lavador de gases.

Analisando os gráficos das figuras acima, observa-se um aumento significativo no percentual de jurados que classificaram as amostras do efluente submetidas ao equipamento de controle como de média intensidade, movida principalmente pela diminuição do percentual de jurados que considerava o odor de fraca intensidade na entrada do lavador de gases. Este fato deve estar associado ao aumento de fenol (substância de alto poder odorante) no efluente de saída do lavador de gases, provocado pelo emprego excessivo de detergente e desinfetante, nos quais foram identificados compostos fenólicos em sua composição.

5.2.3 Determinação da Hedonicidade

As Figuras 40 e 41, a seguir, apresentam os resultados obtidos para a análise de hedonicidade das amostras na entrada e saída do lavador de gases, respectivamente. Segundo os jurados, a hedonicidade odorante média na entrada e saída do equipamento de controle tem índice -0,54 e -2,46, respectivamente – em uma escala que vai de -10 a +10, onde o índice -10 representa um odor muito desagradável, um índice +10 representa um odor muito agradável, e um índice 0 representa um odor neutro.

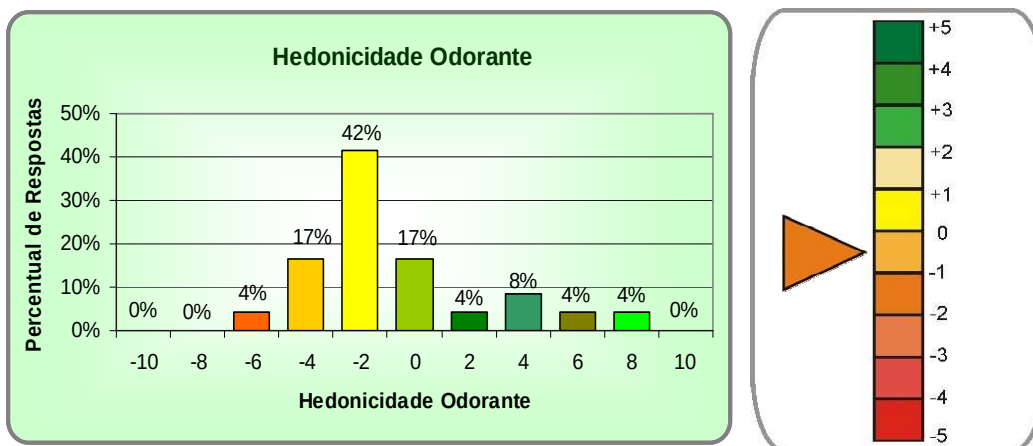


Figura 40 – Hedonicidade - entrada do lavador de gases.

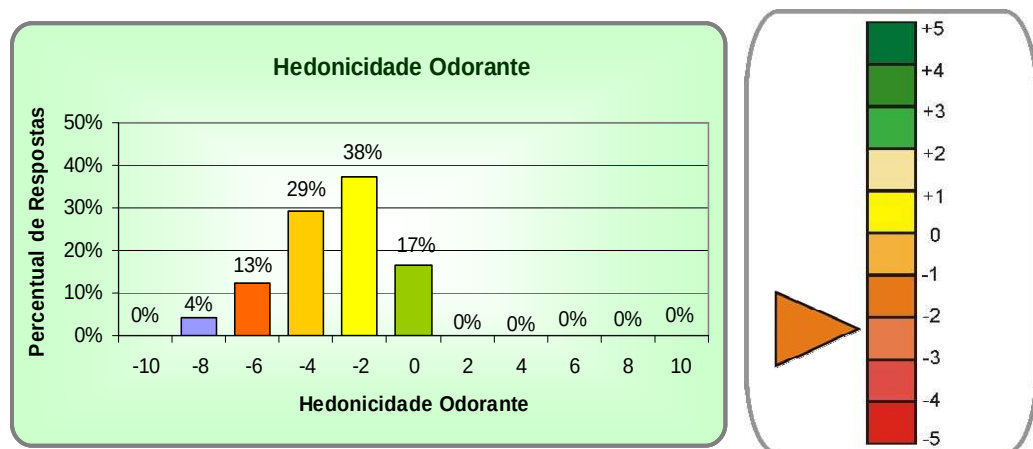


Figura 41 – Hedonicidade - saída do lavador de gases.

Analisando os gráficos acima, pode-se perceber que houve um relativo aumento na desagradabilidade no efluente gasoso do lavador de gases. De fato, o excesso de detergente no líquido de lavagem pode ter gerado um odor no efluente mais desagradável do que o próprio odor do efluente à cozinha do restaurante, apesar do cheiro de detergente puro ser mais agradável.

