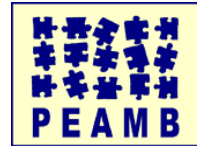




Universidade do Estado do Rio de Janeiro  
Centro de Tecnologia e Ciências  
Faculdade de Engenharia  
Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente  
Mestrado em Engenharia Ambiental



**ODORES INCÔMODOS EM EMISSÕES INDUSTRIAIS: ASPECTOS TEÓRICOS,  
PRÁTICAS ATUAIS E UM ESTUDO DE CASO EM FÁBRICA AGROQUÍMICA**

Francisco Carlos Coelho Schwab

Orientador: Ubirajara Aluízio de Oliveira Mattos  
Co-orientador: Julio Domingos Nunes Fortes

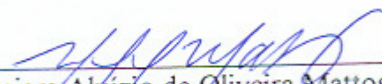
Rio de Janeiro  
Dezembro de 2003


# ODORES INCÔMODOS EM EMISSÕES INDUSTRIAIS: ASPECTOS TEÓRICOS, PRÁTICAS ATUAIS E UM ESTUDO DE CASO EM FÁBRICA AGROQUÍMICA


Francisco Carlos Coelho Schwab

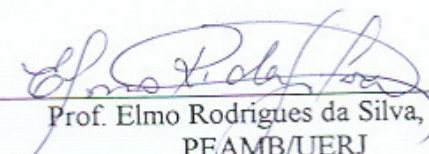
Trabalho Final submetido ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Aprovada por:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Ubirajara Aluizio de Oliveira Mattos, D.Sc. - Presidente  
PEAMB/UERJ

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Julio Domingos Nunes Fortes, D.Sc.  
PEAMB/UERJ

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Josino Costa Moreira, D.Sc.  
ENSP / Fiocruz

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Elmo Rodrigues da Silva, D.Sc.  
PEAMB/UERJ

W398 SCHWAB, Francisco Carlos Coelho.

Odores incômodos em emissões industriais:  
aspectos teóricos, práticas atuais e um estudo de  
caso em indústria agroquímica .-- 2003.

xxii, 92p.; 29,7 cm

Orientador: Ubirajara Aluizio de Oliveira Mattos

Co-orientador: Julio Domingos Nunes Fortes

Dissertação (mestrado) - Universidade do  
Estado do Rio de Janeiro – Programa de Pós-  
graduação em Engenharia Ambiental.

1. Ar – Poluição – Teses. 2. Poluição  
industrial – Controle - Teses. 3.Odores – Emissão  
- Teses . 4. Odores – Medição - Teses. I. Mattos,  
Ubirajara Aluizio de Oliveira. II. Fortes, Julio  
Domingos Nunes. III. Universidade do Estado do  
Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Ambiental.

CDU: 628.395

(Catalogação na fonte: Biblioteca de Engenharia  
– CTC/B)

Dedico este trabalho aos que tem estado constantemente mais junto a mim nesta jornada da vida: minha esposa Ligia e meus filhos Cláudio, André, Tiago e Lucas, muito amados;

Dedico também aos que só tem estado perto do coração, mas também junto a mim pelas lembranças vivas da emoção.

## **AGRADECIMENTOS**

Aos estimados professores, pela dedicação e ajuda, consciente de que a sua missão é da mais alta relevância;

A todos os que apoiaram a realização deste objetivo, sejam familiares com seu carinho, colegas de curso com seu apoio e convivência, colegas de trabalho pelo generoso compartilhamento de experiências e informações valiosas, que enriqueceram os conhecimentos que consegui reunir;

E especialmente ao companheiro Jorge Buzzetto, pela oportunidade que me propiciou e pelo apoio fundamental: a ligação funcional acaba, mas permanecerá sempre o meu reconhecimento e a minha gratidão.

## RESUMO

Odores Incômodos em Emissões Industriais: Aspectos Teóricos, Práticas Atuais e um Estudo de Caso em Fábrica Agroquímica

Incômodos por odores em emissões industriais constituem problema com alta frequência de reclamações das comunidades junto aos órgãos fiscalizadores. Pequenas concentrações de substâncias odoríferas têm muita probabilidade de serem emitidas nas atividades industriais e são muitas vezes suficientes para afetar o sistema olfativo humano, que é altamente sensível. Mesmo empresas que operam com cuidado, utilizando processos e equipamentos adequados, têm passado por episódios às vezes dramáticos. A questão não está regulamentada no Brasil e isto aumenta a complexidade do problema. Há necessidade de sistematizar o conhecimento nesta área, para se poder encaminhar soluções. A metodologia adotada contemplou um levantamento na literatura específica, bem como contatos com órgãos normativos, agências reguladoras, universidades e instituições especializadas. Incluiu uma pesquisa das melhores práticas atuais, junto às empresas, para enfrentar os problemas de odores. É apresentada uma revisão geral dos conhecimentos essenciais e são reunidas informações para orientar profissionais envolvidos em problemas práticos de emissão de odores industriais, com ênfase para procedimentos expeditos. Este trabalho apresenta também um estudo de emissão de odores com foco em uma indústria agroquímica e propõe uma forma de tratamento para o controle de suas emissões. Evidenciou-se que as soluções simples e tradicionais frequentemente dão os melhores resultados, sendo em geral boa estratégia tomar o H<sub>2</sub>S como substância-alvo. Novas tecnologias relacionadas a esta área são apresentadas, diversas tem um grande potencial. As empresas precisam ser proativas neste tipo de problema, incluindo buscar maior integração com as comunidades vizinhas através de procedimentos apropriados.

Palavras-Chave: Poluição industrial, Controle da poluição, Emissão de odores, Medição de odores.

## **ABSTRACT**

### **Odor Annoyance in Industrial Emissions: Theoretical Aspects, Present Practice and a Case Study in an Agrochemical Plant**

Annoyance caused by odors in industrial emissions represent a problem with high frequency rate of complaints by communities to the environmental regulatory agencies. Tiny concentrations of odoriferous substances usually have high probability to be delivered in many types of industrial process, and this may be sufficient to affect the human olfaction sense, which is highly sensitive to odors. Even in the case of plants that operate with great care, when process and equipment are well suitable, this situation may generate episodes literally dramatics. This question is still not regulated in Brazil and this adds complexity to the problem. There is a need to organize the knowledge in this field to make it possible to convey solutions. The methodology included an ample survey in the specific literature, complemented by contacts with standardization organs, regulatory agencies, universities and specialized institutions. Also, performed a survey to determine the best field practices, among several industrial companies, to handle odor problems. An overall review of essential knowledge is presented, collecting information to orient professionals in practical works involving industrial odor emissions, with emphasis in speed-up approximate procedures. This paper also presents a case study of odor emission in an agrochemical plant and proposes a typical procedure for emissions control. It was highlighted that the traditional and simple solutions very often give the best results, and in many cases it is a good strategy to take H<sub>2</sub>S as target substance. New technologies in this field are presented, several of them with great potential. Companies shall be more proactive with this type of problem, including developing greater integration with neighbor communities using appropriate procedures.

**Key words:** Industrial Air Pollution, Pollution Control, Odor Emission, Odor Measurement.

## SUMÁRIO

**1. INTRODUÇÃO**

<b>1.1. Considerações iniciais</b> .....	1
<b>1.2 Objetivos</b> .....	2
<b>1.3 Relevância da questão</b> .....	2
<b>1.4 Justificativa deste trabalho</b> .....	3
<b>1.5 Metodologia adotada</b> .....	3
<b>1.6 Estrutura da dissertação</b> .....	4

**2. ASPECTOS TEÓRICOS E AS PRÁTICAS ATUAIS**

<b>2.1 Considerações gerais</b> .....	6
<b>2.2 O sentido do olfato e a Aromacologia</b> .....	8
<b>2.3 A fisiologia básica do sistema olfativo</b> .....	9
<b>2.4 Contaminantes químicos em baixas concentrações: odores</b> .....	12
2.4.1 Considerações sobre os Limites de Tolerância .....	13
2.4.2 Riscos psicológicos e fisiológicos da exposição a odores industriais.....	15
<b>2.5 Medição e monitoramento de odores</b> .....	17
2.5.1 O “painel de avaliadores” como método básico para avaliar odores .....	19
2.5.2 Critérios para determinar limiar, intensidade e outros indicadores .....	21
2.5.3 O “painel olfativo” como recurso para monitoramento .....	23
2.5.4 Sensores e instrumentos para medição de odores.....	24
2.5.5 Limitações da percepção olfativa e da medição .....	26
<b>2.6 Utilização de odores na indústria visando segurança e saúde</b> .....	28
<b>2.7 A questão da emissão de odores na indústria</b> .....	31
2.7.1 Fontes de odores nos setores industriais e tipos de tratamentos adotados .....	31
2.7.2 Considerações sobre as emissões de gás sulfídrico e mercaptanas .....	33
2.7.3 Atuação dos órgãos fiscalizadores .....	34
<b>2.8 Tecnologias tradicionais para prevenção, controle e tratamento de odores.....</b>	37
2.8.1 Emissão em chaminés e condições dependentes do ambiente.....	38
2.8.2 Plumas de dispersão e seu comportamento: avaliação expedita.....	39
2.8.3 Emissões fugitivas e técnicas para seu monitoramento e controle.....	48
2.8.4 Sistemas básicos para contenção e tratamento de emissões odoríferas .....	51



<b>2.9 Novas tecnologias disponíveis ou em desenvolvimento .....</b>	<b>59</b>
2.9.1 Nariz Eletrônico .....	59
2.9.2 Detector de agentes químicos por ondas acústicas superficiais .....	61
2.9.3 Micro indicador de gases portátil com receptores ancorados em Cristal Líquido ...	62
2.9.4 Processos de produção mais ecológicos: biotecnologia .....	62
2.9.5 Novos recursos para pesquisar os efeitos dos contaminantes químicos .....	63
2.9.6 Novos processos para tratamento de emissões odoríferas .....	63
<b>2.10 Negociação de conflitos sócio-ambientais e formação de consenso .....</b>	<b>63</b>
<b>3. PANORAMA DA INDÚSTRIA QUÍMICA E AGROQUÍMICA .....</b>	<b>66</b>
<b>4. ESTUDO DE CASO:</b>	
<b>CONTROLE DE EMISSÃO DE ODORES EM INDÚSTRIA AGROQUÍMICA</b>	
4.1 Apresentação da situação real .....	73
4.2 Considerações técnicas e teóricas .....	76
4.3 Providências e ações corretivas adotadas .....	81
4.4 Aprendizados e constatações .....	84
<b>5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b>	
5.1 Conclusões .....	86
5.2 Recomendações .....	87
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	
<b>ANEXOS</b>	

**LISTA DE FIGURAS**

<b>Figura 1:</b> Sistema convencional para medição de gases em chaminés .....	25
<b>Figura 2:</b> Esquema teórico de dispersão da pluma para modelos Gaussianos .....	41
<b>Figura 3:</b> Esquema de torres de lavagem com pratos e com recheio.....	53
<b>Figura 4:</b> Diagrama orientativo para escolha do tratamento de emissões atmosféricas .....	57

**LISTA DE QUADROS**

<b>Quadro 1:</b> Fatores essenciais para caracterização de odores .....	21
<b>Quadro 2:</b> Caracterização dos odores relacionados a algumas substâncias conhecidas .....	22
<b>Quadro 3:</b> Emissões odoríferas típicas em diversos setores industriais .....	32
<b>Quadro 4:</b> Tratamentos básicos para odores, aplicados em diversos tipos de indústrias .....	33

**LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela 1:</b> Classificação quanto ao fator de segurança odorífero (FSO) .....	23
<b>Tabela 2:</b> Comparação do Limiar de Detecção com os TLVs de algumas substâncias .....	29
<b>Tabela 3:</b> Faixa de concentrações explosivas para gases de enxofre (% volume) .....	34
<b>Tabela 4:</b> Valores das constantes para se determinar os coeficientes de difusão. ....	44
<b>Tabela 5:</b> Base para a classificação estimativa de estabilidade atmosférica .....	45
<b>Tabela 6:</b> Escala de Beaufort para avaliação da velocidade do vento .....	45
<b>Tabela 7:</b> Características de alguns materiais adsorventes (mais comuns) .....	55
<b>Tabela 8:</b> Capacidade de adsorção relativa do Carvão ativado (exemplos) .....	56
<b>Tabela 9:</b> Segmentos da Indústria Química segundo a classificação CNAE .....	67
<b>Tabela 10:</b> Indicadores característicos dos principais setores da Ind. Química nos EUA .....	68
<b>Tabela 11:</b> Faturamento dos principais segmentos químicos brasileiros .....	71
<b>Tabela 12:</b> Quantidade de reclamações/ano comparada com a tonelagem produzida .....	76
<b>Tabela 13:</b> Valores a serem adotados para Altura do Enchimento de Torres Recheadas .....	78
<b>Tabela 14:</b> Estimativa da altura de enchimento Z (ft), segundo THEODORE .....	79
<b>Tabela 15:</b> Alguns sistemas testados segundo a correlação da Norton: valores de $C_1$ .....	79
<b>Tabela 16:</b> Constante de caracterização do recheio $C_2$ segundo a correlação da Norton .....	80

**LISTA DE SIGLAS**

**FSO:** Fator de Segurança Odorífero

**MCS:** Multiple Chemical Sensitivity

**ISO:** International Standardization Organization

**ACGIH:** American Council of Governmental Industrial Hygienists

**NIOSH:** National Industrial Organization for Safety and Health

**WHO:** World Health Organization

**ASTM:** American Society for Testing Materials

**OSHA:** Occupational Safety and Health Association

**EPA:** Environmental Protection Association

**AEC:** American Environmental Council

**FSA:** Fábrica de Substâncias Ativas

**IL:** Inseticidas Líquidos, planta de formulação de

**PPLD:** Pentasulfeto de Fósforo

## LISTA DE ANEXOS

**Anexo I:** Conceitos para elaboração de uma rede de Sensores Humanos

**Anexo II:** Pesquisa junto aos vizinhos

**Anexo III:** Painel Olfativo: planejamento e resultados.

**Anexo IV:** Formulários de informações e acompanhamento do Painel Olfativo

**Anexo V:** Fluxogramas de fabricação de indústria agroquímica.

**Anexo VI:** Olfatômetro de campo: diagrama de componentes, descritores de odor e exemplo de planilha de levantamento de campo preenchida.

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 Considerações Iniciais

Incômodos causados pelos odores industriais constituem um problema com alta frequência de reclamações das comunidades junto aos órgãos fiscalizadores. Entretanto, em quase todos os países esta questão permanece no campo da subjetividade, sem regulamentação específica nem abordagem técnica adequada. Trata-se de um tema relativamente pouco divulgado, mas que diz respeito a problemas bastante complexos, que são preocupação constante nas atividades industriais, mesmo quando os processos são bem escolhidos e os equipamentos corretamente projetados. Pequenas concentrações de substâncias odoríferas têm muita probabilidade de serem emitidas nas mais variadas atividades industriais. Apesar de pequenas, estas concentrações são muitas vezes suficientes para afetar o sistema olfativo humano, que é altamente sensível. É fato que a abrangência destes problemas é geralmente limitada quanto ao espaço físico atingido e só persiste enquanto dura a sua geração. Pelas conseqüências aparentes poderia ter uma prioridade mais baixa frente a outros problemas ambientais, mas não é o que acontece porque os efeitos são imediatos sobre os seres humanos. Há uma intolerância cada vez maior do público em geral, que reclama e reage com apoio dos órgãos fiscalizadores oficiais. Estes órgãos têm usado meios legais para intimar e multar escalonadamente até que o responsável alcance uma solução que venha a ser considerada aceitável para suas emissões. Há embasamento legal para este tipo de encaminhamento, a partir da Lei nº 6.938, da Política Nacional do Meio Ambiente, no seu Artigo 3º, incisos II, III e IV, como será mostrado.

O problema é delicado porque mesmo as empresas que operam com cuidado não estão livres de passar por episódios às vezes dramáticos. Isso gera risco constante de exposição desfavorável na mídia, pois problemas de poluição têm sido muito explorados e amplificados pelos meios de comunicação.

Além dessas considerações, nos últimos anos vem se consolidando uma preocupação adicional de que não se trata apenas de desconforto ou incômodo. Pesquisas sobre o efeito em seres humanos, de pequenas concentrações de contaminantes químicos no ambiente vêm mostrando uma nova dimensão para o problema, como será apresentado neste trabalho. O que se constata é que não é mais admissível ficar apenas minimizando este tipo de problema, também já não se aceita omissão ou descaso: a questão demanda conhecimento e ações efetivas, de preferência antes que o problema surja ou se complique com o envolvimento da fiscalização e da mídia. Por isso, procurou-se aqui dar um panorama

abrangente da questão dos odores incômodos na indústria, uma visão atualizada reunindo informações que se encontram esparsas em diversas fontes. E foi justamente a partir da experiência vivenciada no estudo de caso aqui apresentado que se percebeu a oportunidade e utilidade de desenvolver o tema em questão.

## **1.2 Objetivos**

O objetivo deste trabalho é dar uma contribuição como referência para melhor compreensão da questão e como ajuda prática no controle da emissão de odores incômodos em instalações industriais. Pretende-se apresentar os principais aspectos do estado da arte nesta área, assim como novas tecnologias em desenvolvimento e as perspectivas de suas futuras aplicações. Discutem-se as ocorrências típicas nos ramos da indústria mais afetados, as tecnologias e procedimentos que tem sido geralmente utilizados, focando nos mais simples e baratos que costumam dar os melhores resultados na prática, tal como no estudo de caso apresentado, onde é descrita uma situação real de controle de odores de sulfeto de hidrogênio (H<sub>2</sub>S) em uma indústria agroquímica.

## **1.3 Relevância da questão**

Com o crescimento acelerado da periferia das cidades brasileiras muitas indústrias têm ficado rodeadas por aglomerados populacionais. Já não basta manter-se abaixo dos limites estabelecidos para emissões atmosféricas de contaminantes perigosos que causem danos evidentes à saúde física das pessoas: o odor percebido gera desconforto e sofrimento psicológico pela sensação de perigo e de exposição prejudicial à saúde.

A exposição a determinadas substâncias odoríferas – sendo o cheiro percebido conscientemente ou não – também pode chegar a causar efeitos de natureza psico-fisiológica, conforme vêm indicando estudos realizados em um dos mais novos campos da ciência: a Aromacologia. Trata-se de uma área multidisciplinar que analisa espécies químicas odoríferas, tendo em vista seus efeitos no sentido do olfato humano e seus mecanismos e conseqüências neurofisiológicas, biológicas e médicas, visando o bem estar, o tratamento de patologias e outras aplicações. Portanto, isso vem demonstrar que as substâncias odoríferas geram outros efeitos além da sensação olfativa, seja ela incômoda ou não.



Sabe-se que de 10 a 20% da população tem propensão a manifestar alergias que, segundo pesquisas amplamente fundamentadas, podem ser provocadas pelas mais diversas condições, mas principalmente por agentes químicos, mesmo em baixas concentrações. Entretanto, ainda há um outro tipo de resposta biológica importante a ser considerada. Expandindo o conceito e considerando o fenômeno dos odores como exposição a substâncias químicas em baixíssimas concentrações, temos que levar em conta também a síndrome chamada MCS (multiple chemical sensitivity). A quantidade de pessoas afetadas por esta síndrome parece estar crescendo e um levantamento nos EUA avaliou que pode atingir cerca de 6% da população (STEVEN, 2001). Novos casos poderão engrossar as estatísticas a medida que o conhecimento da MCS fôr se expandindo no meio médico. As conseqüências da MCS podem ser muito graves, parecendo uma combinação de doenças, sendo que o primeiro caso de pagamento de pensão por invalidez ocorreu no Hawai em 1979. Tem havido desde então muitos outros casos de aposentadoria precoce e de pagamento de indenizações, a partir dos anos 80 nos Estados Unidos (HILLEMANN, 1991), que continuam a se multiplicar e que foram constatados também em outros países, como Austrália, entre outros.

Também deve ser ressaltada a importância de se manter um bom relacionamento entre a indústria e as comunidades vizinhas, como partes interessadas, dentro do espírito de Responsabilidade Social e dos preceitos da ISO 14.000, o que torna inaceitável incômodo deste tipo. Neste particular, as estatais e multinacionais são particularmente vulneráveis a avaliação e pressões dos controladores e acionistas, mas as demais empresas também costumam ser bastante coagidas, por outros motivos. E a realidade mostra que a qualquer momento pode surgir uma crise originada por emissão de odores, imputados à uma determinada indústria, com razão ou não, o que de imediato traz a pressão dos órgãos fiscalizadores, intimações e multas.

A escalada de um tal problema traz reflexos na mídia e na opinião pública em geral – que tem se mostrado ávidos por notícias desta natureza – que afetam a imagem da empresa e representam um elevado custo de marketing e relações públicas. Observa-se que tem havido uma exploração sobre notícias envolvendo poluição – e com freqüência devido a emissões de odores – por parte dos jornalistas, pois se trata de um assunto especializado onde é fácil envolver o público emocionalmente. Muitas vezes a extensão da cobertura não parece proporcional à gravidade do problema e as especulações sem respaldo técnico lançadas pela televisão e jornais, veículos superficiais por natureza, podem amplificar o problema e dificultar bastante a solução: surge o aspecto político, as autoridades em geral se envolvem e outros interesses contaminam a situação.

Finalmente, deve ser lembrado que há diversos exemplos de instalações industriais que foram fechadas ou impedidas de se instalar, na Europa e nos Estados Unidos, devido a problemas de emissão de odores não controlados e esta é uma tendência também em nosso país.

#### **1.4 Justificativa deste trabalho**

Procurou-se dar um enfoque teórico e prático objetivo, com vistas a apoiar uma atuação mais efetiva dos profissionais envolvidos com esta questão. As informações apresentadas são uma síntese do conhecimento sedimentado e do que há de mais recente e pertinente na área. Isto pode ser muito útil, pois na literatura usual, de acesso mais imediato, as informações são superficiais e se encontram muito dispersas. Pelo que se observou na pesquisa bibliográfica o assunto não recebeu ainda uma abordagem abrangente e sistematizada na literatura ou em normas técnicas. Os conhecimentos do caso prático apresentado são resultantes de trabalho profissional do autor ao participar na solução de problema real em uma instalação industrial agro-química e reforçam a visão do enfoque adotado, demonstrando que se deve insistir nas soluções clássicas e simples, antes de tentar outras mais complexas, se de todo necessárias.

Além disso, em problemas dessa natureza, não se pode ficar apenas nas soluções técnicas, ou seja, há a delicada questão do relacionamento com as comunidades afetadas, o que pode incluir os empregados e suas famílias. É então que se torna útil aproveitar a experiência recente de diversas empresas que tem sido bem sucedidas na condução deste tipo problemas. Numa situação de crise real, a interação com a comunidade afetada e com os órgãos de fiscalização requerem uma forma de atuação que em geral não é abordada pelas pesquisas e estudos teóricos. Trata-se de um conjunto de providências práticas, em geral simples, mas que tem que ser adotadas de imediato e implementadas competentemente, quando da ocorrência do problema. Disso depende o desenrolar da crise, evitando ou minimizando multas pontuais ou diárias, deterioração do relacionamento com a comunidade e reflexos na mídia prejudiciais à imagem da empresa. Por fim, deve ser ressaltada a necessidade fundamental – com ou sem crise – de se preservar a saúde das pessoas e prevenir os impactos ambientais que podem advir da emissão de odores, considerados como contaminação atmosférica por poluentes químicos, ainda que em baixas concentrações, o que pode ser alcançado com a ajuda dos conhecimentos, técnicas e procedimentos aqui apresentados.

## **1.5 Metodologia adotada**

Como base essencial foi realizado um levantamento sobre os conhecimentos disponíveis e o atual estado da arte, reunindo as informações gerais e específicas pertinentes ao tema. Na internet foram utilizados os principais sites de pesquisa como <[www.periodicosapes.org](http://www.periodicosapes.org)> ; <[www.scirus.com](http://www.scirus.com)> e consultados os das associações mais destacadas neste campo de conhecimento, como ACGIH e NIOSH, Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie (Zurich, Suíça), Institute of Occupational Medicine (Edinburgh, UK), o site da organização sobre Nariz Eletrônico <[www2.nose-network.org](http://www2.nose-network.org)> entre outros.

Foram desenvolvidos contatos com instituições associativas empresariais e normativas, bem como de fiscalização, sendo as informações de interesse devidamente sumarizadas e apresentadas. Um levantamento histórico estatístico foi realizado graças ao interesse e colaboração da CETESB. Uma avaliação da situação atual na indústria química brasileira foi feita através da Comissão de Meio Ambiente da ABIQUIM. Valiosas informações e referências foram obtidas com apoio da FUNDACENTRO. No exterior pode-se citar como instituições de referência: Monell Chemical Senses Center (Philadelphia, USA), School of Safety Sciences (Sydney, Australia), Institute of Olfactory Sciences (IL, USA) , Odor Sciences Center (Chicago, USA), Chemosensory Perception Laboratory (UCLA, San Diego, USA), California Department of Health, entre outras.

O estudo de caso foi apresentado com enfoque prático, sem discussão teórica formal detalhada. São abordadas as etapas de diagnóstico, caracterização dos principais aspectos da situação, estudo de alternativas, implantação de melhorias e acompanhamento até garantir a capacidade do sistema, mantendo-o consistentemente sob controle. Os demais casos mencionados neste trabalho foram levantados junto a diversas empresas envolvidas com este mesmo tipo de problema, como Rhodia, Basf, Riocell, Fras-le e outras, através de visitas e entrevistas, que permitiram apresentar os procedimentos consolidados na prática como os mais adequados.

## **1.6 Estrutura da dissertação**

No capítulo 2 são abordados os aspectos teóricos e práticos de maior interesse para este trabalho, com o levantamento do estado da arte, das tecnologias tradicionais e das práticas mais utilizadas na atualidade, das pesquisas mais recentes, além de um panorama da realidade da indústria em geral, de modo a fornecer um referencial de informação adequado e atual.

No capítulo 3 é apresentado um panorama da Indústria Química e Agroquímica no Brasil e no mundo, já que este é um dos setores mais sujeitos a problemas de odor, no foco deste trabalho. No capítulo 4 é desenvolvido um estudo de caso de problema prático ocorrido numa fábrica agroquímica, mostrando em resumo os principais aspectos, o procedimento adotado e os resultados obtidos, aprendizado que se soma a outros casos também mencionados.

Finalmente, no último capítulo são sumarizadas as principais conclusões e conseqüentes recomendações.

## **1. ASPECTOS TEÓRICOS E AS PRÁTICAS ATUAIS**

### **2.1 Considerações gerais**

Levantamentos indicam que a maioria das reclamações ambientais sobre poluição na atualidade é relativa a odores incômodos, em parte por ser um tipo de poluição com efeitos imediatos sobre as pessoas. Segundo informações levantadas junto à Coordenadoria de Licenciamento Integrado da CETESB em Junho de 2003, constatou-se que houve uma média de 18.000 reclamações por ano no período 1999-2002, sendo 43% relativas a odores, percentual que corresponde a 200 reclamações por dia, mais da metade na Grande São Paulo (SATO, 2003). Isto é coerente com outras fontes, como por exemplo 34% em S. Francisco e 36% em Filadélfia-EUA, caracterizando elevados percentuais (TORREIRA, 1999).

Emissões odoríferas incômodas costumam ser típicas de diversas atividades e podem ser facilmente originadas nas instalações industriais, inclusive em emissões fugitivas, às vezes em minúsculos vazamentos como em válvulas e flanges, ou até mesmo em porosidades de soldas. Acontece que estes elementos são muito comuns e numerosos nas instalações industriais, e em especialmente naquelas onde o potencial para emissões de odores é grande, como é o caso da indústria química, do petróleo e petroquímica. Estas emissões podem também, com freqüência, se originar por desvios da rotina de serviços ou da boa prática de operação e manutenção nos sistemas de controle e tratamento de emissões atmosféricas.

O que se constata, por outro lado, é que existe uma nova preocupação com os efeitos de longo prazo da exposição a baixas concentrações de produtos químicos, ocorrência relativamente comum na vida moderna. Está havendo uma grande ênfase na avaliação do risco das inúmeras substâncias químicas que aparecem em todos os aspectos das atividades humanas na atualidade. Principalmente porque o olfato sempre serviu, atavicamente, como alarme e proteção para os seres humanos e por isso preocupações com saúde e segurança são

inevitáveis em presença de odores originados em atividades industriais, em particular na indústria química, como indicativo de que está havendo exposição a uma ou mais substâncias, em condições geralmente desconhecidas. Por isso, não é realmente um exagero a afirmação de muitos estudiosos de que a questão dos odores é um dos principais problemas da década.

Numa época em que as empresas se empenham em assumir suas ditas responsabilidades sociais, é inadmissível que possam permitir que suas atividades gerem odores incômodos externamente para a vizinhança ou internamente para seus colaboradores.

Entretanto, dados objetivos sobre odores não são fáceis de se obter, pois apesar do olfato humano ser capaz de detectar mínimos traços de substâncias no ar ambiente, estas concentrações são geralmente muito baixas para poderem ser detectadas de forma consistente e confiável através de instrumentos. A sensibilidade na percepção dos odores varia muito de um indivíduo para outro, e até para o mesmo indivíduo em momentos distintos, sendo que aromas que não são ofensivos para alguns podem ser desagradáveis para outros.

As pesquisas nesta área vêm se ampliando nos últimos anos, de tal modo que reavaliações do estado da arte tem aparecido periodicamente como, por exemplo, em SHUSTERMAN (1992) e WINDER(2002), nos quais a abordagem é sobre os estudos dos efeitos na saúde física das pessoas expostas.

Tudo isso serve para dar uma idéia da complexidade dos problemas, tendo em vista o bem estar do ser humano, tornando-se necessário então que a abordagem de engenharia leve em conta os principais aspectos psicofisiológicos em questão.

Por outro lado, do ponto de vista jurídico e normativo, no que concerne ao Meio Ambiente, os padrões de referência aceitáveis vêm se tornando cada vez mais restritivos, ampliando-se gradativamente os aspectos considerados e o grau de exigência. Tomando-se como base a definição da Organização Mundial de Saúde (WHO – World Health Organization) sobre o que é saúde, chega-se à conclusão que a questão das emissões de odores pelas indústrias deve ser devidamente considerada:

*“Saúde é um estado de completo bem-estar físico, mental e social, e não meramente a ausência de doença ou enfermidade.”*

Do ponto de vista jurídico, vale assinalar que a Lei nº6.938 de 31/08/1981, da Política Nacional do Meio Ambiente, recepcionada pela Constituição Federal de 1988, enquadra o tema ao preceituar no seu Art. 3º, incisos II, III e IV:

*II – degradação da qualidade ambiental é a alteração adversa das características do meio ambiente;*

*III – poluição, a degradação da qualidade ambiental resultante de atividade direta ou indiretamente:*

- a) *prejudique a saúde, a segurança e o bem-estar da população;*
- b) *criem condições adversas às atividades sociais e econômicas;*
- c) *afetem desfavoravelmente a biota;*
- d) *afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente;*
- e) *lancem matéria ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos;*

*IV – poluidor, a pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, responsável direta ou indiretamente, por atividade causadora de degradação ambiental.*

Portanto, as emissões de odores incômodos caracterizam poluição e poluidor, sujeitas às penas da lei, ao afetar o bem-estar da população e criar condições adversas às atividades sociais e econômicas, nas comunidades afetadas, bem como efetivos riscos à saúde.

## **2.2 O sentido do olfato e a Aromacologia**

Pode-se afirmar que o sentido do olfato é o mais antigo e, ironicamente, talvez o mais desconhecido dentre os sentidos desenvolvidos pelo homem. Um odor é a resposta fisiológica involuntária das células olfativas à presença de moléculas de uma determinada substância no ar inspirado, que é passível de ser percebida mesmo em concentrações muito baixas, da ordem de partes por bilhão (ppb), discernida em meio a uma mistura de outras substâncias e contaminantes, odoríferos ou não. Ao ser sensibilizado este sistema de detecção, um sinal é enviado através de nervos olfativos ao sistema Límbico, que não por coincidência é a parte mais primitiva do cérebro. Estudos sobre a evolução da espécie humana indicam que este sistema é comum a quase todos os mamíferos e destina-se a processar instantaneamente os sinais recebidos, de cunho emocional ligados a funções instintivas, processando e tomando decisões quase instantâneas visando garantir a sobrevivência do indivíduo e, por conseguinte, da própria espécie. Os sinais recebidos vão sem interrupção ao cérebro, entrando direto no subconsciente e disparando reações tanto fisiológicas quanto psicológicas. De fato este sentido primitivo foi sendo superado em importância e utilização, nos seres humanos, pelas habilidades ligadas à visão e audição, combinadas com o desenvolvimento do raciocínio. Mas isto não quer dizer que o sistema olfativo tenha sido desativado: apenas ficou mais encoberto e subliminar. Sendo assim, o sentido do cheiro pode afetar de forma intensa o comportamento das pessoas sem que elas percebam, chegando a causar reações inconscientes de calma ou agressividade, medo ou coragem, estímulo sexual e outras. Em função destes efeitos psicológicos, substâncias aromatizantes passaram a ser usadas para aumentar o apelo ao consumidor. SHREVE (1977:409) cita que as mercadorias perfumadas vendem muito mais

que as suas análogas inodoras, havendo o caso de uma companhia de seguros que aumentou rapidamente as vendas de apólices contra fogo simplesmente mediante a distribuição de livretos de anúncio tratados de modo a simular o cheiro acre de um edifício incendiado; sendo que a partir disso, quase todas as espécies de papel passaram a ser aromatizadas para aumentar o apelo às vendas. Em vista do exposto, constata-se que o tema em questão vai além dos incômodos eventualmente causados pelos odores, pois há outras influências ainda não bem conhecidas, mas que já tem existência comprovada.

Um maior conhecimento do funcionamento deste sentido humano só recentemente tem evoluído, havendo atualmente várias teorias diferentes, não totalmente comprovadas ou aceitas. Uma das dificuldades é que o estudo do olfato se faz necessariamente multidisciplinar, tendo sido reconhecido como um novo campo formal da ciência que foi denominado a partir de 1989 como Aromacologia. A primeira instituição nesta área foi fundada nos Estados Unidos em 1949 com a denominação de Fragrance Research Foundation e tinha finalidades práticas ligadas à indústria de cosméticos. Com a evolução das pesquisas, foi transformada em 1982 no Olfactory Research Foundation, ampliando seus objetivos. Finalmente, em 2001 deu origem ao atual The Sense of Smell Institute, que procura concentrar todo o conhecimento já disponível e que publica semestralmente a “Aromacology Review” divulgando as principais pesquisas médicas, biológicas, de neurociências, etc. A Aromaterapia, que já existia desde a antiguidade para aplicações medicinais destes conhecimentos, passou a ser um desdobramento da Aromacologia e reconhecida como ciência. No momento, um dos trabalhos mais divulgados é a sua aplicação no Memorial Sloan-Kettering Cancer Center na redução da ansiedade dos pacientes, substituindo os tranqüilizantes usuais. A primeira obra que surgiu nesta área, de cunho realmente científico, foi “Les grandes possibilites par les matieres odoriferantes”, do Dr. Chabenes em 1838. Já no século XX tiveram bastante divulgação os trabalhos de Marquerite Maury (1895-1968) e o livro “Aromatherapie” de Jean Valnet, da Societe Française de Phytoteraphie, em 1964. No Brasil, Sonia Corazza destaca-se entre os estudiosos da nova ciência, tendo produzido em 2002 o primeiro livro nesta área, intitulado “Aromacologia: uma ciência de muitos cheiros”, destacando-a como uma especialista reconhecida mundialmente.

### **2.3 A fisiologia básica do sistema olfativo**

Uma das teorias existentes explica, de maneira simplificada, que os sinais detectados no epitélio olfativo dependem dos cílios e do muco naquela área, fazendo com que a resposta seja influenciada pela temperatura e umidade, bem como pela atividade da enzima Adenil

Ciclastase que parece ter um papel chave no processo. O epitélio olfativo fica próximo à base do nariz e cada narina tem seu próprio sistema independente da outra. A corrente de ar aspirado permite que moléculas dos contaminantes sejam absorvidas pelo muco da membrana olfativa e as que são odoríferas interagem com os quimio-sensores, que são elementos sensoriais dos cílios, pequenas estruturas similares a cabelos presos à superfície de determinadas células, capazes de enviar um sinal característico ao cérebro através de uma das vias do nervo trigêmeo. Este sinal é processado simultaneamente em dois níveis distintos: subconsciente e consciente. O processamento subconsciente é extremamente mais rápido e está ligado a atividades instintivas que surgiram no cérebro animal no início da evolução, muito antes de serem desenvolvidas a visão e a audição.

Os estudos indicam que há algumas características comuns às substâncias odoríferas:

- Hidrosolubilidade: facilidade em solubilizar-se na água;
- Boa pressão de vapor: tende a evaporar com facilidade;
- Lipofilicidade: capacidade de dissolver-se em gorduras;
- Baixa massa molar: fator relacionado com baixa densidade e alta volatilidade.

Demole e Wuest garantem em artigo publicado em 1967, citado por CORAZZA, que espécies químicas com peso molecular acima de 294 g/mol são decididamente sem odor. Estudos de Cometto-Muniz e Cain em 1993, citados por HEINSOHN (1985), indicam que as substâncias odoríferas tendem a ter baixa pressão de vapor, sendo que álcoois e acetatos têm limiar de odor que decresce com o aumento do comprimento da cadeia carbônica e limiar de pungência que decresce exponencialmente com o aumento desta cadeia.

Entretanto, outras características físico-químicas não garantem tendências ou coerência, como por exemplo o fato de que moléculas com estrutura química muito semelhante podem ter odores muito distintos. A questão se complica bastante devido às variabilidades e incertezas do principal sensor disponível até o momento: o olfato humano. Estima-se que o ser humano consegue distinguir cerca de 10.000 cheiros diferentes, o que caracteriza uma capacidade surpreendente. O sentido do paladar tem uma ligação muito estreita como o olfato, porém só é possível distinguir cerca de 5 gostos diferentes, sendo que na realidade é o olfato que proporciona uma sensação de maior variedade ao que parece ser paladar. Por outro lado, segundo CORAZZA, a sensibilidade do aparelho olfativo humano consegue perceber concentrações até da ordem de atogramas ( $10^{-18}$  gramas) enquanto os equipamentos de medição existentes detectam somente até fentogramas ( $10^{-15}$  gramas). Em pesquisas já se constatou a detecção de odores originados por concentrações da ordem de partes por trilhão (ppt). A sensibilidade humana é proporcionada por um sistema do qual fazem parte cerca de 100 milhões de células olfativas e 5 milhões de nervos olfativos. É uma



capacidade fantástica, mas mesmo assim inferior a de muitos animais, como é o caso do cão, que tem 20 vezes mais células e nervos que o homem, e cuja grande aptidão neste sentido é amplamente comprovada e utilizada.

De qualquer modo, pesquisas recentes indicam que o ser humano tem uma sensibilidade surpreendente, ainda maior do que se supunha. A partir da década de 70, Martha McClintok da Universidade de Chicago estudou a sincronia da menstruação em mulheres que convivem juntas, depois anunciou a descoberta de dois hormônios humanos ligados à atração sexual pelo odor: os feromônios, e sua ligação com a sincronia menstrual. A primeira evidência de resposta humana a feromônios surgiu numa pesquisa realizada na Universidade Huddinge, conforme estudo publicado no periódico *Neuron* em 30/08/2001 (GRAHAM, 2001). Em mamíferos inferiores já foi amplamente documentada a comunicação entre membros da mesma espécie, através da emissão de compostos voláteis específicos, cuja secreção por um indivíduo evoca uma resposta comportamental ou fisiológica no outro. Nesta pesquisa as reações cerebrais de homens e mulheres que cheiraram hormônios testosterona e estrógeno sintéticos foram acompanhadas por tomografia PET e constatado aumento do fluxo sanguíneo ao hipotálamo, que é comprovadamente a região detectora nos mamíferos inferiores. Mais recentemente, em pesquisa publicada em fevereiro de 2002 na *Nature Genetics* <[www.nature.com/ng](http://www.nature.com/ng)> McClintock afirma que “as mulheres podem realmente farejar diferenças genéticas, às vezes tão pequenas quanto um único gene”. É interessante observar que nas suas conclusões ficou em aberto a hipótese de que exposições ambientais a odores, eventualmente como poluentes, possam também afetar o padrão de comportamento humano observado nesta pesquisa.