5.2.4 Determinação do Caráter do Odor

Em relação ao caráter odorante das amostras, afirma-se que 54% dos jurados informaram que o efluente da cozinha profissional tinha odor característico ‘químico’ (plástico, óleo ou graxa). Já na saída do lavador de gases, esse percentual foi de 67%. Além disso, houve redução de 29% no percentual de respostas referentes ao odor de comida, representado no gráfico pela categoria ‘vegetal’, no entanto, 17% dos jurados afirmaram que o efluente tinha cheiro de detergente, o que não havia ocorrido na entrada. Os resultados obtidos para esta análise são apresentados abaixo (Figura 42).

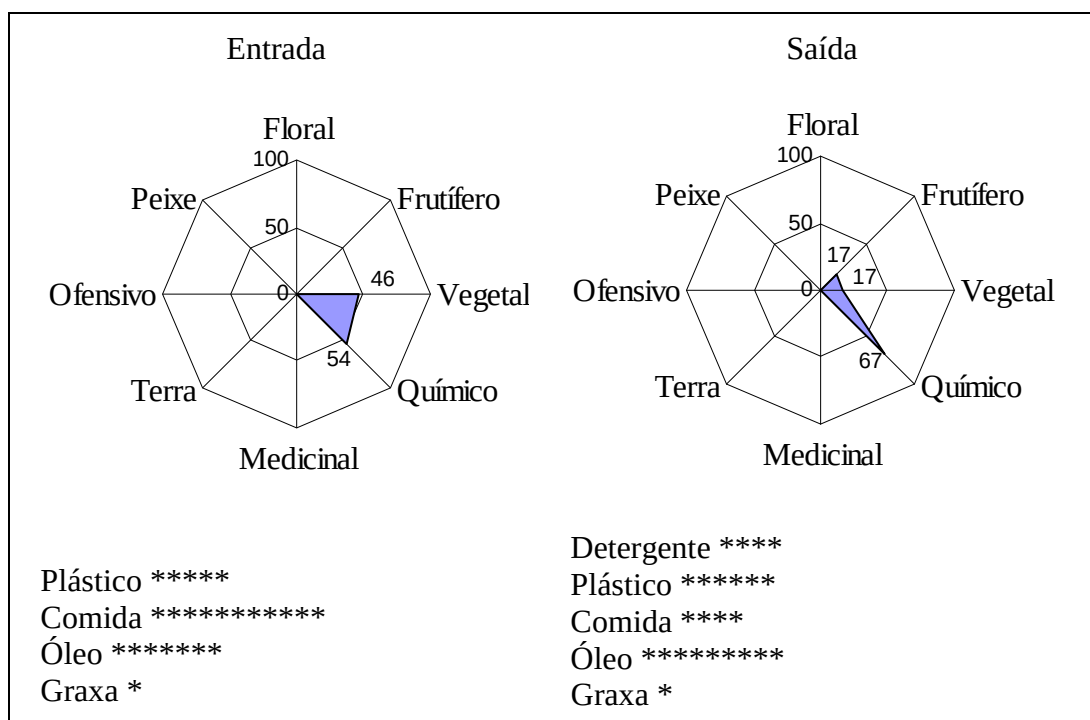


Figura 42 – Caráter odorante.

Analizando o gráfico acima, pode-se perceber que houve uma significativa redução no percentual de jurados que atribuíram cheiro de comida ao efluente gasoso. Por outro lado, houve um relativo aumento deste percentual em relação a óleo/graxa, sendo que o restante desta diferença está associado ao surgimento do cheiro de detergente ao efluente gasoso, uma vez que o número de jurados que atribuiu cheiro de plástico manteve-se praticamente constante. Sendo assim, é possível que o cheiro de detergente esteja, na verdade, mascarando o verdadeiro odor do efluente. Deste modo, não se pode afirmar que houve eficiência na remoção de odores, mesmo porque, as análises físico-químicas apontaram à ineficiência na remoção de aldeídos, que são compostos altamente odorantes.

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A partir dos resultados obtidos pode-se concluir, especificamente, que:

- A análise físico-química do efluente gasoso revelou a presença de compostos de diversas funções orgânicas. Destacam-se os hidrocarbonetos e aldeídos, que ocorreram em maior diversidade e frequência. Conforme relatado em outros trabalhos, pode-se afirmar que estes compostos são característicos do processo de cocção de alimentos e constituem um sério problema ambiental caso não sejam empregados dispositivos de controle, especialmente por estarem associados a uma contaminação difusa.
- O efluente gasoso da cozinha profissional apresentou uma concentração odorante média de aproximadamente 400 UO/m³. As análises olfatométricas complementares (intensidade, hedonicidade e caráter) revelaram um odor de intensidade fraca à média, levemente desagradável de comida/gordura, respectivamente. Deste modo, é notório o potencial odorante deste tipo de atividade produtiva. Além disso, verificou-se que a olfatometria associada a análises de cromatografia gasosa com detecção por espectrometria de massa proporcionou uma melhor caracterização dos efluentes gasosos da cozinha profissional, mostrando-se uma ferramenta fundamental na associação de poluentes às respostas sensoriais produzidas pelo olfato humano.
- Do ponto de vista qualitativo, houve uma significativa redução no número de compostos identificados na saída do lavador de gases. No entanto, o emprego excessivo de detergente provocou a formação de espuma no interior do equipamento, que prejudicou o tratamento do efluente gasoso. Possivelmente, os compostos eram removidos do efluente, porém não eram absorvidos pelo meio líquido, voltando a ser liberados posteriormente para a atmosfera. Ainda assim, o equipamento se mostrou eficiente na remoção de hidrocarbonetos e ésteres.
- As análises olfatométricas revelaram a ineficiência do sistema de tratamento no controle de odores, provavelmente relacionada à sua ineficiência na remoção de aldeídos, que são compostos altamente odorantes. Além disso, o provável emprego excessivo de produtos no líquido de lavagem pode ter sido determinante para o aumento da concentração odorante na saída da chaminé. Sendo assim, pode-se concluir que apesar da utilização de um equipamento de controle no tratamento dos efluentes gasosos do restaurante, falta aprimorar os cuidados na operação do sistema, o que pode ter promovido uma diminuição significativa em sua eficiência.

- A análise quantitativa dos compostos aromáticos, identificados no efluente gasoso, revelou uma concentração de fenol muito acima do limite de percepção olfativa estabelecido pela legislação estadual para este composto. No entanto, a taxa de emissão de odores determinada na saída da chaminé, após o equipamento de controle, apresentou-se dentro dos padrões exigidos pela legislação de referência utilizada (SEMA 041/2002). Além disso, verificou-se a deficiência do Decreto 14.250/1981 no que diz respeito a padrões de emissão e ao estabelecimento de limites de percepção olfativa para COV, uma vez que para uma série de compostos odorantes identificados no efluente gasoso da cozinha profissional, não há qualquer padronização.
- A falta de maiores detalhes a respeito do projeto e operação do sistema de tratamento utilizado para os gases do restaurante, devido ao segredo industrial, não permitiu, por outro lado, que se pudesse avaliá-lo mais criticamente, e talvez até, contribuir para seu aperfeiçoamento.

Embora os objetivos do trabalho tenham sido alcançados, diversas recomendações podem ser feitas visando à melhoria da qualidade de trabalhos futuros. Entre estas, pode-se citar:

- Realização de estudos desta natureza em diferentes tipos de processo de cocção de alimentos e com a utilização de diferentes combustíveis, para avaliar o potencial poluidor referente a cada tipo de processo especificamente.
- Construção de um inventário de emissões atmosféricas referente a este tipo de atividade produtiva, como uma ferramenta para o poder público, no controle da poluição atmosférica, a exemplo do que ocorre em países mais desenvolvidos.
- Estudos mais criteriosos buscando associar os compostos emitidos à quantidade de alimentos processados, podendo ser utilizado para este fim, um indicador, como por exemplo, $\text{g}_{\text{poluente}} / \text{kg}_{\text{alimento}}$ (lê-se: gramas de poluente por quilos de alimento).
- Realização de uma análise laboratorial mais completa, incluindo a avaliação de material particulado e também de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA).
- Análises de amostras do ambiente interno da cozinha profissional e do ambiente externo para avaliar se os compostos identificados e possivelmente quantificados são realmente originários do processo de cocção de alimentos ou se já faziam parte do ambiente.
- Estudo do projeto proposto para o controle de efluentes atmosféricos de modo a poder, se possível, propor melhorias ao mesmo.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Efluentes gasosos em dutos e chaminés de fontes estacionárias – Determinação da velocidade e vazão** – NBR 11966. 1989a.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Efluentes gasosos em dutos e chaminés de fontes estacionárias - Determinação da umidade** – NBR 11967. 1989b.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Determinação de pontos de amostragem em dutos e chaminés de fontes estacionárias - Procedimento** – NBR 10701. 1989c.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Efluentes gasosos em dutos e chaminés de fontes estacionárias - Determinação da massa molecular - Base seca** – NBR 10702. 1989d.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Sistemas de Ventilação para Cozinhas Profissionais** – NBR 14518. 2000.

AFNOR – Association Française de Normalisation. **Qualité de l'air. Mesurage de l'odeur d'un effluent gazeux. Détermination du facteur de dilution au seuil de perception** (X 43-101). Paris. 1986.

AFNOR – Association Française de Normalisation . **Qualité de l'air. Mesurage de l'odeur d'une atmosphère gazeuse. Méthode supraliminaire** (X 43-103). Paris. 1993.