Aproveitando os novos conhecimentos nesta área, infelizmente, já há usos em tecnologia para fins bélicos. O Pentágono anunciou o desenvolvimento de uma “bomba do mau cheiro”, numa pesquisa chefiada pela psicóloga Pamela Dalton, do Monell Chemical Senses Centre, de Filadélfia-USA, reconhecida autoridade na área, segundo declarações à revista *New Scientist* em 2001 (CAMPBELL). Foram isolados dois odores específicos que ativam uma reação de medo que chega a causar pânico nas pessoas afetadas. Estes dois odores foram escolhidos de modo a garantir que pessoas de qualquer classe ou origem étnica sejam afetadas. Isto lembra um estratagema usado por manifestantes nas ruas: jogar fezes de leão, recolhidas em zoológicos, nos cavalos dos policiais. Os cavalos entram em pânico com o cheiro dos predadores, numa reação atávica, mesmo sem nunca terem visto um leão. Uma explicação poderia ser baseada em HERTZ (2002): é que os bulbos olfativos são parte do sistema límbico e diretamente conectados com as estruturas límbicas que processam as emoções (a amígdala) e também o aprendizado associativo (o hipocampo), numa indicação de

base neurológica do porque odores dispararam conexões emocionais. No começo da evolução que gerou a espécie humana só havia o olfato, em função da conservação da espécie: para procurar o que era bom (comida) e fugir do mau (predadores). Como o sistema límbico cresceu a partir daquele sistema olfativo, a dicotomia entre bom (sobrevivência, amor, reprodução) e mau (perigo, morte, fracasso) reflete o sensoriamento químico, fazendo com que o emocional possa ser uma versão do que o olfato informa ao organismo num nível primitivo.

A complexidade e as implicações do senso de olfato humano são impressionantes e em função disso as pesquisas são muito difíceis. É por isso que o conhecimento nesta área se encontra ainda relativamente pouco desenvolvido apesar de tantos trabalhos de pesquisa.

## **2.4 Contaminantes químicos em baixas concentrações: odores**

Atualmente já está amplamente aceito que as pessoas expostas a concentrações de poluentes químicos consideradas baixas ou muito baixas não estão isentas de riscos à saúde que podem, em alguns casos, chegar a ser graves. A discussão está centrada agora em se estabelecer se a origem dos efeitos é psicológica ou fisiológica. A questão foi levantada a partir das emissões de substâncias odoríferas porque as pessoas afetadas tinham uma melhor percepção de causa e efeito, relacionando os problemas que passaram a ter com a presença de substância química, denunciada pelo seu odor. (ver 2.4.2)

Segundo ZIEM(1992), o National Research Council estimou que apenas 2% dos cerca de 60.000 substâncias químicas comumente produzidas na atualidade foram adequadamente estudadas quanto a efeitos tóxicos, geralmente usando cobaias: quase não há dados sobre efeitos em seres humanos. Além disso, a análise dos efeitos das combinações de exposições – como geralmente acontece na realidade – só foram feitos em raros casos. Poucas substâncias foram avaliadas quanto a efeitos crônicos de exposições a baixas concentrações, muito raramente testando efeitos neurológicos, neuro-comportamentais, e sobre os sistemas imunológico e endócrino, reprodutivo e até mesmo pulmonar.

Enquanto a produção de substâncias orgânicas sintéticas (principalmente da petroquímica e da carboquímica) aumentou dez vezes entre 1950 e 1980, registros de doenças relacionadas com exposições a baixas concentrações também parecem ter aumentado (ZIEM, 1992).apesar de que dados abrangentes e adequados para uma conclusão estejam faltando. Os médicos ficaram num dilema. Embora a literatura demonstre que danos a saúde por exposição a concentrações abaixo dos TLV's não são incomuns, os cientistas raramente sabem qual o nível de exposição necessário para um determinado efeito tóxico. Faltam mais pesquisas sobre

os efeitos crônicos e não há interesse da parte das indústrias em fazê-las: elas são caras, demoradas e em muitos casos poderá haver, ao final, mais problemas do que soluções. De qualquer forma, há evidências de que os limites de concentrações considerados seguros foram fortemente influenciados por interesses econômicos. ZAGRANISKI (Departamento de Saúde de N. Jersey, 1988) citado por ZIEM, extrapola estudos sobre efeitos crônicos em animais e freqüentemente encontrou que os limites seguros (níveis de não-efeitos) eram cerca de 1.000 vezes menores do que os níveis de exposição ocupacional correntemente adotados. Distorções podem acontecer ao se aplicar fatores de incerteza para calcular a dose segura aos seres humanos, estimando as diferenças entre animais de laboratório e o homem, bem como diferenças entre indivíduos (a dose segura para humanos geralmente fica entre 0.01 e 0.001 da dose considerada segura para as cobaias). Portanto, há indícios de que, em muitos casos, o que se considera como “baixa concentração” não é na realidade suficientemente baixa nem efetivamente segura.

#### **2.4.1 Considerações sobre os Limites de Tolerância**

Um dos conceitos básicos em Toxicologia é o de dose-resposta, ou seja, os efeitos observados são proporcionais à dose aplicada. Entretanto, uma mesma dose não causa exatamente os mesmos efeitos em todos os organismos, encontrando-se alguns indivíduos que são mais sensíveis a produtos químicos do que os demais. Isto é um fator que complica estudos de impacto e a determinação de níveis de exposição segura, mas que pode ser levado em conta mediante adoção de alguns critérios e recursos estatísticos. Os chamados Limites de Tolerância, conforme Norma Regulamentadora nº15 do Ministério do Trabalho e Emprego (NR-15 “Atividades e operações insalubres”) são os limites permissíveis de exposição, que são estabelecidos com a finalidade de garantir a proteção dos trabalhadores expostos, de tal modo que durante toda a sua vida laboral não sofram efeitos adversos a sua saúde. Estes limites de referência representam um instrumento fundamental para o controle das contaminações dos ambientes, porque permitem uma comparação com os resultados das avaliações quantitativas de monitoramentos de campo, servindo como guias para a prevenção. São baseados nas melhores informações disponíveis tanto da experiência industrial como de testes e pesquisas, não sendo portanto valores absolutos pois estão sujeitos a atualizações. A principal fonte de referência, reconhecida mundialmente, é a listagem de TLVs (threshold limit values ou valores limites de entrada) publicada anualmente pela ACGIH- American Conference of Governmental Industrial Hygienists. No Brasil, a Portaria 491 de 16/09/1965 estabelecia apenas critério qualitativo (tipo do contaminante) para avaliar insalubridade. A

partir de 1978, com a Portaria 3214/78 foram fixados limites de tolerância para as 204 substâncias químicas listadas nos Anexos 11, 12 e 13 da NR-15. É importante observar que estes valores foram estabelecidos tendo em vista os trabalhadores expostos diretamente, sendo considerada pela ACGIH uma jornada de trabalho semanal de 5 dias de 8 horas e pela NR-15 valores ligeiramente menores, corrigidos para uma jornada de 44 horas semanais. Isto quer dizer que moradores de comunidades vizinhas a indústrias podem eventualmente estar expostos por mais tempo, o que exigiria valores limites ainda menores para serem comparados com as medições de monitoramentos. Estes valores limites dependeriam do tempo efetivo de exposição das pessoas da vizinhança, que pode em muitos casos ser bem maior do que as jornadas de trabalho dentro da fábrica considerada. Por este motivo, e outros similares, é que há normas, como a da União Soviética, que tomam como base uma exposição permanente, bem maior do que apenas uma jornada de trabalho. Este é um critério que seria recomendável utilizar para determinar os limites de tolerância para as populações vizinhas às emissões de poluentes atmosféricos.

É muito importante mencionar que tem havido inúmeros questionamentos aos critérios e procedimentos que estabeleceram os TLVs da ACGIH, que servem de referência para quase todos os países. Na definição da ACGIH “valores limites TLVs se referem a concentrações das substâncias no ar ambiente e representam condições nas quais se acredita que quase todos os trabalhadores podem ser repetidamente expostos dia após dia sem efeitos adversos” e numa conceituação complementar é esclarecido que “TLVs são recomendações levando em consideração a saúde, derivadas de conclusões sobre informações científicas publicadas, que foram disponibilizadas de estudos sobre exposição de seres humanos e de estudos em animais de laboratório, sendo que para cada TLV tem que haver documentação publicada, em suporte à recomendação”. ROACH(1990) foi um dos que fizeram análises detalhadas da documentação e que chegaram a conclusões alarmantes. Ele revisou todo o estudo a partir das fontes de referência citadas e concluiu que há uma correlação fraca dos TLVs com a ocorrência de efeitos adversos, sendo que apenas uma minoria de casos realmente não indicavam efeitos adversos. A análise se baseou na lista da ACGIH de 1986 com TLVs para 600 substâncias, dos quais só 127 eram baseados ao menos em parte em experiência com seres humanos expostos a concentrações iguais ou abaixo ao TLV, sendo que apenas 29 destes eram baseados em estudos e pesquisas com dados considerados claros e completos. Verificou-se casos em que chegou a haver efeitos adversos em até 100% das pessoas expostas em concentrações abaixo do respectivo TLV recomendado. Constatou-se que, no geral, uma em cada 6 ou 7 pessoas expostas a níveis iguais ou inferiores ao TLV foram adversamente afetadas. Isso contradiz as definições da própria ACGIH e frustra os objetivos dos TLVs.

Além disso, foi observado que em muitos casos (nos quais os pesquisadores da documentação de base detectaram efeitos adversos em concentrações mais baixas) o comitê da ACGIH tinha preferido argumentar contra as pesquisas, justificando a adoção de TLVs mais altos com base na “experiência industrial”. ROACH conclui na sua análise que, especialmente nestes casos, as considerações não foram de modo algum baseadas na saúde, mas sim nos níveis de concentração que eram percebidos na época como alcançáveis e viáveis para a indústria.

Esta é uma polêmica que tem levantado muitas discussões, com infundável argumentação, especialmente nos Estados Unidos que dispõem de mais dados levantados até agora. Surpreendentemente, percebe-se que um dos principais efeitos desta polêmica tem sido o de desacreditar os limites estabelecidos, como se nada valessem, o que não é verdade. Estes limites devem ser vistos como a melhor informação disponível no momento, tomando-se sempre que viável uma boa margem de segurança, pois a cada publicação anual da lista da ACGIH, novos valores mais restritivos têm sido estabelecidos.

Como consequência de tantos questionamentos, uma iniciativa importante, de caráter voluntário, foi estabelecida em 1999 pelo International Council of Chemical Associations, iniciativa esta apoiada pelas entidades correspondentes dos EUA, Europa e Japão, que se comprometeram a financiar pesquisas num valor de até US\$ 125 milhões, ao longo de cinco anos, com a finalidade de estudar os riscos reais e potenciais que os produtos químicos de uso comum podem acarretar à saúde humana, à vida selvagem e ao meio ambiente. Este programa foi denominado LRI- Long Range Research Initiative e tem um compromisso com a transparência e credibilidade das pesquisas, utilizando instituições de renome mundial, selecionadas através de métodos abertos via concorrências, com um sistema de julgamento dos trabalhos de caráter estritamente científico e publicação independente dos resultados serem favoráveis ou não à indústria. Trata-se de uma iniciativa ética e responsável, que poderá se somar aos esforços governamentais e de ONGs em benefício da vida.

#### **2.4.2 Riscos psicológicos e fisiológicos da exposição a odores industriais**

Na prática, os odores têm servido para ajudar a avaliar os efeitos das exposições a baixas concentrações de produtos químicos, pois ao sentir seu bem estar e condições de saúde serem afetados, as pessoas atingidas passaram a fazer uma relação de causa e efeito com o odor, o que tem chamado a atenção dos pesquisadores. Diversos estudos foram realizados com pessoas que moram próximo a refinarias de petróleo, indústrias químicas e notadamente aterros industriais, depósitos de resíduos perigosos e incineradores. Os odores incômodos

podem disparar somatizações e doenças de origem psicológica, mas trata-se de um problema real que compromete seriamente a qualidade de vida da maioria das pessoas afetadas. A regulamentação nos países mais desenvolvidos pode não ser ainda bem objetiva, mas a lei exige que sejam tomadas providências para melhoria e controle das emissões.

Ainda se sabe pouco sobre o assunto, mas há muitas linhas de pesquisa em desenvolvimento em função das indicações de que a poluição atmosférica com baixas concentrações de substâncias químicas pode ser mais séria do que parecia. Numa primeira fase dos estudos sobre a chamada Sensibilização Química Múltipla (MCS- multiple chemical sensitivity), os sintomas foram considerados como tendo origem psicológica, somatização em face de perigos supostos ou remotos, devido à ausência de mecanismos toxicológicos conhecidos. Atualmente há uma controvérsia sobre esta origem devido a novos fatos observados, que trazem evidências de um comprometimento também fisiológico. Ao longo da última década, diversos pesquisadores, partindo do estudo de casos diferentes, estão chegando à conclusão que parecem estar diante de um mesmo fenômeno, possivelmente responsável por doenças modernas como a Síndrome de Fadiga Crônica, Síndrome de Pânico e Doença Ambiental, como então eram chamadas: uma mesma causa com diferentes manifestações. A denominação convencional passou então a ser MCS, que a partir dos anos 90 tem sido objeto de muitas pesquisas e de algumas controvérsias, envolvendo o efeito BELLE (biological effect of low level exposures), e que passou a constituir o mais novo campo de estudos em Toxicologia.

Infelizmente o conhecimento sobre os efeitos a longo prazo da exposição a substâncias químicas em baixas concentrações é muito escasso. Nas conclusões de um estudo conjunto de revisão realizado no Institute of Occupational Medicine, em Edimburgo, patrocinado pelo UK Health and Safety Executive, é mencionado que “pesquisas recentes tem sugerido que certas substâncias químicas são capazes de penetrar diretamente em áreas do cérebro e provocar efeitos em doses muito menores do que é considerado possível até agora”; afirmando então que mais pesquisas são necessárias para se compreender o papel do sistema límbico em seres humanos (GRAVELING et al.,1999).

É preciso distinguir a MCS das alergias, pois não são fenômenos similares. Sabe-se que cerca de 10 a 20% da população tem propensão a desenvolver respostas alérgicas, mesmo quando em níveis relativamente baixos de exposição a produtos químicos <sup>1</sup>. Já está bem estabelecido, através de comprovações bem fundamentadas, que a alergia é um tipo particular de resposta em Toxicologia, mediada através do sistema imunológico, devido a uma predisposição genética. Tais reações podem ser identificadas através de medições da função do sistema imunológico.

Por sua vez, a MCS ainda não tem uma explicação que seja amplamente aceita, pois os paradoxos que apresenta tem iludido as tentativas de determinar seus mecanismos. O que já foi estabelecido são os fatores com potencial para fazer disparar o processo, bem como um conjunto de conseqüências associadas. Mas como o mecanismo psicofisiológico ainda não está claro a questão continua aberta à discussão. Os casos já registrados indicam que a MCS pode atingir cerca de 2% da população mundial (WINDER, 2002), sendo que STEVEN

---

<sup>1</sup> STEIN, M. **Role of odors in asthma.** Psychosom. Med. 20: 160-65, 1958.

BROWN, E. **The asthmogenic effect of odors, smells and fumes.** Ann. Allergy 12: 14-24, 1954.

(2001) estimou 6% nos EUA. Novos casos poderão ser constatados à medida que os profissionais da área médica forem ficando mais informados para poder fazer um diagnóstico. As conseqüências da MCS podem ser bem mais graves do que uma alergia, caracterizando-se por sintomas recorrentes, envolvendo múltiplos sistemas orgânicos em diferentes manifestações, que podem ser disparados por exposição a substâncias químicas em doses muito inferiores às que são conhecidas como limites seguros para a maioria da população, sendo que as substâncias não precisam ter nenhuma semelhança química.

Estas seqüelas tem potencial para levar à incapacitação do indivíduo para o trabalho e ao pagamento de indenizações, como já vem acontecendo desde 1979 quando houve o primeiro caso reconhecido pelos tribunais no Hawai (WINDER, 2002).

## 2.5 Medição de odores

Fazer medições e obter dados objetivos quantificados em problemas de odor não é simples nem rápido, pois no estado atual da prática somente no caso de gases muito perigosos e freqüentemente presentes num processo – como é comum com o gás sulfídrico H<sub>2</sub>S, presente em muitos processos industriais – é que costuma existir instrumentação específica, mais comumente sob a forma de alarme calibrado para um determinado limite. Os aparelhos portáteis, ou instrumentação de campo, capazes de efetuar medições em tempo real são em geral limitados a umas poucas espécies químicas e não conseguem ainda oferecer as sensibilidades necessárias. Além da dificuldade das medições, a interpretação dos dados e avaliação da situação estudada também é problemática, havendo ainda poucas referências ou procedimentos de aceitação geral.

Este tipo de medição só muito recentemente está se aproximando do ideal de se ter um aparelho que dê leituras objetivas e seja simples de manejar, apesar do grande esforço de pesquisa para desenvolvimento do chamado Nariz Eletrônico (ver 2.10). A execução de medições ainda requer muito conhecimento e precisa ser feita por especialistas. Ao lidar com odores é importante compreender que se trata de interações complexas que em geral não obedecem a leis de natureza exata. Assim, o limiar da percepção de uma substância não é uma constante que possa ser medida com a mesma confiança que o seu ponto de fusão, por exemplo. As teorias sobre detecção de sinais psicofísicos se encarregaram de demonstrar isso, a partir de GREEN<sup>2</sup> em livro publicado em 1966. Apesar disso, o tipo de processo que se

---

<sup>2</sup> GREEN, D., SWETS, J. **Signal Detection Theory and Psychophysics**. New York: John Wiley & Sons, 1966.

mostra mais prático e direto é mesmo usar-se o sistema olfativo humano, já que este geralmente será o critério final nesta questão. Foram desenvolvidos então os conceitos e práticas dos Painéis Humanos, ou seja, grupos de pessoas atuando como sensores. Podemos distinguir dois tipos: o Painel de Avaliação (ou Sensorial) para medir e avaliar odores em condições de laboratório e o Painel Olfativo para detectar e monitorar em situações práticas de campo.

O desenvolvimento de instrumentos e aparelhagem para medição de odores tem sido dificultado pelas complexidades da questão e por limitações tecnológicas. O relacionamento de concentrações medidas de poluentes químicos com a intensidade do odor percebido é um procedimento lógico, à medida que se cria tecnologia que permite maior sensibilidade e precisão, desde que as espécies químicas em questão sejam conhecidas. Um aspecto importante a ser também considerado é que, em geral, odores relevantes são misturas de compostos e não espécies químicas isoladas (CONE, 1991). As misturas implicam dificuldades adicionais, pois o efeito resultante é difícil de prever. BERGLUND (1974) e outros pesquisadores reportam que misturas de odores podem resultar em algum dos seguintes efeitos: independência, neutralização, adição, mascaramento ou sinergia. Estas pesquisas mostram que misturas homogêneas de odores podem ser modeladas como simples adição de vetores, entendendo-se como homogêneas as misturas que apresentam uma nova qualidade odorífica, de tal modo que seus constituintes individuais não são percebidos na mistura. Constatou-se também que a intensidade odorífica de misturas de 2 a 5 componentes de igual intensidade excede apenas ligeiramente a intensidade individual deles, ou seja: as intensidades dos componentes não costumam se somar frente ao sensoriamento de avaliadores. O fato dos



odores geralmente se apresentarem como misturas complexas de substâncias, frequentemente em baixíssimas concentrações, tende a tornar inviáveis as medições através da Química Analítica, a não ser em casos simples com o poluente principal já determinado.

Atualmente os diversos processos de medição de odores utilizando avaliadores humanos são conhecidos como Olfatometria e estão agrupados junto com outros processos de medição sensorial baseados na avaliação de Limiares de percepção (“thresholds”), que são usados para determinar o potencial de substâncias (em baixas concentrações) em proporcionar odor, sabor, sensações do contato com a pele, etc. a algum tipo de material. Isto é muito útil em diversas áreas, desde Tecnologia de alimentos, Indústria têxtil e Medicina, até estudos étnicos ou estudos sobre espécies animais, para avaliar ou comparar a sensibilidade de indivíduos ou grupos a determinados estímulos. Têm sido muito usados no desenvolvimento de novos produtos, em função da sofisticação e competição cada vez maior, o que leva a inovações como, por exemplo, a criteriosa odorização do papel usado na impressão de determinados tipos de materiais, com finalidades de marketing. Na Engenharia Ambiental as principais aplicações são na determinação de limites para poluição atmosférica, em tratamento de água e efluentes, na redução de ruídos, dentre outras. No caso das emissões industriais, os limiares de cada espécie química ou das misturas captadas nas chaminés servem para avaliar a intensidade de uma dada emissão, definindo-se intensidade como a resposta sensorial quantitativa proporcional à concentração, de acordo com a Lei de Weber-Fechner:

$$\text{Eq. 1} \quad S_i = K \log ( c_i )$$

onde  $S_i$  é a magnitude da resposta (intensidade),  $c_i$  é a concentração da substância e  $K$  é uma constante que depende principalmente da substância considerada, das temperaturas do ambiente e da substância, e da umidade relativa do ambiente onde se realiza a medição.