AFNOR – Association Française de Normalisation. **Qualite de l'air - atmosphères odorantes methodes de prelevement** (X 43-104). Paris. 1990.

ASTM – American Society for Testing and Materials. E 544-75. **Standart practices for referencing suprathreshold odor intensity**. American National Standard. Philadelphia. 1997.

ASTM – American Society for Testing and Materials. E 679-91. **Standard Practice for Determination of Odor and Taste Thresholds by a Forced-Choice Ascending Concentration Series Method of Limits**. American National Standard. Philadelphia. 1997.

BACCAN, N.; ANDRADE, J. C.; GODINHO, O. E. S.; BARONE, J; S. **Química analítica elementar**. 1ª reimpressão. São Paulo : Edgard Blücher; Campinas : Universidade Estadual de Campinas, 1990.

BUONICORE, A. J.; THEODORE, L. **Air Pollution Control Equipament**. 2º impressão. Springer-Verlang Berlin Heidelberg, 1994. 425p.

CAPMETAL. **Capmetal – Soluções ambientais**. 2007. Disponível em: <<http://www.capmetal.com.br/site/index.html>> . Acessado em: 5 de dezembro de 2007.

CARMO JR, G. N. R. **Otimização e Avaliação de Metodologias Olfatométricas Voltadas ao Saneamento Ambiental**. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) - Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2005.

CEN - European Committee for Standardisation. EN 13725. **Determination of odour concentration measurement by dynamic olfactometry**. Brussels. 2003.

CHU, H.; CHIOU, Y- Y.; HORNG, K-H.; TSENG, T-K. **Catalytic incineration of C₂H₅SH and its mixture with CH₃SH over a Pt/Al₂O₃ catalyst**. Journal of Environmental Engineering, v. 127, n. 05, p.438-447, may 2001.

DESAUZIERS, V. **Odours: What measurement for what diagnosis?**. In: ANALUSIS, 28, N° 3. p.169. 2000.

FUNDAÇÃO DE AMPARO TECNOLÓGICO AO MEIO AMBIENTE (FATMA). Decreto Estadual nº 14.250, de 5 de junho de 1981: Regulamenta dispositivos da Lei nº 5.793 de 15 de outubro de 1980, referentes à Proteção e a Melhoria da Qualidade Ambiental. 1981.

GONÇALVES, C. M. S. **Estudos de Biodegradação de COV's e Aplicação na Torre Biológica de Pratos**. Dissertação (Mestrado em Tecnologias do Ambiente) – Pós-graduação Engenharia Biológica. Universidade do Minho, Portugal. 2004.

GOSTELOW, P.; PARSONS, S. A.; STUETEZ, R. M. **Odour measurements for sewage treatment works**. Wat. Res. Vol.35, N° 3, pp. 579-597. 2001.

GOURONNEC, A. M., TOMASSO, V. **Measurement of odours by sensory analysis or “olfactometry”**. In: ANALUSIS, 28, N° 3. p.188-199. 2000.

GUILLOT, J.-M. ; B. FERNANDEZ, B.; LE CLOIREC, P. **Advantages and limits of adsorption sampling for physico-chemical measurements of odorous compounds**. In: ANALUSIS, 28, N° 3. p.180-187. 2000.

HANSEN, A. B.; PALMGREN, F. **VOC air pollutants in Copenhagen**. The Science of Total Environment, v. 189/190, p. 451-457. 1996.

HESKETH, H. E. **Air Pollution Control: Tradicional and Hazardous Pollutants**. Edição revisada. Lancaster : Technomic Publishing Company. 1996. 489p

HESKETH, H. E.; SCHIFFTNER, K. C. **Wet Scrubbers**. 2º edição. Lancaster : Technomic Publishing Company, 1996. 199p.

HUDON, G. **Quantification d'odeurs à l'aide de nez électroniques et de réseaux de neurones artificiels**. Dissertação (Mestrado em Ciências Aplicadas) – Pós-graduação em Engenharia Química. École Polytechnique de Montréal, Montreal, Canadá. 1999.

LEYRIS, C. *et al.* **Laboratory study of odour emissions from areal sources: evaluation of a sampling system**. In: ANALUSIS, 28, N° 3. p.199-206. 2000.

MANCITYRE, A. J. **Ventilação industrial e controle da poluição**. Rio de Janeiro : Guanabara, 1990.

McGINLEY C.; McGINLEY M. **Odor testing biosolids for decision making**. Water Environment Federation Specialty Conference: Residuals and Biosolids Management Conference. Austin, TX: 3-6 March. 2002.

MICHEL, M. **Traitement de l'Hydrogène Sulfuré par Biolavage**. Dissertação (Mestrado em Ciências). Faculté des Sciences et de Génie – Université Laval, Canadá. 1997.

MIRANDA, G. R. **Avaliação das emissões atmosféricas provenientes da combustão de diesel, biodiesel de resíduos de óleo de fritura e suas misturas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Pós-graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2007.

MOON, S.-Y., CLIFF, M. A., LI-CHAN, E.C.Y. **Odour-active components of simulated beef flavours analysed by solid phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry and – olfactometry**. In: Food Research International, 39. p. 294-308. 2006.

MUNIZ, A. C. S. **Investigação do limite de percepção olfativa por olfatometria e por cromatografia gasosa-espectrometria de massa**. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Pós-graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2007.

NUVOLARI, A. *et al.* **Esgoto Sanitário: Coleta, Transporte, Tratamento e Reuso Agrícola**. Editora Edgard Blücher Ltda. 2003.

POULIOT, F. **Le Contrôle des Odeurs à la Ferme: Bâtiments et Structures d'Entreposage**. Centre de développement du porc du Québec inc. 2000. Disponível em: < <http://www.agrireseau.qc.ca/porc/navigation.aspx?sid=1100&p=2> > Acessado em: 20 de novembro de 2007.

RAMALHO, O. **Correspondences between olfactometry, analytical and electronic nose data for 10 indoor paints**. In: ANALUSIS, 28, N° 3. p.207-215. 2000.

SANGA, A. G. **Avaliação de impactos de tecnologias limpas e substituição de combustíveis para cocção em residências urbanas na Tanzânia**. Dissertação

(Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos) – Pós-graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Estadual de Campinas, São Paulo. 2004.

SCHIRMER, W. N. **Amostragem, análise e proposta de tratamento de compostos orgânicos voláteis (COV) e odorantes em estação de despejos industriais de refinaria de petróleo.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Pós-graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2004.

SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS DO PARANÁ (SEMA). Resolução Sema 041, de 17 de dezembro de 2002: Estabelece padrões de emissões atmosféricas. 2002.

SKOOG, D. A.; HOLLER, F. J.; NIEMAN, T. A. **Princípios de análise instrumental.** 5ª edição. Porto Alegre : Bookmann, 2002. 836p.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **Method TO-17.** Compendium of Methods for the determination of toxic organic compounds in ambient air - Determination of volatile organic compounds in ambient air using active sampling onto sorbent tubes. Method TO-17, 2nd edition. Cincinnati, 1997. 49p.

VDI 3881 Part 1. **Odour Threshold Determinations - Fundamentals.** VDI – Verein Deutscher Ingenieure. Berlin. 1986.

VDI 3881 Part 2. **Odour Threshold Determinations - Fundamentals.** VDI – Verein Deutscher Ingenieure. Berlin. 1987.

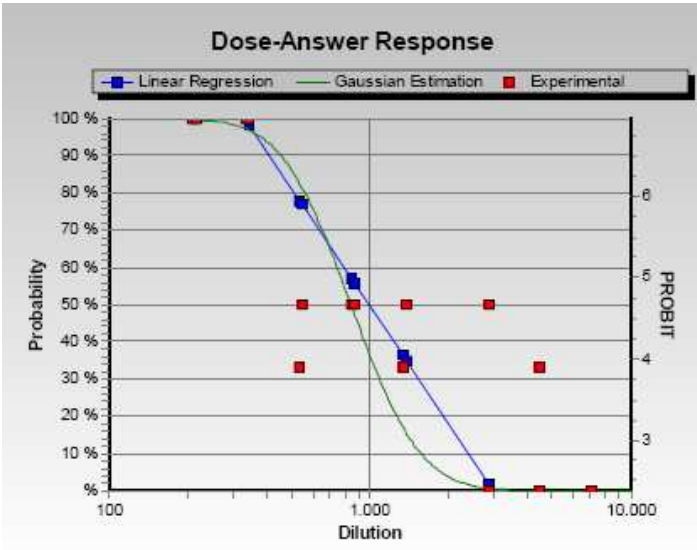
VDI 3882 Part 1. **Olfatometry - Determination of odour intensity.** VDI – Verein Deutscher Ingenieure. Berlin. 1992.