Diversos sistemas tem sido tentados para avaliar diretamente o “grau de desconforto” devido a perturbação causada em pessoas, que afinal é o que mais interessa ao tema deste trabalho. Um exemplo bem sucedido é o procedimento apresentado por SUCKER(2001) que sistematiza uma avaliação das reações de incômodo das pessoas afetadas. Vem sendo aceito como técnica válida e representativa da medição na Alemanha e pode ser usada em conjunto com os Guidelines<sup>3</sup> VDI 3940 (1993), 3883 (1997) e 3788 (2000) para caracterizar a exposição. A vantagem de medir o grau de desconforto é que, em última instância, este deveria ser o indicador da necessidade de controle da emissão considerada ou da verificação da eficiência do seu tratamento. Segundo a legislação alemã, a avaliação de um odor como incômodo pela população afetada e a freqüência de sua ocorrência são os fatores principais

para se decidir se o originador necessita instalar ou melhorar o tratamento de suas emissões. Já nos EUA a determinação da intensidade do odor é considerada fundamental, seja ela feita por painéis de avaliadores humanos ou por outros meios.

---

<sup>3</sup> VDI Guideline 3788 (2000) **Environmental Meteorology: Dispersion of odours in the atmosphere. Fundamental.** Dusseldorf: VDI Institute (German/English).

VDI Guideline 3883/Part 1 (1997) **Effects and assessment of Odours. Psychometric assessment of Odour Annoyance. Questionnaires.** Dusseldorf: VDI Institute (German/English).

VDI Guideline 3940 (1993) **Determination of odourants in ambient air by field inspection.** Dusseldorf: VDI Institute (German/English).

### **2.5.1 O “painel de avaliadores” como método básico para avaliar odores**

A finalidade destes painéis é realizar a Olfatometria, que pode ser realizada no campo junto à fonte de emissão ou em laboratório, mediante a coleta e preparo de amostras. O maior interesse, no caso dos odores incômodos em emissões industriais, é determinar o limiar de percepção (ver 2.5.2) relacionado a uma determinada concentração dos poluentes odoríferos. Apesar das variações individuais, grupos de pessoas apresentam respostas a avaliações de odores que podem ser quantificadas com significação estatística, o que foi aproveitado para estabelecer o procedimento que utiliza o Painel de Avaliadores, também chamado Painel Sensorial. Para ter validade estatística, as pessoas devem ser escolhidas de modo a refletir a sensibilidade da população considerada, com no mínimo 7 painelistas por painel.

O primeiro documento normativo sobre Olfatometria foi o método ASTM D1391: “Standard Method for Measurement of Odor in Atmospheres - Dilution Method” (Método Padrão para Medição de Odor em Atmosferas - Método da Diluição), conhecido como o método “seringa e diluição”. Foi estabelecido em 1957 e incluído no Manual on Sensory Testing Methods, ASTM Spec. Techn. Publ. nr. 434, em Maio de 1968. Passou por uma revisão em Junho de 1978 e finalmente desativado em 1986, pois em função da evolução do conhecimento e de novos procedimentos teria que ser totalmente refeito, com outros conceitos. Foi muito usado e ainda é aplicável no caso de fonte de odor única, em processos que possam ser considerados praticamente em condições de equilíbrio.

Ao longo deste período, diversas melhorias foram apresentadas para dar mais confiança e funcionalidade. HEMEON (1968) propôs um Método Dinâmico usando uma aparelhagem que ficou conhecida como Hemeon Odor Meter: facilitou a amostragem, o preparo dos estágios de diluição do odor com ar limpo e melhorou a forma de apresentação aos painelistas. A avaliação é iniciada a partir de uma diluição onde não é possível distinguir odor e a concentração vai sendo aumentada por um fator 3 (com ajuda da aparelhagem) gradativamente, até que todos acertem consistentemente a presença de odor. DRAVNIEKS (1975) desenvolveu um método dinâmico mais sofisticado, usando um procedimento que denominou “olfatometria de escolha forçada triangular”. Trata-se de apresentar aos avaliadores, em cada rodada, duas amostras de ar limpo e uma com o poluente, sendo que há obrigação de indicar em qual das três pode-se detectar odor. Sua base conceitual e estatística é mais sólida, credenciando-o para ser usado em pendências legais ou pesquisas científicas, porém requer mais manipulação dos dados e cálculos. A avaliação de uma amostra é rápida, citando-se menos de 15 minutos para um Painel de Avaliação com 9 painelistas em seis estágios de diluição. Para que se tenha um nível de confiança de 95% nas avaliações é necessário que pelo menos 6 painelistas tenham o mesmo parecer (cerca de 70% deles) e para 99% é necessário 7 painelistas (80%). DRAVNIEKS trabalhou no Odor Sciences Center, em Chicago, e foi um dos pioneiros na pesquisa e medição de odores, dando uma importante contribuição nesta área.

Atualmente, o mais prático é o procedimento ASTM E 679-91 (reaprovado em 1997) “Determination of Odor and Taste Thresholds by a Forced-Choice Ascending Concentration Series Method of Limits”, que aproveitou todo o conhecimento desenvolvido até então. Este tipo de painel serve para avaliações rápidas, incluindo o paladar, para determinar limiares sensoriais de qualquer substância em qualquer meio. Trabalhos científicos específicos com mais rigor podem se basear na prática ASTM E 1432, também do Annual Book of ASTM Standards, Vol. 15.07, e se for odor em água deve-se usar o D 1292.

Na bibliografia anexa há fontes de consulta suficientes para aprofundamento sobre Painéis de Sensores Humanos, não sendo escopo do presente trabalho entrar em mais detalhes.

### **2.5.2 Critérios para determinar limiar, intensidade e outros indicadores**

Para um estudo metódico do assunto é necessário definir alguns conceitos, pois as grandezas envolvidas dificilmente permitirão qualquer mensuração objetiva ou em alguma escala absoluta. As melhores referências para isto são as definições das terminologias e glossário que aparecem nas normas em vigor.

Para caracterização completa de um odor é necessário determinar vários fatores:

**Quadro 1:** Fatores essenciais para caracterização de odores

Fator	Descrição
Caráter	Associações mentais feitas pelo sujeito ao sentir o odor, comparando com outros odores de grupos conhecidos (bastante subjetivo).
Intensidade	Resposta quantitativa proporcional à concentração, que pode ser calculada pelas diluições necessárias até se atingir o limiar olfativo, o fator de diluição sendo utilizado para o cálculo.
Agradabilidade	A percepção relativamente agradável ou desagradável que o odor evoca no sujeito, podendo variar bastante entre as pessoas.
Detectabilidade	Maior ou menor sensibilidade do senso olfativo quando exposto a baixas concentrações, que pode ser avaliada pelo Índice de Odor.

Fonte: Adaptado de Metcalf & Eddy, “Wastewater Engineering”, 1991.

O conceito de principal interesse em Olfatometria é o de intensidade (ou força) do odor. A unidade mais tradicional é conhecida como ‘*unidade de odor*’, definida pela ASTM como a razão entre o volume de ar limpo necessário para diluir cada volume de efluente contaminado. Traduzindo de outra forma talvez mais inteligível, BENFORADO(1969) dá o exemplo de uma chaminé que tem uma intensidade de odor de 2000 unidades de odor, o que significa que seriam necessários 2000 volumes de ar limpo para misturar com cada unidade de volume do gás da chaminé, de tal modo que então se atingiria o limiar de detecção no qual 50% das pessoas não seriam capazes de detectar, num painel sensorial, nenhum sinal de odor na amostra.

Define-se como ‘*limite de detecção*’ (*LD*) a concentração mínima capaz de produzir uma mudança perceptível aos avaliadores, após a introdução da substância em questão. Tradicionalmente se adota o chamado  $LD_{50}$  que é o ‘limiar de detecção ao nível de 50%’, que indica o limiar de detecção obtido em experimento dinâmico, quando 50% do grupo de painelistas acusa a percepção do odor, ao nível de confiabilidade de 0,5. O processo de determinação do LD é descrito na Prática Padrão ASTM E-679-91, amplamente utilizado.

O ‘*limiar absoluto*’ (*LA*) é quando o primeiro painalista detecta a presença do odor, em rodadas seguidas de teste, partindo-se das concentrações mais diluídas e aumentando a concentração.

O ‘*limiar de reconhecimento*’ (*LR*) é caracterizado pela concentração mínima na qual um odor pode ser reconhecido ou descrito por painelistas treinados, o que em geral ocorre a partir de concentrações bem superiores ao limite de detecção. RUTH(1986) reportou pesquisas que indicaram que o LR a 100% (reconhecido pela totalidade dos painelistas) é aproximadamente de 2 a 10 vezes maior que o LA, num mesmo ensaio, dependendo principalmente da natureza

química da substância envolvida. A prática tem demonstrado que o  $LR_{100}$  é o parâmetro mais confiável dentre os utilizados, pois acima dele as respostas dos painelistas são todas 100% consistentes.

**Quadro 2:** Caracterização dos odores relacionados a algumas substâncias conhecidas

Composto	Odor	Composto	Odor
Aminas	Cheiro de peixe	Metil Mercaptanas	Repolho podre
Acetatos	Doce, frutado	Etil Mercaptanas	Repolho podre
Aldeídos	De doce a pungente	Butil Mercaptanas	Cheiro de gambá
Diaminas	Carne podre	Sulfeto de Hidrogênio	Ovo podre
Escatol	Matéria fecal	Sulfetos Orgânicos	Repolho podre

Fonte: HEINSOHN (1985)

Para avaliar a capacidade de uma substância em provocar odores foi estabelecido o *índice de odor* que é determinado pela relação entre a volatilidade (pressão de vapor, em ppm v/v) e o  $LR_{100}$  limite de reconhecimento por 100% dos observadores. A pressão de vapor em mmHg a 25°C deve ser multiplicada por 1316 (1.000.000 ppm por 760mmHg) para ser expressa em ppm v/v. Este índice leva em conta a relação entre a força que faz com que o odor se espalhe pelo ar e a sua capacidade para evocar uma resposta olfativa, dando uma informação sobre sua potencialidade para causar problemas no entorno do ponto de geração. A faixa de valores já tabelados vai de  $IO = 1.052.000.000$  para o isopropilmercaptano até 0,2 para o anidrido maleico, considerando como referência uma temperatura de 25°C (TORREIRA, 1999). Casos específicos devem ser avaliados considerando a temperatura respectiva.

Um indicador que também pode ser útil é o '*fator de segurança odorífero*' proposto por AMOORE (1983) obtido pela relação entre a concentração considerada segura (limite de tolerância LT ou TLV) e o limiar olfativo para a substância considerada. As conclusões da pesquisa indicam a seguinte classificação quanto às propriedades de alerta pelo odor:

**Tabela 1:** Classificação quanto ao fator de segurança odorífero (FSO)

Classe	FSO	Interpretação do alarme pelo odor
A	> 550	Mais de 90% de pessoas desatentas percebem aproximação do TLV
B	26 – 550	50-90% de pessoas desatentas percebem alarme de proximidade do TLV
C	1 – 26	Menos de 50% de pessoas desatentas conseguem perceber o alarme
D	0,18 – 1	10-50% de pessoas atentas podem detectar aproximação ao TLV

---

E	< 0,18	Menos de 10% da pessoas conseguem perceber, mesmo estando atentas
---	--------	---

---

Fonte: AMOORE, 1983.

### 2.5.3 O “painel olfativo” como recurso para monitoramento

O objetivo deste tipo de painel não é medir, comparar nem classificar, mas fazer um monitoramento através de sensores humanos para simplesmente detectar e reportar as emissões que causam impactos. Este recurso já tem sido usado por várias empresas no Brasil como importante ajuda para identificar e controlar problemas com emissões atmosféricas. Há pequenas diferenças de procedimento mas os conceitos básicos destes Painéis são iguais. Dentre as empresas que adotam um procedimento formal deste tipo, contatadas para este trabalho, pode-se citar a Rhodia, Riocell, BASF, Fras-le, Kodak, e muitas outras que adotam procedimento semelhante, porém mais informal como no estudo de caso do capítulo 5. Nos anexos são mostrados formulários e procedimentos da Fras-le, que em 2 anos conseguiu bons resultados no controle de suas emissões e no relacionamento com os vizinhos. É um exemplo de que, para ter sucesso, é preciso que seja tudo planejado e organizado como um programa de longo prazo e não apenas ações isoladas.

A Rhodia é também um bom exemplo, aproveitando sua longa experiência internacional. Tem um Painel Olfativo que começou a atuar em 1993, o que coincidiu com novos recursos de modelagem computacional que confirmaram que havia impacto de emissões de Cumeno fora dos limites da planta, atingindo com frequência Paulínia, a 8 Km de distância. Algum tempo depois, houve um episódio em que chegou a atingir o centro de Campinas, a 25 Km da fábrica. Os trabalhos de melhoria, com ajuda do Painel, já começaram a mostrar resultados claros em 1997, sendo que em 2001/2002 não houve nenhuma notificação relevante por parte dos painelistas, que até então eram empregados voluntários e suas famílias. Até hoje já participaram do Painel 170 empregados de um total de 1050, e isto também é útil para conscientizar e tornar os operadores alertas para com os problemas. Em 2003 foi aprofundado o relacionamento com os moradores de um bairro da cidade, cadastrando e treinando 17 voluntários dentre 310 famílias, para realizar monitoramento nos meses de inverno: Junho, Julho e Agosto, quando há maior incidência de reclamações. Os painelistas passam a receber mala direta da empresa, tem acesso a um Telefone Verde especial para avisar ocorrências e devem também efetuar seus registros num formulário próprio, que é recolhido todo final de mês. No caso de qualquer ocorrência há um funcionário especial designado para fazer uma investigação, geralmente o próprio Gerente de Meio Ambiente, verificar sua procedência ou não, identificar as possíveis fontes e encaminhar providências corretivas. Uma das maiores

dificuldades enfrentadas neste programa é que outras empresas da área não adotam nenhum procedimento quanto aos seus próprios odores e preferem ignorar as reclamações. Em geral, a dificuldade é que muitos temem tomar a iniciativa de enfrentar o problema e depois ficar na berlinda como bode expiatório. Mas esta mentalidade terá que mudar e os Painéis Olfativos são uma excelente ferramenta, como parte de um melhor relacionamento com a vizinhança.

#### 2.5.4 Sensores e instrumentos para medição de odores

Há muitas dificuldades e sutilezas quando se trata de medir odores, tanto qualitativa como quantitativamente. Em princípio, uma forma objetiva de medir seria através das características químicas das substâncias odoríferas que são causadoras ou vetores. Neste caso, a primeira dificuldade é a necessidade de sensores e métodos capazes de detectar concentrações muito baixas, às vezes da ordem de ppb (partes por bilhão). É preciso também determinar qual é a substância causadora do odor, pois em geral a aparelhagem é específica para determinada substância. Além disso, freqüentemente trata-se de uma mistura de substâncias que pode apresentar metabólitos e características bastante complexas, inviabilizando os medidores usuais. Para se adequar às condições encontradas na prática, um bom medidor teria que ser capaz de medir diversas substâncias, ser portátil e fornecer leituras rápidas. Em muitas situações, um detector que se aproxime destas características já seria vantajoso, entendendo-se como detector um aparelho que não mede e sim acusa a presença de uma substância ou a ultrapassagem de uma concentração pré-calibrada, considerada como limite.

**Figura 1:** Sistema convencional para medição de gases em chaminés



Fonte: CETESB

A partir da década de 70 começaram a ser usados medidores que dão leituras em tempo real, instalados em linha com o processo que tenha potencial para causar emissões de odores ou instalados após sistemas de tratamento de gases. Isto permite monitorar a performance destes sistemas buscando garantir sua eficiência e confiabilidade. O aperfeiçoamento destes medidores tem tentado acompanhar as crescentes exigências regulatórias, já atingindo hoje, em muitas situações, as sensibilidades necessárias. Ainda há o inconveniente de serem limitados a poucas substâncias, e somente aplicáveis a processos contínuos onde se conheça bem a natureza das substâncias presentes. Atualmente há muitas opções disponíveis no mercado. A Control Instruments Corp. de New Jersey fornece sistemas para detecção de gases e monitoramento de difusão em áreas, em ambiente fechado ou aberto, chamado SmartMaxII podendo utilizar sensores Catalíticos ou a Infravermelho para detectar gases inflamáveis e sensores Eletroquímicos ou de Estado Sólido para monitorar gases tóxicos. São pequenos, relativamente baratos, calibração simples, com capacidade para interagir com sistemas de controle para dar alarme em 3 níveis, até parar o processo, além de terem auto-verificação que sinaliza ao operador se houver descalibração ou problemas operacionais. Para gás sulfídrico a faixa de detecção é 0-50 ppm com precisão  $\pm 2$ ppm, com tempo de resposta 35 segundos a 50% da escala. Fonte: <sales@controlinstruments.com>

Para controle de processo, uma opção moderna é oferecida pela Zellweger Analytics Inc. com o seu CM4 Toxic Gas Monitor, muito flexível e que permite inúmeras interfaces. A unidade permite monitoramento contínuo em 4 pontos a 90 metros de distância e é capaz de detectar mais de 25 substâncias diferentes. A tecnologia de detecção é chamada Chemcassette e se baseia na interação da amostra do gás com uma fita de papel com impregnação química, resultando em mudança de cor que é então analisada. Para gás sulfídrico oferece duas faixas de detecção: 0,5-100ppm ou 8-2000 ppb com tempo de resposta 30 segundos a 500ppb. Fonte: <www.zelana.com> acessado em Jun/2003.

MORANO(1996) apresentou um sistema de medição robusto, que opera on-line em tempo real, medindo a concentração de  $H_2S$  nos gases de um Lavador multi-estágios para monitorar as emissões e ao mesmo tempo controlar a dosagem de reagentes. Foi obtido 50% de economia e uma eficiência de remoção consistentemente mantida abaixo de 1ppm.

Para realizar Olfatometria existem disponíveis aparelhagens que já fazem as diluições com ar puro, facilitando e agilizando os procedimentos. Uma boa referência é o St. Croix Sensory Inc. que oferece um equipamento de laboratório completo para o procedimento ASTM E 679-91 já fornecido a inúmeras instituições, bem como um Olfatômetro de campo chamado Nasal



Ranger (patenteado, ver Anexo VI). Este instrumento portátil (900 gramas, 36x19x10 cm) permite detectar e medir odores no local através do procedimento de diluição até o limiar (dilution to threshold, D/T) com acurácia de  $\pm 10\%$  possibilitando uma repetibilidade de  $\pm 2\%$  em poucos segundos para cada medição. Permite taxa de inalação de 16 a 20 litros por minuto, dispõe de filtro de carvão ativado que, através de controle eletrônico de vazão, fornece diluições de 2, 4, 7, 15, 30 e 60 D/Ts. Custa US\$150 e pode ter inúmeras utilizações, como: monitorar operações diariamente, comparar práticas operacionais, documentar ocorrências, monitorar conformidade com licenças ou regulamentações, medir eficiência em sistemas de tratamento de odores, verificar dispersão real e comparar com modelagens, investigação de reclamações, priorização de fontes emissoras, etc. Uma vantagem importante é que o Olfatometro de campo pode ser usado para ganhar mais confiabilidade nas verificações junto com a comunidade afetada e nas verificações junto com o órgão fiscalizador. Fontes: <[www.fivesenses.com](http://www.fivesenses.com)> e <[www.NasalRanger.com](http://www.NasalRanger.com)> acesso: Set/2003.

### **2.5.5 Limitações da percepção olfativa e da medição**

Segundo ROBBINS(2002), a sensibilidade das pessoas varia muito, com cerca de 96% da população apresentando o que se considera como um sentido de olfato normal, sendo o restante insensível ou supersensível a odores. A anosmia total apresenta uma incidência de um indivíduo em cada 500, sendo que há um decréscimo marcante da capacidade olfativa com o envelhecimento que atinge cerca de metade das pessoas entre 65 e 80 anos de idade (DOTY, 1994). As pesquisas também mostraram que, enquanto uma pessoa normal consegue perceber um determinado odor, somente algumas poucas conseguem identificá-lo ou compará-lo com algum outro (HEINSOHN, 1985).

As pessoas tendem a se acostumar, ou a terem sua capacidade de percepção amortecida, mesmo nos casos em que consideram o odor como desagradável. Neste caso, o cheiro volta a ser percebido se o estímulo for interrompido por tempo suficiente ou ocorrer uma mudança sensível na sua concentração. Por isto, os membros de um painel não devem realizar avaliações por períodos contínuos que ultrapassem 30 minutos de cada vez, e caso precisem continuar deve haver um período de descanso equivalente.

Fenômeno de amortecimento olfativo: um estudo específico sobre odorização de gás GLP foi apresentado por CAIN<sup>4</sup> em 1985, no qual ele demonstra que o uso de Etil Mercaptana não é adequado para esta finalidade. Ao ser exposto a esta substância o sistema olfativo realiza uma adaptação muito rápida e logo vai perdendo a sensibilidade: isto reduz as propriedades de alarme deste odorizador em pouco tempo. No caso do gás sulfídrico a fadiga olfatória ocorre

em 2 a 15 minutos para concentrações de 100ppm (superior ao seu TLV), e como existiria até risco de vida, não se pode confiar no olfato como medida de alarme neste caso.

A resposta olfativa aos estímulos não costuma ser linear com a concentração. Mesmo depois de detectado, costuma ser necessário um aumento de 30 a 60% na concentração antes que um painel de avaliadores seja capaz de identificar consistentemente que uma concentração maior está presente. A norma ASTM E 679-91 recomenda que em cada estágio de avaliação a concentração do odor seja pelo menos dobrada: na prática o mais comum é utilizar-se uma concentração 3 vezes maior. Isto garante que os painelistas terão uma amostra claramente mais concentrada, evitando esta causa potencial de erros.

Apesar das respostas olfativas não serem muito lineares, há casos em que os desvios se apresentam acentuadamente erráticos, geralmente em função dos efeitos de determinadas substâncias presentes na mistura de odores. Há casos, por exemplo, como os aldeídos e formaldeídos (MILLS, 1963) que afetam a sensibilidade olfativa muito rapidamente, ou então que induzem respostas olfativas anômalas, p. ex. alguns compostos de enxofre como t-butil mercaptana que faz com que muitos painelistas indiquem um LD significativamente maior do que o esperado. Portanto, levar em conta a natureza das substâncias em questão é importante.

---

<sup>4</sup>CAIN, W. **A smell of danger: an analysis of LP-gas odorization.** Am. Ind. Hyg. Assoc. 46:115-126 (1985).

A perda de sensibilidade olfativa também ocorre após exposição a um odor de grande intensidade: o sistema olfativo retém a sensação durante algum tempo e se torna difícil distinguir outros odores, especialmente se forem mais fracos (MILLS, 1963). Por isso é que todos os procedimentos de Olfatometria atuais partem de concentrações bem baixas (inodoras) para as mais altas, ao apresentar os diversos estágios aos painelistas. No caso de reclamações, é preciso cuidado com as informações sobre duração do fenômeno, porque se a exposição foi intensa (pico) haverá uma tendência de achar que a duração foi maior do que o seu tempo real, e isso dificulta a investigação das possíveis causas.

Ao utilizar Painéis Humanos, a escolha e o treinamento dos painelistas pode ter grande influência nos resultados. A escolha pode ser feita em função de duas finalidades principais: se o painel é para pesquisa ou para ajudar a controlar um problema específico de incômodo. No primeiro caso, a seleção deve ser feita com determinados critérios, como por exemplo o Procedimento Padrão para Testar Sensitividade Odorífera Individual, utilizado pelo St. CROIX SENSORY, Inc. Já no segundo caso, é recomendável tentar garantir que o painel seja o mais representativo possível da população em questão, apenas fazendo um teste simples para eliminar indivíduos com anosmia ou outros desvios relevantes em relação à normalidade,

sendo um bom exemplo o procedimento de BENFORADO (1969): essências de baunilha e de hortelã, num diluente inodoro como benzil benzoato em proporções 1/20, 1/40 e 1/80 em peso, distribuídas em 3 grupos de amostras, um para cada concentração, sendo cada grupo com 2 frascos de uma essência e 1 da outra. Os candidatos tinham que acertar qual era a essência diferente em cada grupo, pelo menos 4 vezes em 6 tentativas cheirando agrupamentos diferentes.

No caso de pesquisa, dependendo do tipo de trabalho a ser desenvolvido, um treinamento específico poderá ser necessário para assegurar resultados mais confiáveis, pois pequenos detalhes podem ter influência. Por exemplo, cheirar com pequenas aspirações dá mais confiabilidade do que uma aspiração constante, etc.

## **2.6 Utilização de odores na indústria visando segurança e saúde**

Entre os mamíferos os odores servem de recurso para localizar alimento de modo a garantir a sobrevivência, servem para comunicação, provocando repulsão ou atração (para reprodução, p. ex.), bem como para alerta contra perigos, como um alimento deteriorado, ou um inimigo ameaçador que se aproxima. Baseado nisso, um recurso tradicionalmente utilizado para proteger as pessoas contra a exposição a gases tóxicos é odorizá-los fortemente através da adição de substâncias próprias para este fim. É o caso do GLP (gás liquefeito de petróleo), mistura de butano e propano de uso predominantemente doméstico para cozinhar, que é odorizado para servir de alerta contra vazamentos e para torná-lo desagradável, ajudando a prevenir riscos de explosão e incêndio, intoxicação e até mortes. Um estudo específico sobre esta aplicação foi apresentado por CAIN<sup>4</sup> em 1985, citado aqui anteriormente.

Analisar e identificar os odores de substâncias potencialmente nocivas, eventualmente presentes numa planta industrial, pode ser útil como medida preventiva de segurança. Os trabalhadores podem ser orientados e treinados para identificar determinados odores e dar o alarme caso detectem sua presença. Podem também ajudar no monitoramento de emissões fugitivas e fazer parte de um Painel Olfativo para monitoramento externo (ver itens 2.5.3 e 2.8.3). Vários estudos foram desenvolvidos para servir de referência, com esta finalidade, destacando-se o de AMOORE publicado em 1983. Entretanto, a efetividade desta abordagem fica um pouco limitada pela variação irregular entre TLV e limiar de percepção de odor de boa parte das substâncias. Tomando como referência uma listagem de 160 substâncias levantadas por HEINSOHN (1985), foi constatado que 55% tem valores TLV próximos do limiar de percepção e 17% tem TLV mais alto. Entretanto, cerca de 28% tem TLV mais baixo (concentração menor que o limiar) e neste caso, para estas substâncias, o odor não serviria

como alarme seguro e apenas indicaria que o TLV já teria sido ultrapassado. A tabela abaixo dá uma idéia de quanto pode ser a variação entre estes dois indicadores, para algumas substâncias como exemplo:

**Tabela 2:** Comparação do Limiar de Detecção com os TLVs de algumas substâncias

<b>Substância</b>	<b>LD 100% (ppm)</b>	<b>TLV ou PEL (ppm)</b>
Metil Metacrilato	0,3	100
Brometo de Metila	1,031	5
Álcool Metílico	20,485	200
Metil formiato	2,802	100
Cianeto de Hidrogênio	4,5	4,7
Metil Metacrilato	0,3	100
Níquel Carbonila	3	0,001
Xilidene	0,005	2
Butil Mercaptana	0,0009	0,5
Monóxido de Carbono	Inodoro	35
Sulfeto de Hidrogênio	0,0081	10
Metil Mercaptana	0,0016	0,5

Fonte: RUTH (1986) e HEINSOHN (1985)

A questão dos odores também é importante para proteção respiratória de trabalhadores expostos a gases e vapores nocivos ou tóxicos, ao usarem máscara com filtro (adsorvedor e/ou químico) que constituem EPIs- Equipamentos de Proteção Individual indispensáveis. O NIOSH aconselha que o empregador garanta que todo trabalhador, nesta situação, seja capaz de reconhecer o odor da substância perigosa, na concentração usual do local e abaixo do limite de exposição aplicável. Para isso, é necessário fazer testes de sensibilidade aos odores específicos para triagem dos indivíduos, para cada substância perigosa existente no local de trabalho. A experiência mostra que estas triagens tendem a ser subjetivas e imprecisas, e dependendo das quantidades de pessoas e das substâncias envolvidas podem ser impraticáveis. Por isso, às vezes se faz uma outra abordagem através da avaliação e determinação da vida útil dos filtros, nas condições consideradas. Nestes casos, o respirador deverá incorporar um indicador de fim de vida útil. De qualquer modo, para garantir a segurança, o NIOSH exige que a determinação da vida útil dos filtros – para suplementar ou substituir a triagem pelo odor – só é válida se ficar demonstrado que esse procedimento

oferece ao usuário um nível de proteção no mínimo equivalente ao alcançado pela triagem de odor.

Os testes e a triagem nestes casos diferem dos Painéis de Avaliação porque as pessoas envolvidas geralmente tem experiência anterior com o odor considerado e dispensam também um elevado grau de atenção para com o assunto. Neste caso, trabalhos realizados por Amoore & Hautala (1983) para o NIOSH indicaram que 95% dos indivíduos de uma dada população terão o seu limiar de odor dentro de uma faixa de 1/16 até 16x o limiar de odor determinado para uma substância. Isto é, 2,5% da população será capaz de detectar o odor em concentrações abaixo de 1/16 do limiar de odor publicado da substância. Analogamente, 2,5% da população necessitam ser expostos a altas concentrações, acima de 16x maior que o limiar de odor para poderem detectar o odor da mesma substância. Foi verificado que 50% dos prováveis usuários destes respiradores poderão detectar o odor da substância acima do limiar de odor publicado e cerca de 15% não poderão detectar o odor em níveis que chegam a ultrapassar em 4x o limiar de odor da mesma substância.

Mesmo quando se utilizam os dados dos testes de vida útil, o empregador e o usuário deste tipo de EPIs não devem ignorar a vantagem e praticidade da percepção sensorial (para aqueles que conseguem detectar a presença do odor do contaminante) como alerta indicador de que o filtro já saturou ou que a vedação da máscara no rosto está comprometida.

Em função das considerações acima, o NIOSH proibia o uso destes respiradores para proteção contra substâncias com fracas propriedades de alerta, coincidindo com a posição da OSHA, especialmente no caso de vapores e gases orgânicos. Uma decisão recente do NIOSH passou a permitir o uso de respiradores nestes casos mediante certas condições e cuidados especiais.

## **2.7 A questão da emissão de odores na indústria**

Até a metade do século XX a poluição causada pela industrialização era vista como uma contrapartida inevitável, que não parecia ter maiores conseqüências. Chaminés fumegantes eram indicadoras de progresso, mais empregos e melhor padrão de vida. A década de 50 presenciou os primeiros episódios graves, como por exemplo a morte de 4.000 pessoas em Londres (1952), 300 mortes em Nova York (1963) e outros problemas como a necessidade de acender as luzes das ruas em Pittsburgh em pleno dia: começaram a surgir exigências da sociedade cobrando melhorias. Mais tarde, a indústria química foi responsável por várias ocorrências muito graves, como em Bophal e depois Seveso. Na década de 70, países da Europa como Alemanha, Suíça e outros, começaram a restringir as atividades industriais com

novas exigências, chegando a ponto de, por exemplo, proibir por lei a construção de fábricas de celulose (processo sulfato) especificamente por causa do odor, além de limitar emissões mal cheirosas a no máximo 1% do tempo sob pena de sanções.

Efetivamente, os casos mais severos de poluição odorífera estão relacionados à agropecuária, na criação de animais, beneficiamento e reaproveitamento de subprodutos. Também causam grandes incômodos o processamento de pescado e seus subprodutos. Entretanto, consideramos no escopo deste trabalho apenas as indústrias de bens de capital, manufaturados, bens de consumo, incluindo metalurgia, papel e celulose, e o setor petroquímico e químico, passando pelo agroquímico que é o tema do estudo de caso apresentado.

### 2.7.1 Fontes de odores nos setores industriais e tipos de tratamentos adotados

Os processos industriais atualmente em uso foram, quase sem exceção, desenvolvidos antes do surgimento da moderna consciência ecológica. Originalmente não levavam em conta os impactos ambientais a montante e a jusante, incluindo as emissões atmosféricas. Como consequência, o que ainda predomina é o chamado ‘tratamento no fim do tubo’ com poucas mudanças de matérias primas ou detalhes de processo. Por isso, cada segmento industrial tem suas emissões características, algumas delas de maus odores, tradicionalmente conhecidas.

**Quadro 3:** Emissões odoríferas típicas em diversos setores industriais

<b>Substâncias odoríferas (principais)</b>	<b>Tipo de Indústria (em que costumam prevalecer)</b>
Sulfeto de Hidrogênio	Papel, refinarias, agroindústria; tratamento esgotos e efluentes
Mercaptanas	Papel, refinarias, idem acima.
Sulfeto de metila, sulfetos	Papel e celulose, produtos de origem animal
Amônia	Refinarias, fertilizantes, agroindústria, tratamento de esgotos
Dióxido de enxofre	Refinarias, centrais térmicas, caldeiras
Óxidos de nitrogênio	Fertilizantes
Uréia	Fertilizantes
Aldeídos	Fertilizantes, tratamentos metálicos
Fluoretos	Fertilizantes, vidros, alumínio
Fenóis	Tratamentos metálicos, agroquímica, antibióticos
Hidrocarbonetos	Refinarias, pinturas e vernizes processos de fermentação
Compostos clorados	Pesticidas, indústria de cloro-soda
Aminas	Industria de alimentos, tratamento de esgotos e efluentes

Fonte: CALVO (1995)

A indústria química quase não aparece nesta listagem porque ela se estenderia demais, tanto pela diversificação de segmentos deste setor quanto pela variedade de contaminantes possíveis. Em geral, a poluição neste setor tanto pode se originar do produto final (principalmente perdas na recuperação) como de rendimentos insuficientes nas diversas etapas de processamento ou de subprodutos e resíduos indesejáveis. Os contaminantes são gases e vapores, com pouca incidência de partículas sólidas. Os poluentes são bem distintos nos dois setores considerados como principais: (i) fabricação de produtos básicos da indústria química mineral (como ácidos sulfúrico, nítrico, clorídrico, etc); (ii) fabricação de produtos derivados de química orgânica, com uma diversidade que impede qualquer generalização.

Há indicações claras de desequilíbrios nos processos atualmente em uso, como, por exemplo, a liberação de 10 g de flúor /cm<sup>3</sup> de gases emitidos nas fábricas de fertilizantes. Também a emissão total de enxofre (computando apenas EUA, Rússia, Alemanha e Japão) já ultrapassava em 1965 em cerca de 50% o consumo para produção de ácido sulfúrico. Num cenário como este, a emissão de odores incômodos não é uma ocorrência fortuita e seu controle tem constituído um grande desafio.

Deve ser mencionado que, além dos setores que tem sido tradicionais vilões quanto a odores, há outros menos disseminados, mas que causam grande incômodo. É o caso por exemplo da fabricação de pastilhas de freio, como na Fras-le. Além disso, há alguns processos secundários, como tratamento de efluentes e incineração de resíduos, que são comuns a muitos setores industriais e que são constantes fontes de maus odores.

**Quadro 4:** Tratamentos básicos para odores, aplicados em diversos tipos de indústrias

<b>Tipos de Indústria</b>	<b>Tratamentos (em ordem de aplicação)</b>	<b>Legenda (tipos de tratamentos)</b>
Refinaria de petróleo	L, I, CC, P	L = Lavagem de gases O = Oxidação química A = Adsorção I = Incineração M = Mascaramento N = Neutralização química CC = Combustão Catalítica D = Diluição P = Modificação de processo
Fertilizantes	L, A, CC, P	
Detergentes	L, P	
Resinas orgânicas	L, I, P	
Pesticidas	L, M, D, A, P	
Têxtil	L, A, I, CC, P	
Curtume	M, P	
Torrefações (café, etc)	L, M, N, D, I, P	
Tintas, Pintura	L, D, A, I, P	
Farmacêutica	L, A, P	
Colas, Pigmentos	L, M, A, I, O, P	
Sabões	L, A, I, P	
Celulose e Papel	L, M, N, D, P	

Fonte: CALVO (1995)

Uma apresentação com discussão mais detalhada dos diversos sistemas de tratamento encontra-se no item 2.8.4 a seguir. Vale observar a aplicação generalizada de tratamento por lavagem dos gases, pelo menos em algumas etapas dos processos. Os tratamentos por biofiltração, usando leitos de matéria orgânica com presença ativa de bactérias, vêm ganhando aplicações nos últimos anos, principalmente na agroindústria e beneficiamento de produtos de origem animal, para gases, efluentes contaminados e esgotos, com boa eliminação dos odores. Há ainda novos tratamentos não mencionados que por enquanto somente tem aplicação restrita.

### **2.7.2 Considerações sobre as emissões de gás sulfídrico e mercaptanas**

Com base em diversas estimativas sobre o Ciclo do Enxofre admite-se que as fontes naturais são responsáveis pela maior parte das emissões para a atmosfera, tanto de H<sub>2</sub>S quanto sulfetos orgânicos, enquanto que as atividades antrópicas liberam cerca de 10% do total. Os compostos de enxofre estão entre as principais substâncias odoríferas desagradáveis e são encontrados em grande parte das emissões com odores, em muitos setores, freqüentemente como constituintes relevantes nas misturas de gases liberados. Pode-se afirmar que estes compostos são os de ocorrência mais comum nas instalações industriais, destacando-se o Gás Sulfídrico ou H<sub>2</sub>S, que é também altamente tóxico e que por isso merece uma abordagem especial.

Trata-se de uma substância que é mais letal do que o Ácido Cianídrico e cujo efeito no sistema olfativo é enganador: seu odor só é percebido em pequenas concentrações, quando ainda está abaixo dos níveis perigosos. A partir de 100ppm, ou seja, cerca de 10.000 vezes o limiar de percepção médio (AMOORE, 1983) o sistema olfativo é rapidamente insensibilizado e eventuais concentrações letais não são mais percebidas pelo odor. Apesar disso, ainda parece razoável tomar o seu odor como alarme porque o seu TLV é 10ppm v/v e AMOORE avaliou que cerca de 90% das pessoas expostas irão perceber a aproximação do TLV, mesmo que estejam desatentas em relação a odores. Acima de 300ppm já ocorre inconsciência em menos de 20 minutos de exposição, levando a edema pulmonar e morte.

Efeitos da exposição crônica ao H<sub>2</sub>S: não existe concordância na literatura, mas os estudos mostram a possível ocorrência de efeitos sistêmicos como alterações neurológicas, distúrbios neurovegetativos, polineurites, vertigem, dor de cabeça, nervosismo e fraqueza.

As mercaptanas são compostos orgânicos sulfurados de fórmula geral R-S-H, sendo tio-álcoois, com estrutura análoga a dos álcoois sendo que o enxofre substitui o oxigênio da



hidroxila. A metil mercaptana é gasosa, enquanto as demais são líquidos, de incolores a amarelados, de odor característico infecto e penetrante.

O gás sulfídrico e as mercaptanas, muitas vezes também junto com sulfetos e sulfitos, costumam aparecer em misturas mau cheirosas, como resultado de decomposições e reações secundárias, geralmente predominando o  $H_2S$ . É preciso cuidado quando estes gases estão presentes, porque formam mistura explosiva com o ar e a ignição pode ocorrer espontaneamente se aquecido acima de  $210^{\circ}C$  ou em presença de chama ou faísca (inclusive de origem eletrostática). Devem ser transportados e tratados fora da faixa perigosa:

**Tabela 3:** Faixa de concentrações explosivas para gases de enxofre (% volume)

Substância	Concentração perigosa
Gás Sulfídrico ( $H_2S$ )	4,3 --- 45,0
Metil mercaptana ( $CH_3SH$ )	3,9 --- 21,8
Dimetil mercaptana ( $CH_3SCH_3$ )	2,2 --- 19,7
Dimetil sulfito ( $CH_3S_2CH_3$ )	7,8 --- 50,6

Fonte: ABTCP- Associação Brasileira de Tecnologia em Celulose e Papel, 1991.

### 2.7.3 Atuação dos órgãos fiscalizadores

Pelo que foi possível verificar constatou-se que quase não há normativas técnicas específicas sobre o controle de odores. Pesquisas intensas na área ambiental têm sido realizadas nos Estados Unidos e suas conclusões ampliaram muito os conhecimentos disponíveis, servindo de embasamento para normas e legislações que abrangem diversos aspectos. Entretanto, as agências americanas, como a EPA, não têm normas específicas para controle de odores, sendo o assunto restrito a algumas legislações locais, que em geral intentam regulamentar casos específicos, mas sem estabelecer procedimentos objetivos. Pelo levantamento realizado, o único país que tem alguma legislação mais específica é a Alemanha, com sua “Diretriz sobre Odores” baseada na Lei de Proteção do Ar Ambiente (1974, revisada em 1990) e na Instrução Técnica para Controle da Qualidade do Ar (1986), onde de acordo com a lei qualquer odor emitido por atividade industrial é tratado como um incômodo que deve passar por uma avaliação formal. De qualquer modo, o critério adotado pelos órgãos fiscalizadores ambientais é de que, mesmo no caso de odores sabidamente inofensivos à saúde, até mesmo quando agradáveis (tais como os de comida) podem ser considerados como incômodo e servir de base legítima para reclamações desde que sua emissão seja persistente ao longo do tempo, seja relativamente intensa e afete as pessoas ao atingir o ambiente em que elas se encontram.