9. APÊNDICE

APÊNDICE A: ANÁLISES OLFATOMÉTRICAS

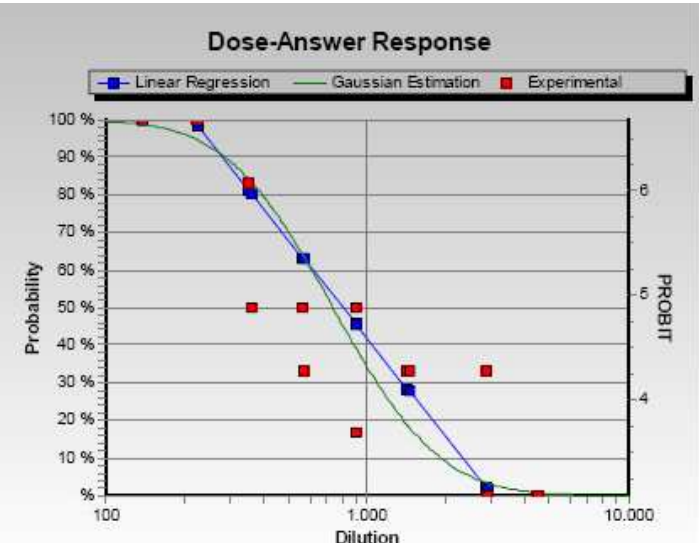
Os gráficos a seguir apresentam o resultados individuais para as 7 amostras analisadas, conforme 4 metodologias de cálculo: ASTM E679-91 (norma dos Estados Unidos); Probit (cálculo estatístico com regressão linear); CUM 90 (norma da Comunidade Urbana da cidade de Montreal, Canadá); CEN 13.725 (Norma da Comunidade Européia). Além dos resultados numéricos, também são apresentados os gráficos de regressão Probabilidade X Diluição, que mostra os dados experimentais, traça uma regressão linear entre eles e também apresenta uma curva gaussiana dos resultados.

1. Amostra 1:



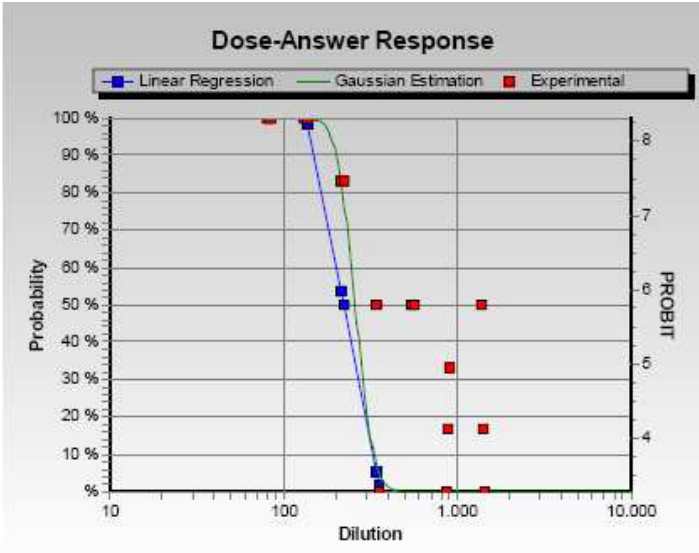
ASTM E679-91	PROBIT	CUM 90	pr EN13725
Z50 = 480	Z50 = 842	Z50 = 509	Z50 = 555
SD (Log) = 0.08	Z50+ = 974	SD (Log) =	SD (Log) = 0.11
	Z50- = 728		

2. Amostra 2:



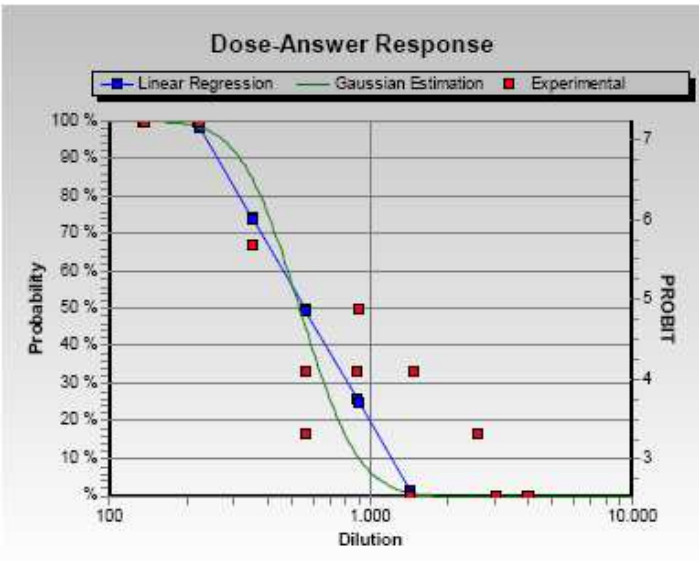
ASTM E679-91	PROBIT	CUM 90	pr EN13725
Z50 = 432	Z50 = 738	Z50 = 451	Z50 = 505
SD (Log) = 0.15	Z50+ = 898	SD (Log) =	SD (Log) = 0.17
	Z50- = 606		