No Brasil, tomando-se como exemplo a atuação da CETESB no Estado de S. Paulo, pode-se constatar como é o procedimento no caso de reclamações de maus odores. Como regra geral são destacados dois inspetores que vão até o local para confirmar e tratar de perceber olfativamente o tipo de odor. Em seguida, tentam levantar as possíveis fontes emissoras e vão até as empresas suspeitas tentando identificar odores semelhantes em suas proximidades ou em suas instalações. Se confirmado, a empresa acusada de causar a poluição é penalizada com uma advertência por escrito, por meio da qual é estabelecido um prazo para solução do problema (no caso de instalação que opere sem Licença já fica caracterizado crime ambiental e não é sequer concedido prazo). Caso o infrator não cumpra a exigência contida na advertência, o mesmo estará sujeito à penalidade de multa pontual que pode variar de 10 a 5.000 vezes o valor da UFESP (unidade fiscal do Estado de S. Paulo). A valoração da multa depende de fatores como a intensidade do dano, as circunstâncias atenuantes ou agravantes e os antecedentes do infrator. Por ocasião desta multa é concedido um novo prazo para solução do problema. Se a infração continuar depois de vencido o prazo dado com esta multa, a empresa pode ser novamente multada em caráter de reincidência, e assim sucessivamente.

Caso o problema persista, a legislação prevê que, além da aplicação de multas pontuais pode ser aplicada multa diária, cujo valor pode variar de 1 a 1.000 vezes o valor da UFESP nestas infrações continuadas. Depois de 3 multas pontuais ou uma seqüência de multas diárias, pode ser proposta ao Secretário Estadual do Meio Ambiente a aplicação da penalidade de interdição, temporária ou definitiva, da fonte de poluição.

Como exemplo específico deste procedimento podemos citar um caso da Rhodia em 1998, que após 20 anos de operação correta de sua lagoa de estabilização, fez uma modificação de processo em uma das 14 unidades de sua planta (que reduziu 70% da carga orgânica no efluente), o que afetou o equilíbrio DBO/DQO, fazendo com que microorganismos passassem a emitir mais amônia, causando um problema de emissão de odores na vizinhança. Em Maio a CETESB lavrou o 1º auto de infração com base nas reclamações e na avaliação dos fiscais; em Junho já lavrou o 2º auto com uma multa de R\$17 mil; em Julho o 3º auto com multa de R\$34 mil e ainda em Julho nova multa de R\$68 mil, antes de se conseguir negociar um termo de ajustamento. Acontece que nem o diagnóstico e nem a solução estavam claros, e somente em Dezembro foi que consultores da Unicamp apresentaram ao Ministério Público as conclusões e a medição de amônia no efluente, que estava acima do padrão estabelecido na Resolução CONAMA nº20. Mas só foi possível terminar a implantação de uma solução técnica definitiva em 2002, a um custo de US\$ 4 milhões, tal a complexidade do problema.

Deve-se reconhecer que a atuação dos órgãos de fiscalização é bastante difícil, ainda mais no caso dos odores. A Lei 9.605 de 31/03/1998, chamada Lei de Crimes Ambientais, tornou a fiscalização co-responsável com os poluidores e causadores de danos, um conceito bem intencionado, mas que tem se mostrado bastante discutível na prática. A legislação ambiental brasileira é considerada uma das mais avançadas: é mais recente e baseou-se no que há de melhor nos países desenvolvidos. Entretanto, este dispositivo de co-responsabilidade não é de uso generalizado nesses países, havendo muitos argumentos contrários a isso. Para começar, não há recursos e especialistas suficientes para analisar todos os detalhes e efetivamente atuar na prevenção, nem nos países mais ricos. Para se resguardar, estes órgãos acabam onerando ainda mais a burocracia, fazendo sempre as exigências mais amplas e rigorosas possíveis, e evitando emitir pareceres e aprovações. Reagem frequentemente com exagero e ligeireza quando recebem reclamações de infração, até mesmo tomando a iniciativa de envolver a mídia, de maneira indevida, para poder mostrar serviço. E nos procedimentos de controle, tendem a exagerar na quantidade de relatórios e no volume de informações, às vezes solicitadas em duplicata por vários órgãos de diferentes esferas do governo. A regulamentação ambiental já tem uma tendência natural a ser vasta, devido à complexidade do assunto, e segundo WONGTSCHOWSKI, mesmo em países menos burocráticos e que somente penalizam o poluidor como os EUA, já há reclamações quanto a isso. O American Chemistry Council apresentou um levantamento mostrando que em 1996, considerando apenas leis e regulamentos promulgados por órgãos federais, haviam sido publicadas quase 70.000 páginas. Igualmente impressionante é a quantidade de informações e relatórios que tiveram que ser apresentados, considerando apenas 8 regulamentos federais básicos: até agosto de 1997 a indústria química americana havia produzido mais de 26,7 milhões de relatórios anuais para atendê-los, que consumiram 66,6 milhões de homens-hora, a um custo estimado de US\$ 3,5 bilhões. No Brasil a situação é semelhante, pois os responsáveis dos órgãos de controle ambiental ficam assoberbados com o imenso volume de informações geradas por suas próprias solicitações, o que inviabiliza o fluxo normal dos processos. O sistema criado há dois anos pelo IBAMA, para controlar o Cadastro Nacional de Atividades Poluidoras, pode ser considerado uma evolução pois é possível fazer o cadastro e os relatórios anuais via Internet, de maneira prática e rápida, o que também deve facilitar a análise das informações.

A objetividade, desde que apoiada em bases científicas, é o melhor caminho para garantir a funcionalidade e eficácia da prática. No caso das emissões atmosféricas incômodas, seria benéfico para todas as partes envolvidas que fosse implantada uma regulamentação e um procedimento de avaliação, de modo a proporcionar a objetividade necessária.

## 2.8 Tecnologias tradicionais aplicadas para controle e tratamento

O ideal a ser cada vez mais buscado é a utilização de processos ecologicamente sustentáveis e a opção por tecnologias limpas, ainda na fase de projeto básico, o que não é possível em todos os casos. Então, a adoção de tecnologias de monitoramento e tratamento comprovadas é um bom caminho para garantir desempenho satisfatório das instalações. Entretanto, é preciso atentar para o fato de que constantemente as tecnologias têm evoluído, junto com as exigências regulatórias, fazendo com que equipamentos até então considerados satisfatórios não sejam mais adequados. Portanto, para garantir desempenho satisfatório é necessário pesquisar e às vezes testar, se possível em condições similares às reais.

Quando se trata de empreendimento em fase de implantação é normalmente feito o estudo de impactos ambientais, conforme procedimentos legais, que passa por diversas instâncias de avaliação até ser aprovado pelo órgão ambiental estadual, com a emissão da Licença Prévia e depois do projeto detalhado, da Licença de Instalação. Nesta fase, é possível avaliar a situação geográfica do empreendimento e as condições meteorológicas predominantes em função da ocupação atual e futura da sua área de influência. Com isso são prevenidas situações ocorridas no passado, de correção muito difícil, como por exemplo a fábrica de alumínio da Alcan, situada no fundo de um vale, na zona urbana de Ouro Preto: as inversões térmicas, típicas daquela região montanhosa e de clima seco, causam forte poluição.

Os fatores mais influentes para avaliação das emissões são, portanto: proximidade de áreas residenciais ou de outras indústrias ou de vias de tráfego, tipo e idade da indústria, tamanho, localização das fontes poluidoras, tipo de emissão e contaminantes, altura de descarga na atmosfera, volume dos gases, periodicidade das emissões odoríferas, topografia e condições do entorno: proximidade e dimensões de montanhas, rios, áreas verdes ou matas, tamanho de construções vizinhas e espaços entre elas.

As medidas de controle usualmente adotadas podem ser classificadas como: (i) indiretas, que visam a eliminar, reduzir, diluir, segregar ou afastar os poluentes; e (ii) diretas, que visam diminuir as quantidades de poluentes descarregados na atmosfera, através de sistemas de tratamento apropriados a cada caso. Assim, podemos resumir:

Medidas Indiretas:

- Planejamento urbano e medidas correlatas
- Diluição através de chaminés de grande altura
- Medidas para impedir a geração do poluente

- Medidas para reduzir a geração na fonte

Medidas Diretas:

- Seleção, dimensionamento e instalação de sistemas de tratamento
  - Controle de material particulado
  - Controle de gases e vapores poluentes

É bom lembrar que os particulados em geral podem servir de veículo para moléculas odoríferas, sendo aconselhável trata-los mesmo quando são de material inerte.

### 2.8.1 Emissões em chaminés e condições dependentes do ambiente

A técnica de diluir os poluentes numa massa maior de ar e lançar em boa velocidade através de chaminé alta só é eficaz quando aplicada a intensidades baixas ou médias, envolvendo substâncias relativamente voláteis e sem particulados. Odores carregados necessitam mais que isso para se evitar problemas. Para uma avaliação expedita é possível correlacionar a concentração máxima a 1,8m acima do nível do solo  $C_m$  (mg/m<sup>3</sup>) em função da altura efetiva da chaminé  $H$  (m), da velocidade do vento  $V_o$  (m/s) a uma altura de 10 metros, e da quantidade de poluente lançada  $Q_m$  (g/s) através da chaminé:

$$\text{Eq. 2} \quad C_m = \frac{235 Q_m}{2,5 V_o H^2}$$

Existe bastante informação disponível na literatura sobre tiragem e dimensionamento de chaminés, razão pela qual isto não será detalhado aqui. Do mesmo modo, já são bem conhecidas as principais influências das condições geográfica e topográfica, que devem ser levadas em consideração nos estudos de implantações de unidades industriais. Quanto às condições meteorológicas: devem ser levados em conta principalmente o regime de ventos e sua predominância, bem como fenômenos de inversão térmica que podem ocorrer no período de inverno ou durante a noite em regiões secas.

É importante levar em consideração estes aspectos – especialmente na fase de projeto – porque a diluição e dispersão adequadas podem prevenir muitos problemas de odores. Geralmente vale o investimento numa chaminé suficientemente alta para garantir boa dispersão em camadas atmosféricas mais elevadas, assim como considerar a instalação de sopradores que incrementem a tiragem e a velocidade de lançamento dos gases, ao mesmo tempo em que podem introduzir ar limpo para aumentar a diluição dos contaminantes.

### 2.8.2 Plumas de dispersão e seu comportamento: avaliação expedita

O impacto das emissões atmosféricas não depende somente da fonte e das concentrações de poluentes, mas também da forma como é lançada e se dispersa no ar, e das condições em que, finalmente, atingem as pessoas, geralmente ao nível do solo. Este fenômeno de transporte tanto ocorre durante a operação normal da instalação quanto em situações não-rotineiras, de emergência ou em acidentes, mas a sua abordagem teórica é basicamente a mesma. O objetivo aqui é apresentar um procedimento de avaliação expedito, que permita contornar as complexidades de uma análise teórica completa, sem perder os principais benefícios:

- Prever o impacto provável da emissão, na fase de projeto;
- Estimar cenários no caso de acidentes potenciais;
- Avaliar eventuais reclamações e dar uma base para argumentação.

Após a emissão é necessário, então, avaliar a dispersão da nuvem de gás ou vapor, considerando seu deslocamento na direção do vento. Foi estabelecido que numa atmosfera totalmente estável e calma, a difusão livre horizontal de um odor é tal que sua intensidade  $I_x$  diminui inversamente proporcional ao quadrado da distância  $x$  à fonte de geração. No caso de atmosfera turbulenta, a seguinte relação pode ser considerada (CALVO, 1995):

$$\text{Eq. 3} \quad I_x = I_o \cdot e^{(C \cdot x)}$$

Onde:  $I_o$  .....intensidade do odor na fonte  
 $C$  .....Constante para a substância  
 $x$ .....distância da fonte em metros

Deve-se ressaltar que os odores em difusão horizontal numa área aberta podem ser mitigados mediante zonas de bloqueio ou cortinas vegetais semipermeáveis, pois a diluição será bem maior ao passar por estes obstáculos, para garanti-los abaixo do limite aceitável.

Para uma avaliação completa é necessário: caracterizar os tipos de estabilidade atmosférica, calcular a altura efetiva (de lançamento) da chaminé, definir as condições de emissão (taxa, dimensão e forma da saída, localização geográfica, etc), levantar as condições meteorológicas e utilizar um modelo teórico de dispersão adequado ao caso.

### **Modelos de dispersão e suas aplicações**

Estes modelos têm suas limitações e não podem fornecer respostas a todas as perguntas, porém tem o mérito de dar suporte para a reflexão e, em linhas gerais, as diretrizes para um problema tão complexo e difícil de se equacionar. Portanto, os resultados dos cálculos devem ser utilizados sempre com certo cuidado. As informações aqui apresentadas sobre modelagem de dispersões foram baseadas principalmente em HEINSOHN(1985) e diretrizes da PETROBRÁS e RHODIA (2003).

No tratamento clássico é assumido que a nuvem se move na direção do vento, vai se misturando e diluindo com o ar devido à turbulência, o gás ou vapor é suposto como tendo densidade próxima a do ar, de modo que não existiria a influência da força gravitacional. O problema não está totalmente resolvido para o caso em que a diferença de densidades é tão grande que a força gravitacional não possa ser desprezada, mas a difusão molecular é baixa e pode ser ignorada.

A elaboração teórica de modelos matemáticos foi iniciada em 1932 por P. Sutton na Inglaterra, e completada até 1950 por seus dados experimentais com fontes reais, servindo de base ainda hoje para desenvolvimentos modernos. PASQUILL<sup>5</sup> idealizou um tratamento modificado que é um dos mais utilizados na prática. Mais recentemente, TURNER<sup>6</sup> desenvolveu novas aplicações e apresentou gráficos muito úteis para a solução de problemas específicos. Outros gráficos são fornecidos nas publicações do U.S. Weather Bureau e pela EPA americana. Existem três grandes grupos de modelos de dispersão atmosférica:

- 1-Modelo de Pluma Gaussiana.
- 2-Modelos Para Gases Pesados
- 3-Modelos Numéricos a três dimensões

---

<sup>5</sup> PASQUILL, F. **Atmospheric Diffusion**. London: D. Van Nostrand, 1968.

<sup>6</sup> TURNER, D. B. **Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates: An Introduction to Dispersion Modeling**. Boca Raton, FL: Lewis Publishers, 2<sup>nd</sup> ed., 1994.

#### 1-Modelo de Pluma Gaussiana:

Os modelos Gaussianos permitem calcular, em qualquer ponto do espaço tridimensional, o valor da concentração de poluente em função da quantidade de produto emitido (instantaneamente ou vazão contínua), da altura da liberação, da velocidade do vento e da estabilidade atmosférica. Esses modelos são muito simples e necessitam de pouco tempo de máquina. Expressam a concentração média em qualquer ponto na direção do vento, a partir de uma fonte de emissão contínua estacionária São bem adequados para avaliações preliminares ou expeditas, e nos casos de emissões tóxicas de pequena quantidade. Limitados a situações com terreno plano sem obstáculos, gases com a mesma densidade do ar, etc. Suas limitações levaram à busca de modelagens mais realistas e precisas.

#### 2-Modelos Para Gases Pesados:

Permitem tratar os casos de poluentes mais pesados que o ar, mas supõem igualmente algumas limitações. Esses modelos são mais complexos que os precedentes, mas são ainda

razoáveis em termos de tempo de cálculo. Eles são muito úteis no caso de rejeito de gases explosivos ou com outros riscos graves.

### 3-Modelos Numéricos a três dimensões:

As equações físicas da dispersão são utilizadas sem modificações, nenhuma hipótese simplificadora é necessária. Esses modelos buscam simular o comportamento real e permitem tratar qualquer tipo de emissão ou escape (gases leves ou pesados), sobre qualquer tipo de terreno (com ou sem obstáculos). Esses modelos são extremamente complexos e necessitam de muito tempo para preparação dos dados de entrada e também para tempo de cálculo. Logicamente são modelos muito interessantes para tratar cenários muito próximos da fonte de liberação, onde a presença de obstáculos tem uma grande importância.

### **Modelagem expedita: Emissões contínuas ou Emergenciais**

Métodos expeditos que são usados para avaliar as fontes de emissão de chaminés de instalações industriais, isto é emissões contínuas, podem ser usados também para emissões acidentais. Tais métodos computacionais estimam o efeito da diluição quando uma pluma se movimenta a partir da fonte emissora.

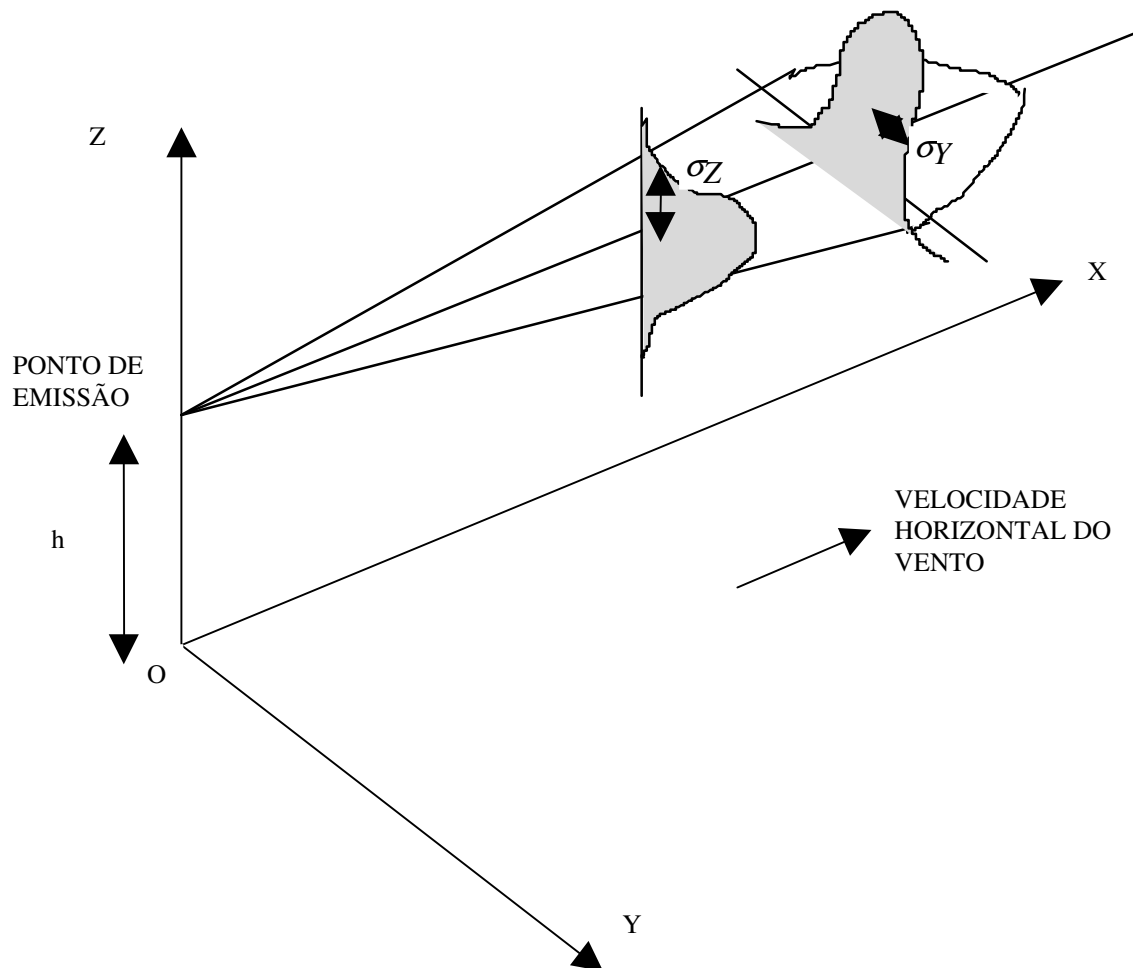
Um dos mais simples modelos para se prever dispersão é o chamado Modelo de Pluma Gaussiana e expressa a concentração média em qualquer ponto na direção do vento à partir de uma fonte de emissão contínua.

As hipóteses teóricas de aplicação dos modelos Gaussianos são relativamente restritivas:

- As condições meteorológicas não podem ser extremas, sendo aceitável para uma faixa de velocidade do vento entre 1 e 10 m/s;
- Ausência do efeito da densidade do gás na fase inicial da liberação;
- Ausência de obstáculos ;
- Distância de observação superior a 100 metros.