3. Amostra 3:



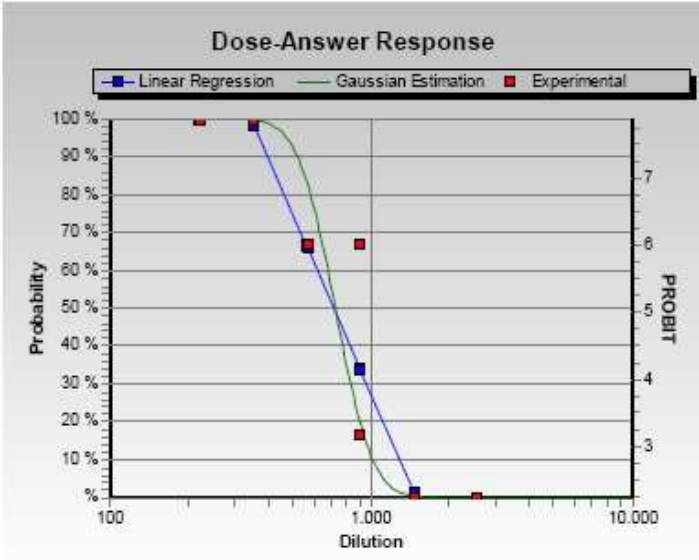
ASTM E679-91	PROBIT	CUM 90	pr EN13725
Z50 = 273	Z50 = 257	Z50 = 346	Z50 = 307
SD (Log) = 0.13	Z50+ = 287	SD (Log) =	SD (Log) = 0.25
	Z50- = 234		

4. Amostra 4:



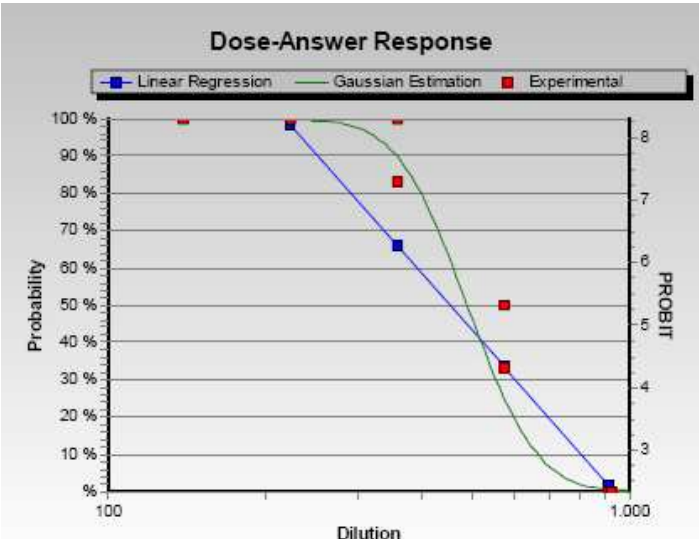
ASTM E679-91	PROBIT	CUM 90	pr EN13725
Z50 = 367	Z50 = 535	Z50 = 446	Z50 = 445
SD (Log) = 0.1	Z50+ = 601	SD (Log) =	SD (Log) = 0.22
	Z50- = 476		

5. Amostra 5:



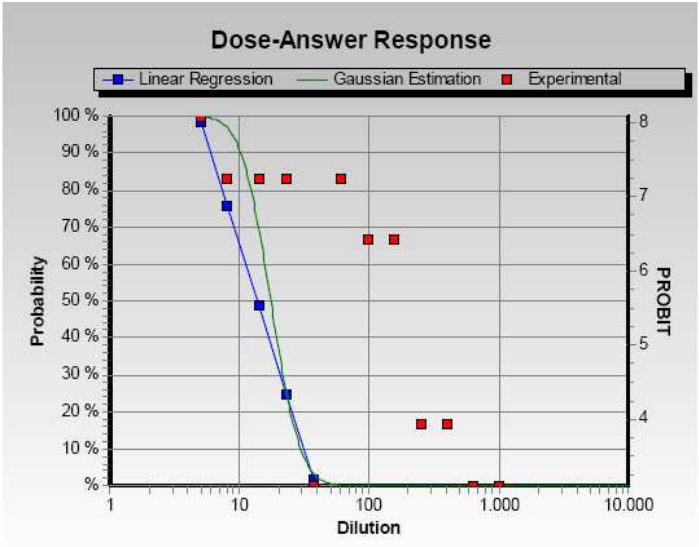
ASTM E679-91	PROBIT	CUM 90	pr EN13725
Z50 = 663	Z50 = 727	Z50 = 718	Z50 = 689
SD (Log) = 0.17	Z50+ = 782	SD (Log) =	SD (Log) = 0.15
	Z50- = 676		

6. Amostra 6:



ASTM E679-91	PROBIT	CUM 90	pr EN13725
Z50 = 472	Z50 = 488	Z50 = 531	Z50 = 531
SD (Log) = 0.14	Z50+ = 515	SD (Log) =	SD (Log) = 0.11
	Z50- = 462		

7. Amostra 7: BRANCO



ASTM E679-91	PROBIT	CUM 90	pr EN13725
Z50 = 23	Z50 = 17	Z50 = NA	Z50 = 29
SD (Log) = 0.27	Z50+ = 22	SD (Log) =	SD (Log) = 0
	Z50- = 14		

APÊNDICE B: MEDIÇÃO DE VAZÃO

A seguir são apresentadas as planilhas de cálculo da medição de vazão.