A figura abaixo apresenta um esquema do fenômeno, com o sistema de eixos de referência, conforme adotado pelos modelos de dispersão, para uma emissão atmosférica contínua:





**Figura 2:** Esquema teórico de dispersão da pluma para modelos Gaussianos.

(Adaptado de HEINSOHN, 1985)

Eq. 4: 
$$C = \left[ \frac{Q}{2\pi \cdot v \cdot \sigma_z \cdot \sigma_y} (e^{-m}) (e^{-n} + e^{-n'}) \right]$$

Onde :

$$m = \frac{y^2}{2(\sigma_y)^2} \quad n = \frac{(z-h)^2}{2(\sigma_z)^2} \quad n' = \frac{(z+h)^2}{2(\sigma_z)^2}$$

C ... concentração num determinado ponto na direção do vento em  $\text{mg}/\text{m}^3$ .

v ... velocidade horizontal do vento em m/s

x ... distância entre a fonte e o ponto onde se deseja determinar a concentração na direção do vento, em m ou Km

y ... distância na perpendicular ao vento entre a fonte emissora e o ponto de interesse, expressa em metros.

z ... altura acima do solo até o ponto de interesse, em metros.

h ... a altura da fonte emissora acima do nível do solo, em metros.

$\sigma_z$  ... coeficiente de dispersão na direção z ( perpendicular ao vento )

$\sigma_y$  ... coeficiente de dispersão na direção y( vertical )

Q ..... vazão de liberação mg/s

Esta equação só é válida para ventos carregando plumas em terrenos com pouco relevo. Os coeficientes de dispersão dependem da estabilidade atmosférica, bem como da distância da fonte até o ponto de interesse na direção do vento. Estes coeficientes podem ser estimados através das seguintes correlações:

$$\text{Eq. 5 e 6} \quad \sigma_y = ax^b \quad e \quad \sigma_z = cx^d + f$$

Os valores das constantes **a**, **c**, **d** e **f** são fornecidos através da Tabela 4 a seguir, onde **a** não depende de **x**. O valor da constante **b** é sempre 0,894 e **x** é expresso em quilometro.

**Tabela 4:** Valores das constantes para se determinar os coeficientes de dispersão:

Classe de estabilidade	a	para x ≤ 1 Km			para x > 1 Km		
		c	d	f	c	d	f
A	213	440,8	1,941	9,27	459,7	2,094	-9,6
B	156	106,5	1,149	3,3	108,2	1,098	2,0
C	104	61,0	0,911	0	61	1,098	0
D	68	33,2	0,725	-1,7	44,5	0,516	-13
E	50,5	22,8	0,678	-1,3	55,4	0,3	-34
F	34	14,35	0,74	-0,35	62,6	0,18	-48,6

Fonte: RHODIA, 2003.

**Tabela 5:** Condições meteorológicas para definir as categorias de estabilidade (Pasquill):

Velocidade do vento m/s	Durante o dia <u>Intensidade da luz solar:</u>			Durante a noite:	
	Forte	Moderada	Fraca	Com nuvens	Sem nuvens
< 2	A	A-B	B	E	F
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D

>6	C	D	D	D	D
----	---	---	---	---	---

Fonte: HEINSOHN, 1985.

Quando não se dispõe de sistemas apropriados para medição da velocidade do vento por instrumentos, é possível fazer estimativas bastante razoáveis sem comprometer a modelagem.

**Tabela 6:** Escala de Beaufort para avaliação da velocidade do vento

Força	Intensidade	Velocidade (Km/h)	Efeitos
0	Calmo	0	A fumaça sobe verticalmente
1	Ar leve	1+	A fumaça se dispersa lentamente
2	Brisa leve	6+	As folhas farfalham
3	Brisa suave	12+	Gravetos movem-se, bandeiras desfraldam-se
4	Brisa moderada	20+	A poeira levanta-se
5	Brisa viva	30+	Pequenas árvores movem-se
6	Brisa forte	40+	Galhos grandes balançam
7	Quase vendaval	51+	Árvores balançam, é difícil caminhar ao vento.
8	Vendaval	62+	Galhos caem, é muito difícil caminhar ao vento
9	Vendaval forte	75+	Telhas e galhos são arrancados pelo vento
10	Tempestade	88+	Árvores são arrancadas, danos a edifícios.
11	Tempestade violenta	102+	Danos generalizados
14	Furacão	120+	Devastação em larga escala

Fonte: TORREIRA, 1999.

### Formulação Geral:

Existem duas situações a considerar, que são abordadas de modos diferentes:

- Uma emissão contínua proveniente de uma emissão atmosférica permanente, da evaporação de um líquido volátil ou o estado estacionário após um flash ou acidente.

- A descarga de uma grande quantidade instantânea proveniente de um flash, da abertura de uma válvula de alívio ou de um vaso de processo, ou de um vazamento ou acidente fora da rotina de operação;

Os modelos permitem calcular em qualquer ponto do espaço o valor da concentração de um poluente proveniente de uma liberação contínua ou instantânea em função:

- Da massa liberada  $Q$  (Kg/s) ou da vazão de liberação  $M$  (Kg).
- Da altura de emissão  $h$  (m).
- Da velocidade do vento  $u$  (m/s)
- Das condições de estabilidade atmosférica

As equações para essas duas situações são:

Para uma emissão contínua:

Eq. 7:

$$C(X, Y, Z) = \frac{Q}{(2\pi)\sigma_y\sigma_z u} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{Y}{\sigma Y}\right)^2\right] \left[ \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{Z-H}{\sigma Z}\right)^2\right] + \alpha \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{Z+H}{\sigma Z}\right)^2\right] \right]$$

$\sigma_y$  e  $\sigma_z$  são função da distância  $x$ , para o modelo Turner-Pasquill (TURNER, 1994).

Pode-se fazer a hipótese de que o fenômeno de transporte pelo vento é suficientemente rápido para que a difusão segundo o eixo do  $X$  seja desprezível.

Para uma emissão instantânea:

Eq. 8:

$$C(X, Y, Z, t) = \frac{M}{(2\pi)^{\frac{3}{2}}\sigma_x\sigma_y\sigma_z} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{X-Ut}{\sigma X}\right)^2\right] \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{Y}{\sigma Y}\right)^2\right] \left[ \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{Z-H}{\sigma Z}\right)^2\right] + \alpha \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{Z+H}{\sigma Z}\right)^2\right] \right]$$

Onde:

- $X, Y, Z$  são as coordenadas de um observador no sistema de eixos proposto em metros;
- $\sigma_x, \sigma_y$  e  $\sigma_z$  são os coeficientes de dispersão característicos das distribuições, em metros;
- $t$  é o tempo após o instante zero da liberação, em segundos;
- $\alpha$  é o coeficiente de reflexão no solo, sendo:  $\alpha=0$  (absorção total),  $\alpha=1$  (reflexão total).

Esses coeficientes dependem diretamente do estado de estabilidade atmosférica.

Para avaliação mais precisa usa-se H, que é a altura efetiva de lançamento: adiciona-se na altura física h da chaminé, a altura  $\Delta h$  de subida da pluma, que em geral pode ser estimada pela equação de Davidson-Bryant (dentre outras, usadas para casos mais específicos):

$$\text{Eq. 9} \quad \Delta h = d \cdot \left( \frac{V_s}{v} \right)^{1,4} \left( 1 + \frac{\Delta T}{T_s} \right)$$

Onde:

- $\Delta h = H - h$  altura de subida da pluma, após sair da chaminé; m;
- d é o diâmetro interno da chaminé; m;
- $V_s$  é a velocidade dos gases na saída da chaminé, m/s;
- v é a componente horizontal da velocidade do vento, no topo da chaminé, m/s;
- $T_s$  é a temperatura dos gases na saída da chaminé, graus Kelvin;
- $\Delta T$  é a diferença de temperatura dos gases, em relação a atmosfera no topo, °K.

O termo  $\exp \frac{-(Z+H)^2}{2\sigma Z^2}$  nesta fórmula geral, traduz o fenômeno de reflexão, para levar em conta a fração dos poluentes que passam a atingir o solo, podendo ser absorvidos ou não por ele. Um certo número de resultados experimentais indicam que os poluentes reativos são absorvidos pelo solo. Neste caso, pode-se simplificar as equações suprimindo este termo. Esta consideração vale para poluentes do tipo  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{COCl}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{HF}$ . etc. Já no caso de hidrocarbonetos e CO essa hipótese não pode ser aplicada pois estes poluentes não são do tipo reativo.

### **Exemplo de cálculo expedito:**

Numa instalação industrial é necessário formular um Plano de Emergência, de modo que ações rápidas possam ser tomadas no caso de algum vazamento acidental de amônia. Foi estimado que, se a válvula de segurança de um tanque de amônia existente se abrir, haveria liberação na atmosfera de uma vazão de 45 Kg/s. Sabe-se que pessoas expostas a concentrações acima de 500 ppm de amônia podem sofrer sérios danos a saúde e uma das medidas a serem tomadas é que devem ser evacuados os locais onde a concentração possa ser maior do que esse valor limite. Precisa-se decidir que recomendação pode ser feita em relação a adotar esta providência, e se for o caso, qual a distância da fonte emissora, dentro da qual as pessoas deveriam ser evacuadas. Tomaremos como referência uma situação em que a velocidade do vento é de 2,7 m/s e o tempo está ensolarado.

Adotaremos o modelo de pluma gaussiana para fazer uma estimativa utilizando a Equação 4. Assumiremos que a fonte emissora e as pessoas atingidas pela emissão estão ao nível do solo, isto é  $z$  e  $h$  valem zero, portanto  $n$  e  $n'$  tornam-se zero. Como a concentração máxima acontece na linha de centro da nuvem,  $m = 0$ , pois  $y$  vale zero. Com estas simplificações, a equação para cálculo da concentração se torna:

$$\text{Eq. 10:} \quad C = \frac{Q}{\pi \cdot v \cdot \sigma_z \cdot \sigma_y}$$

Convertendo 500 ppm de amônia para  $\text{mg/m}^3$  (assumindo temperatura de  $25^\circ\text{C}$  e pressão de 1 atm) temos:  $500 \text{ ppm} = 348 \text{ mg/m}^3$

Para uma velocidade do vento de 2,7 m/s e tempo ensolarado isto corresponde a estabilidade atmosférica A ou B no modelo (Tabela 5): assumiremos estabilidade A.

A conversão de unidades da vazão de liberação fornece  $Q = 4,5 \times 10^7 \text{ mg/s}$ .

Inicialmente avaliaremos para uma distância  $x = 1\text{Km}$ , e temos que:

$$\sigma_y = 213(1)^{0,894} = 213m \quad \text{e} \quad \sigma_z = 440,8(1)^{2,094} + 9,27 = 450,07m$$

$$\text{Portanto:} \quad C_{1\text{Km}} = \frac{4,5 \cdot 10^7}{\pi \cdot 2,7 \cdot (213)(450,1)} = 56 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$$

Em seguida, avaliamos para  $x < 1\text{Km}$ : vamos considerar 500 metros, obtendo-se

$$\sigma_y = 213(0,5)^{0,894} = 114,6m \quad \text{e} \quad \sigma_z = 440,8(0,5)^{1,941} + 9,27 = 124m$$

$$\text{Portanto:} \quad C_{500m} = \frac{4,5 \cdot 10^7}{\pi \cdot 2,7 \cdot (114,6)(124)} = 380 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$$

Finalmente, vamos avaliar para uma distância de 200 metros, obtendo-se:

$$\sigma_y = 213(0,2)^{0,894} = 50,5m \quad \text{e} \quad \sigma_z = 440,8(0,2)^{1,941} + 9,27 = 28,7m$$

$$\text{Portanto:} \quad C_{200m} = \frac{4,5 \cdot 10^7}{\pi \cdot 2,68 \cdot (50,5)(28,7)} = 3720 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$$

Resumo dos resultados de cálculo da modelagem de dispersão:

<u>X assumido (Km)</u>	<u>Concentração calculada <math>\text{mg/m}^3</math></u>
1	56

0,5	380
0,2	3720

Interpolando o valor da concentração crítica  $348 \text{ mg/m}^3$  (500ppm) podemos estabelecer que a distância de evacuação necessária corresponderá a aproximadamente 400 metros da fonte.

É interessante observar que a concentração ao longo da pluma é diretamente proporcional à taxa de emissão e inversamente proporcional à velocidade do vento, sendo esta última extremamente importante. Por isso, é necessário garantir uma boa tiragem, com velocidade de lançamento dos gases suficientemente alta. Ressalte-se também que, nas situações em que ocorre inversão térmica a análise se torna mais complexa, exigindo a inclusão de mais termos no equacionamento, pois o espaço vertical disponível para a dispersão fica limitado entre o nível do solo e a base da camada de inversão térmica.

Esta modelagem de pluma gaussiana é uma simplificação da realidade, mas é aceita como uma estimativa razoável para avaliar impactos ambientais. A utilização de modelagens mais completas dependerá principalmente de se dispor de dados adequados, cuja obtenção nem sempre é simples ou rápida de se obter.

### **Softwares para modelos aperfeiçoados**

As maiorias dos programas de computador disponíveis para cálculos de dispersão se baseiam sobre modelos Gaussianos, porém com opções de cálculo que os diferenciam uns dos outros.

Alguns dentre esses programas podem ser citados como o TRACE, BATTEX, WHAZAN, EFFECT, CHARM . SAFETY, PHAST, SUPER CHEMS PAMPA etc. Uma boa listagem com descrição de características básicas de Modelos de Dispersão e Qualidade do Ar, reconhecidos pela EPA americana, é apresentada na Tabela 9.10, pagina 431, por HEINSOHN(1985).

O software ODODIS é um caso especial. Este programa foi desenvolvido e testado com o objetivo específico de modelar dispersão de odores, considerando-se que quase todos os softwares existentes não são inteiramente satisfatórios para esta finalidade. Trata-se de um conjunto de nove modelos gaussianos baseados na teoria de dispersão de emissões odorantes pulsantes de Högström, que foi desenvolvido usando linguagem TurboPascal e reunido sob o nome de ODODIS. Segundo LISBOA(1997), o software desenvolvido responde a necessidade de se obter dados instantâneos de um gás passivo ou odorante em um ponto determinado sobre o terreno. O tempo de simulação pode variar em função dos interesses do analista. Valores de concentração médios podem ser obtidos a partir da integração dos

resultados instantâneos fornecidos pelo modelo. A programação, em linguagem objeto, é compatível com micro-computadores pessoais e extremamente dinâmica e convívial. Estudos de validação do software foram desenvolvidos para verificação das hipóteses contidas no mesmo. Henrique de Melo Lisboa é professor da Universidade Federal de Santa Catarina e doutor em Poluição Atmosférica pela Université de Pau/Ecole des Mines d'Alès (França).

### **2.8.3 Emissões fugitivas e técnicas para seu monitoramento e controle**

As chamadas Emissões Fugitivas são qualquer tipo de emissão não intencional ou sem controle, originadas por perdas de fluido ou emanações de vapores e/ou gases durante o processo, seja através de mecanismos ou dispositivos selantes, em tanques ou lagoas de tratamento, nas interfaces que os separam da atmosfera, etc.. Isto costuma ocorrer principalmente em válvulas, flanges, bombas e componentes similares, em geral muito numerosos e comuns nas plantas de processo. Caracterizam-se por serem emissões difusas para a atmosfera, principalmente de VOC's (compostos orgânicos voláteis), oriundas de inúmeras fontes, difíceis de detectar, medir e corrigir. Um bom tratamento teórico é apresentado por HEINSOHN(1985) no capítulo 8 de seu livro, útil para fazer balanços de massa, quantificar e prever as diversas emissões deste tipo.

Faz-se uma diferenciação em relação a Vazamentos, pois as causas e conseqüentes ações corretivas num tipo e no outro são bem distintas. Os vazamentos são de maiores proporções, de magnitude geralmente acima de 10.000 ppm, enquanto que conceitualmente as emissões fugitivas se situam abaixo de 1.000 ppm.

No caso de substâncias odoríferas, este tipo de emissão tem potencial para gerar odores incômodos dentro da própria instalação industrial e freqüentemente na sua vizinhança. Como estas emissões costumam ser de detecção e correção mais difícil, acabam se constituindo em um problema de Higiene Industrial por serem uma fonte freqüente de poluição, chegando a caracterizar perda econômica direta por envolver fluidos do processo.

A primeira regulamentação de controle foi a emenda do Clean Air Act (CAA), nos USA em 1990, com foco nas contaminações por produtos tóxicos. No Brasil, o assunto foi enquadrado pela Resolução CONAMA 03/1999, que foi baseada no CAA e em manuais da Environmental Protection Agency (EPA) como o AP-42 que lista coeficientes de emissão para os diversos tipos de processos industriais e seus respectivos equipamentos. Estes coeficientes, levando em conta avaliações do ponto de vista de Engenharia, permitem estimar as emissões fugitivas de uma planta industrial de maneira prática, rápida e econômica.



Costuma-se levar em conta também as emissões em sistemas de carga e descarga de matérias primas e produtos, sistemas de alívio, torres de resfriamento, tanques abertos e lagoas de tratamento. Nestes dois últimos casos, pode-se levantar a composição do líquido e estimar a emissão de cada composto aplicando a lei de Henry, com auxílio de programas como Exinter e outros que facilitam o trabalho.

As ações corretivas podem ser direcionadas para os equipamentos e/ou para as práticas de trabalho. Quanto aos equipamentos, deve-se avaliar a sua adequação ao processo e sua idade/estado de conservação. A instalação ou substituição por equipamentos de baixa emissão pode implicar em utilizar bombas herméticas ou magnéticas, selagem dupla, válvulas com fole ou diafragma, sistemas de amostragem fechados, discos de ruptura para válvulas de segurança e sistemas enclausurados em geral. Quanto às práticas de trabalho, constata-se que enfoques pontuais nunca obtêm sucesso: é necessário desenvolver e implantar um programa que englobe todas as pessoas e a instalação completa. Este tipo de programa objetiva a detecção e reparo de emissões fugitivas ou pequenos vazamentos e sua eficiência depende de:

- Quantidade e tipos de fontes potenciais de emissão;
- Frequência de monitoramentos;
- Limites de controle estabelecidos;
- Rapidez e eficiência dos reparos.

Para iniciar, deve ser formalmente nomeado um gestor para o programa, que deverá liderá-lo envolvendo as pessoas necessárias, assegurando que os objetivos sejam conhecidos por todos, coordenando a fase de implantação e posteriormente gerenciando o seu funcionamento.

Na 1ª etapa é fundamental desenvolver um bom planejamento geral, que deve levar em conta o que está motivando o programa: atendimento à Legislação, política da empresa ou redução de perdas. Deve-se definir como serão usados os dados obtidos, se somente para orientar os reparos de manutenção, para estimar quantidades das emissões ou ainda para informar com outras finalidades. Em seguida estabelece-se quem efetuará o monitoramento, se um grupo dedicado, pessoal de operação ou manutenção, ou contratados externos, bem como as necessidades específicas de treinamento para esse pessoal. A definição de quais os processos a serem incluídos no programa poderá ser feita já com ajuda deste pessoal, após o que deverão ser estabelecidos os limites de emissão, em níveis iguais para toda a fábrica ou diferente para cada tipo de equipamento e área. O sistema de coleta de dados, informação e controle deverá então ser esboçado de forma que o gestor do programa possa assegurar que as medições sejam realizadas e interpretadas, que os reparos sejam executados e que o programa seja acompanhado para garantir sua eficácia.

Na 2ª etapa devem ser definidos os equipamentos para medição, levando em conta a sensibilidade e precisão requeridas, facilidade de uso, portabilidade, necessidades de calibração, fatores de resposta e adequação aos produtos, tempo de resposta, confiabilidade e assistência técnica.

Na 3ª etapa, técnicos designados prepararão a lista detalhada de componentes a serem monitorados, as descrições dos procedimentos e a otimização da programação levando em conta as rotas e volume de trabalho nas áreas. Prepararão os protocolos para aferição e calibração dos instrumentos, cronograma e controles. Nesta etapa definem-se os indicadores de performance do programa, quais dados serão reportados e como serão arquivados.

Na 4ª etapa contempla-se a análise dos dados, definindo-se os padrões de comparação conforme a Legislação ou dados de benchmarking, se as decisões serão numa base de equipamentos individuais ou percentuais do total, as faixas aceitáveis e os limites que indicam a necessidade de reparo e como esta solicitação será acionada e acompanhada.

Na 5ª etapa decide-se sobre os procedimentos de reparo, como as solicitações serão acionadas e acompanhadas, por quem, quando, como reportar, etc. bem como os casos em que há necessidade de parada de equipamento, descontaminações ou outros cuidados especiais.

Para completar, formaliza-se o fluxograma geral de ações do programa, os responsáveis, como se dará o fluxo de informações e como/quando serão as reavaliações periódicas do programa.