Tabela B.1. Cálculos das temperaturas em bulbo seco e bulbo úmido³⁰.

Ponto	ΔP (mmH ₂ O)	P_e (mmH ₂ O)	T_{bs} (C)	T_{bu} (C)	T_{bs} (K)	T_{bu} (K)
1	3,4	1,1	27,5	24,3	300,5	297,3
2	3,4	0,6	27,3	25,3	300,3	298,3
3	3,4	0,4	26,7	26,0	299,7	299,0
4	2,4	0,8	26,5	26,3	299,5	299,3
5	3,6	0,6	26,8	27,3	299,8	300,3
6	3,1	0,6	27,1	27,5	300,1	300,5
7	3,9	0,4	27,1	27,4	300,1	300,4
8	2,8	0,3	27,1	27,5	300,1	300,5
9	2,4	0,3	26,9	26,1	299,9	299,1
10	2,3	0,3	26,9	26,6	299,9	299,6
11	3,1	0,4	27,2	26,8	300,2	299,8
12	3,3	0,4	27,1	27,1	300,1	300,1
13	3,4	0,1	27,0	27,2	300,0	300,2
14	1,9	0,6	27,1	27,2	300,1	300,2
15	2,7	0,8	27,3	27,4	300,3	300,4
16	3,4	0,6	27,5	27,5	300,5	300,5
Médias	3,0	0,5	27,1	26,7	300,1	299,7

$$T_{bs} (K) = 300,1$$

como 1 mmH₂O = 0,07 mmHg

vem que

e, portanto:

$$(\Delta P_{\text{MÉDIO}}) = 0,2122 \text{ mmHg}$$

$$(\Delta P_{\text{MÉDIO}})^{1/2} = 0,4606 \text{ mmHg}$$

Tabela B.2. Dados locais corrigidos.

Pressão atmosférica local (mmHg):	760,0	1,000 atm
Temp. média local (°C):	27,0	299,0 K
Diâmetro da chaminé (m):	0,86	
Seção transversal da chaminé (m):	0,53	

Cálculo da umidade absoluta (Uab):

$$\alpha = 10320,37$$

$$U_{ab} = 0,07054 \text{ g H}_2\text{O/g ar seco}$$

Neste caso, tanto $g_{\text{H}_2\text{O}}$ quanto g_{ar} , devem ser transformados em cm³ vapor d'água e cm³ ar, respectivamente, ambos na CNTP ou CPTP.

³⁰ Os valores em vermelho são os valores medidos em campo

a) Cálculo da transformação do vapor d'água de gH₂O para cm³:

$$V = ((m/M) \cdot R \cdot T) / P_{abs}$$

Onde: $P_{abs} = P_{atm} + P_d$, e P_d é média dos 12 DP medidos
 P_{atm} é medido com um barômetro no local³¹.
 M = massa molecular da água

Assim,

$V = 0,09420$ L de vapor d'água

b) Cálculo da transformação do gar seco em cm³ ar:

$$V = ((m/M) \cdot R \cdot T) / P_{abs}$$

Assim,

$V = 0,83308$ L de ar seco

Onde: M = massa molecular do ar considerando apenas a presença de oxigênio e nitrogênio:

$$PM \text{ do ar} = 0,21(\%) \cdot 32 + 0,79(\%) \cdot 28 = 28,84$$

Determinação do volume vapor de água (Pvva):

$$Pvva = (\text{volume de vapor d'água}) / (\text{volume de vapor d'água} + \text{volume de ar seco})$$

$$0,1016 \text{ Ou, ainda: } 10,16 \%$$

Cálculo da massa molecular em base úmida (Mmbu):

$$MM_{bu} = MM_{bs} \cdot (1 - Pvva) + 18 \cdot Pvva$$

$$\text{Neste caso: } 27,739$$

Cálculo da velocidade do gás (v) na chaminé (m/s):

$$1,60 \pm 0,03 \text{ para velocidades entre 0 e 15 m/s}$$

Cálculo da vazão volumétrica em base seca:

$$3585,6 \text{ m}^3/\text{h}$$

³¹ Na maioria das vezes: $P_{abs} = P_{atm}$