A abordagem até aqui apresentada se refere a um programa contínuo e sistemático para monitorar e controlar emissões fugitivas que geralmente são pequenas e distribuídas através da planta. É bom lembrar que também há casos de caráter emergencial, onde uma falha de equipamento, acidente ou erro operacional provoca uma emissão intensa que pode gerar uma crise imediata. Um exemplo recente teve grande exploração na mídia: em 13/05/2003 uma emissão de acrilato de etila na BASF atingiu o bairro vizinho de Vila Paulista, em Guaratinguetá-SP durante cerca de duas horas, com um mau cheiro que causou náuseas, irritação nos olhos e dores de cabeça, havendo casos de hospitalização também com diarreia. Os moradores, apoiados por um Sindicato, entraram com uma ação civil pública reclamando dos constantes vazamentos e da falta de assistência em emergências. Alegaram que não receberam atenção e que só foram atendidos depois de muito tempo. A empresa esclareceu que um operador, ao descarregar um caminhão tanque com o acrilato, esqueceu da rotina de conectar uma mangueira no suspiro do tanque, permitindo assim que vapores emanassem para o ambiente e atingissem a vizinhança: quando percebeu o erro já era tarde. A BASF informou também que recebeu cerca de 15 telefonemas reclamando e que acionou seu pessoal para verificar o problema, ir até a comunidade atingida para orientar e ajudar no que fosse preciso.

A BASF é uma empresa de alto nível e desenvolve um trabalho exemplar junto à comunidade, mas uma crise emergencial é mesmo difícil de ser conduzida. E com certeza seria muito mais difícil ainda para quem não estivesse preparado. Por isso é bom incluir nos planos de emergência de toda planta as ações em caso de possíveis crises devido a emissão de odores.

#### **2.8.4 Sistemas básicos para contenção e tratamento de emissões odoríferas**

Uma vez que não seja possível adotar um processo ecologicamente sustentável e uma tecnologia limpa, torna-se necessário conter e tratar os efluentes gasosos para poder controlar as eventuais emissões odoríferas. Para garantir a contenção junto as fontes geradoras e durante a coleta e transporte das emanções é necessário que todas as operações sejam conduzidas mediante procedimentos cuidadosamente desenvolvidos, após Análise de Riscos (EPA, 1986). Estes procedimentos operacionais detalhados devem incluir as listas de matérias primas e componentes, condições de processamento e de produção, substâncias presentes nas emanções, precauções quanto a Saúde e Segurança e equipamentos de proteção coletiva e individual necessários. É importante levar em conta as impurezas contidas nas matérias primas e a geração de sub-produtos ou compostos intermediários que sejam nocivos ou perigosos.

O principal fator para proteção dos trabalhadores e controle das emissões fugitivas em processos com possibilidade de exposição a produtos químicos é o grau de contenção oferecido pelo projeto das instalações. O mais comum é ter-se um sistema “semi-aberto”, típico de equipamentos que são usados para processar mais de um produto, requerendo geralmente diferentes condições de alimentação de matérias primas e intervenções dos operadores por não estar a instalação preparada e regulada para uso exclusivo dedicado. Estas instalações têm limitações quanto ao uso, pois podem originar problemas já antes da captação e da emissão na chaminé. No caso de haver problemas potenciais no processo e/ou produto, recomenda-se sistemas “substancialmente fechados” que garantem fugas de apenas fração de ppm ou “fechados”, capazes de permitir fugas na faixa de ppb, para vapores. Uma tradicional fonte de referência para contenção e exaustão é o *Industrial Ventilation* da ACGIH. (1992).

Já os sistemas de tratamento não costumam ser padronizados, requerendo estudos específicos para cada aplicação particular. Para avaliar, testar ou projetar sistemas de tratamento é necessário conhecimento específico. Uma boa base para estudo nesta área pode ser, entre outros, o curso *Tecnologias e seleção de sistemas de controle da poluição do ar: Material particulado, Gases, Vapores e Odores* oferecido periodicamente pela CETESB, com carga

horária de 24h. Um livro de consulta atualizado e prático, muito recomendado, é *Air Pollution Control Equipment Selection Guide* de K. Schiffner, editado em 2002 e que pode ser adquirido via internet. Para estimativas de custos uma boa referência é o capítulo 13 de HEINSOHN (1985). A seguir foram resumidas as características dos principais sistemas em uso na indústria, sem intenção de esgotar ou aprofundar o assunto, pois isto pode ser feito através da vasta literatura técnica existente, em função de aplicações específicas. É bom lembrar que sistemas de tratamento serão considerados necessários dependendo da natureza dos poluentes presentes e de suas concentrações nas emissões, após levar em conta a diluição que ocorre na chaminé ou nos eventuais pontos de descarga para a atmosfera.

### **Lavadores de gases com soluções absorventes**

Estes são os equipamentos mais usados para controle de odores, com boa eficiência e custo relativamente mais baixo de instalação e operação: devem ser sempre a primeira opção a ser considerada. Propiciam a transferência de massa (poluentes) da fase gasosa para a fase líquida (solução absorvente) acompanhada de reação de oxidação e/ou neutralização. Lavadores que promovem apenas absorção física não são adequados e não proporcionam a eficiência necessária para remoção de odores. Os principais tipos de Lavadores com soluções absorventes são as Torres Recheadas, as Torres de Pratos e os Lavadores Venturi, dentre os quais as Torres Recheadas são preferidas sempre que possível. Em problemas mais complexos requerendo tratamento de mais de um tipo de contaminante é comum instalar uma bateria de lavadores, combinando vários processos em série, um para cada contaminante.

Os custos de investimento situam-se na faixa de US\$2 a 10 por pé cúbico por minuto de gás, levando a um custo anual total de US\$ 10 a 20 / Std. CFM, incluindo energia elétrica para exaustão, bombeamento e troca de absorvente. É o tratamento mais barato, se for tecnicamente viável e uma eficiência em torno de 95% for aceitável.

#### **Vantagens:**

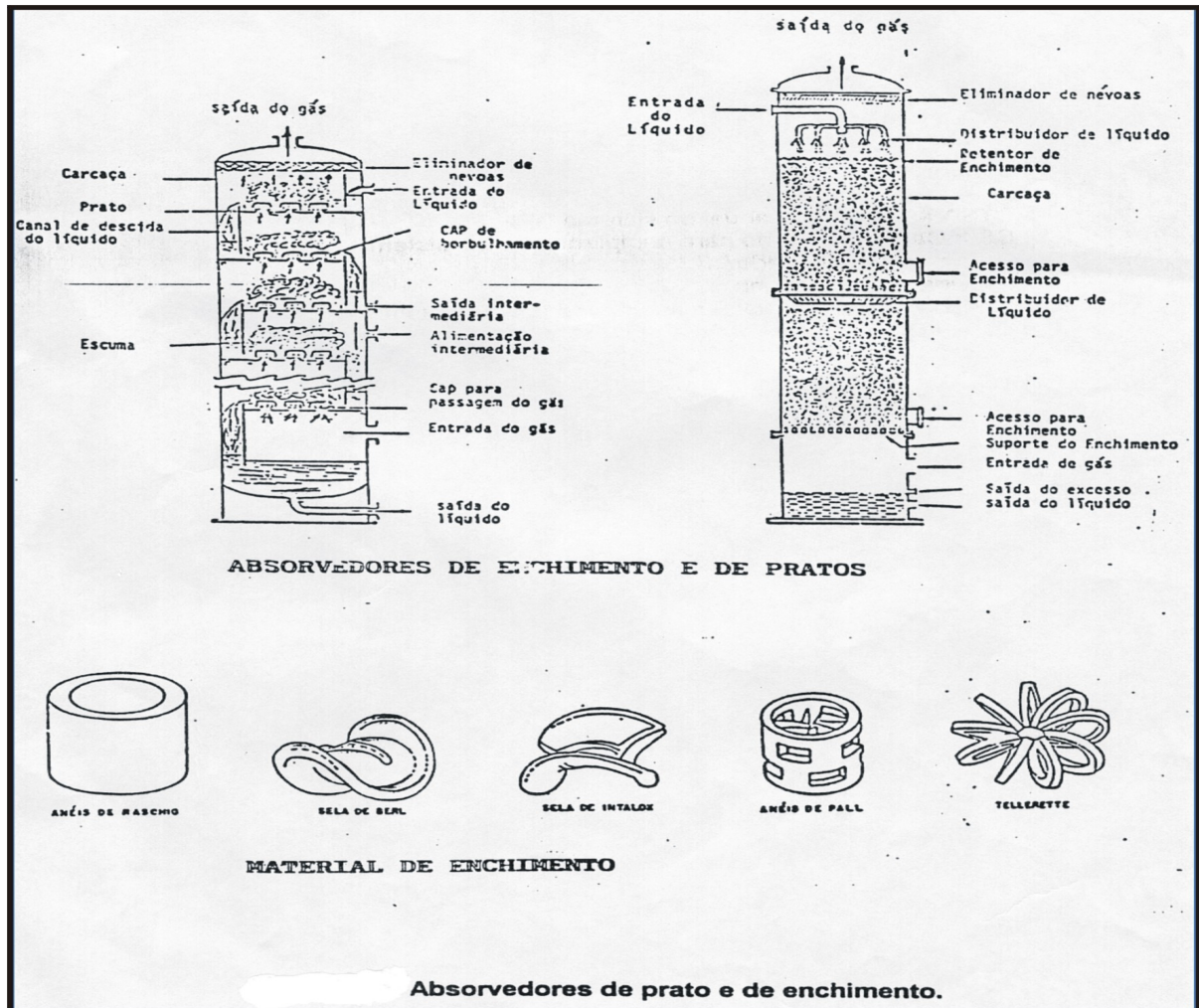
- Absorve ou oxida ampla gama de gases e vapores, em diversas concentrações, possibilitando retirada de compostos odoríferos;
- Permite eficiência bastante alta e remove também os particulados
- Seu dimensionamento permite grande flexibilidade para se adaptar a modificações de processo ou novos poluentes
- Custo mais baixo de implantação e operação, com baixo consumo de energia

#### **Desvantagens:**

- Transfere parte do problema para a solução lavadora;

- Resfria os gases e cria uma perda de carga, diminuindo a velocidade de lançamento;
- Dependendo das substâncias envolvidas pode sofrer severa corrosão

**Figura 3:** Esquema de torres de lavagem com pratos e com recheio



Funcionamento:

Uma bomba d'água eleva o líquido de lavagem ao distribuidor no topo do leito e recheio. O líquido de lavagem desce por gravidade através do recheio, umedecendo-o continuamente. Os gases poluídos são forçados em contracorrente através deste recheio, sendo os anéis de Pall os mais usados modernamente para a maioria das aplicações. Como o meio líquido possui mais afinidade com os poluentes do que com os gases, estes poluentes passam dos gases para o líquido de lavagem. Este líquido, geralmente composto de água e reagente, neutraliza e estabiliza os poluentes.

Eficiência:

Por um lado, a eficiência se relaciona com as concentrações e propriedades dos poluentes. Pelo outro, com a profundidade do recheio, tamanho e tipo de corpos de enchimento e reagentes/ ativos do líquido de lavagem. O corpo básico do lavador não se altera e, desta forma, é possível se adequar a futuras exigências ambientais mais severas; alterando-se apenas alguns detalhes periféricos.

#### Considerações importantes:

Para projeto ou avaliação das Torres de Recheio, há uma seqüência lógica de etapas a serem executadas, com a finalidade de determinar as características básicas ou as melhores condições de operação do equipamento. As etapas são:

- Escolha do solvente:

Primeiramente, o solvente não deve ser muito caro, nem corrosivo ou tóxico, nem inflamável, devendo ser quimicamente estável. A solubilidade do soluto no solvente deve ser a mais alta possível, de modo a não ser necessário bombear grandes quantidades de solvente. A absorção química usando reação reversível necessita equipamento adicional para regeneração do solvente e por reação irreversível implica em sua reposição e descarte, tratando o efluente líquido. O solvente deve ter baixa pressão de vapor, pois a massa gasosa que deixa o tratamento de absorção estará saturada de solvente. Uma alta pressão de vapor acarreta maior perda de solvente e talvez até necessidade de tratamento adicional desses gases. É importante também que o solvente tenha baixa viscosidade, para proporcionar rápidas taxas de absorção, maior flexibilidade de equipamentos, menores perdas de carga, aumentando a eficiência e a taxa de transferência de calor. Os reativos mais comuns utilizados são: hipoclorito de sódio, água oxigenada, permanganato de potássio, cloro, ozônio, hidróxido de sódio, e além de outros menos comuns como ácido sulfúrico, ácido fosfórico, etc.

- Estimativa das condições de operação:

Compreende principalmente o balanço de massa, onde a avaliação das vazões de entrada e saída de líquidos e gases permitirá determinar a quantidade de solvente necessária. A este valor teórico, entretanto, costuma-se acrescentar um fator de acréscimo entre 20 e 300%, dependendo do sistema e das condições do projeto. Por isso, é aceitável utilizar-se, em muitos casos, de avaliações práticas aproximadas como a correlação da Norton, que aplica coeficientes globais empíricos de transferência de massa, ou uma adaptação do método de fatores efetivos de Edmister proposta por CALDAS (1988). Qualquer procedimento de projeto ou avaliação mais complexo só se justifica após ter sido tentada uma abordagem mais simples.

- Determinação da altura da torre, do seu diâmetro e da perda de carga total:  
Ver item 4.2 para cálculos expeditos.

### **Torres de adsorção**

A adsorção costuma ser a segunda alternativa mais adequada, quando as diversas opções de Lavagem de gases não são suficientes para remover toda a carga odorífera. Segundo SHREVE (1977) o carvão ativo é capaz de adsorver praticamente qualquer solvente ou volátil orgânico a cerca de 38°C e desorve-lo quando aquecido a 121°C, sendo conveniente instalar sempre dois módulos de forma a não ter problemas nas paradas para regeneração. Um parâmetro importante é, por isso, o tempo de serviço **t** (em horas) entre duas operações de regeneração, que pode ser estimado pela expressão:

$$\text{Eq.11:} \quad t = 1,3 \times 10^4 \times ( P / Q C )$$

Onde: P...peso de carvão ativo (lb)  
Q....vazão do fluido(ft<sup>3</sup>/min)  
C....conc. do poluente (ppm)

Por suas vantagens, o carvão ativado será usado sempre que possível, desde que as condições do processo e as substâncias presentes permitam. Para o dimensionamento considera-se uma velocidade de 10 m/s para passagem dos gases no caso de remoção de odores (para solventes e outras substâncias pode-se adotar 20 m/s).

O custo de investimento varia na faixa US\$4 a 25 por pé cúbico por minuto de gás tratado, resultando num custo anual total da ordem de US\$100 / Std. CFM.

#### **Vantagens:**

- Remove gases e vapores em baixas concentrações, possibilitando retirada de compostos odoríferos;
- Material utilizado para adsorver pode ser regenerado periodicamente

#### **Desvantagens:**

- Rápida saturação do material adsorvente, caso ocorram concentrações mais altas;
- Na regeneração do adsorvente, o problema se transfere para a fase líquida;
- O processo de adsorção tem limitações quanto a temperatura e umidade

**Tabela 7:** Características de alguns materiais adsorventes (mais comuns):

Adsorvente	Área ativa (m <sup>2</sup> /g)	Volume dos poros (cm <sup>3</sup> /g)	Diâmetro (Angstroms)
Carvão ativado	500 a 1500	0,3 a 0,6	20 a 40
Sílica-gel	200 a 600	0,4	30 a 200
Alumina ativada	175	0,39	90

**Tabela 8:** Capacidade de adsorção relativa do Carvão ativado (exemplos)

**Grau 4: alta capacidade de adsorção (de 20 a 50% de seu próprio peso, média 33%)**

Mercaptanas	Odores hospitalares	Fumaça de cigarro
Óleos essenciais	Odores de perfumes	Odores corporais
Gasolina	Benzeno	Cresol
Ozonio	Fenol	Cloropicrina
Álcool etílico	Tolueno	Terebentina
Álcool butílico	Ácido acético	Tetracloro de carbono
Álcool butílico	Acido caprílico	Piridina
Álcool isopropílico	Acetato de etila	

**Grau 3: capacidade satisfatória (adsorve 10 a 25% de seu próprio peso, média 16,7%)**

Cheiro de fumaça(óleo diesel)	Acroleína	Gás sulfídrico
Acetona	Cloro	

**Grau 2: capacidade de adsorção razoável (requer estudo específico para boa utilização)**

Acetaldeído	Aminas	Compostos de cloro
Butano	Formaldeído	Propano

**Grau 1: baixa capacidade de adsorção (uso não recomendado, lista apenas ilustrativa)**

Etileno	Gás carbônico	Monóxido de carbono
---------	---------------	---------------------

(Esta lista de baixa capacidade de adsorção não é completa: referir-se a fontes especializadas)

Fonte: CETESB

**Incineração (tipo Flare, Catalítica ou Chama direta)**

Há emissões que são difíceis de serem tratadas e cujo impacto é insuportável, como processos de fabricação de celulose, de beneficiamento ou reaproveitamento de resíduos animais e outros similares, tendo se tornado tratamento obrigatório em lugares como Califórnia-EUA e



outros. É um tratamento com custos mais altos de instalação e operação, que só é adotado como alternativa em situações especiais. O custo de investimento costuma ser na faixa US\$4 a 15 por pé cúbico por minuto, levando a um custo anual total de US\$25 a 35 / Std. CFM. Frequentemente é instalado um Condensador antes da incineração, com a finalidade de pré-tratar, diminuindo a carga e o consumo de energia. O princípio de operação nos tratamentos por incineração é o de oxidação térmica em temperaturas que modificam a estrutura química dos poluentes.

#### Vantagens:

- Muito eficaz no controle de gases e vapores de origem orgânica;
- Também aplicável para oxidação de gases inorgânicos;

#### Desvantagens:

- Necessita de fornecimento de energia suplementar
- Libera CO<sup>2</sup> para a atmosfera
- Tem custo mais elevado para implantação e operação

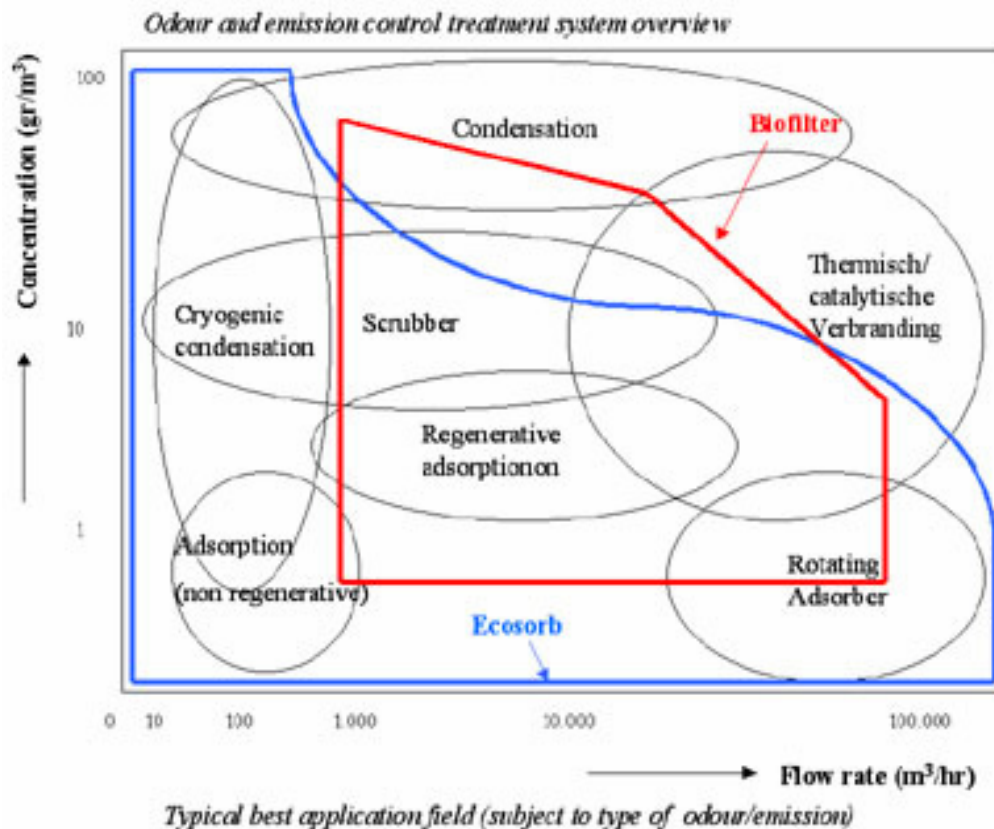
#### **Outros processos de tratamento menos comuns:**

Só são considerados para aplicações especiais, porém tem havido muitos novos desenvolvimentos interessantes, como apresentado mais adiante. Convém observar que o uso de ozonizadores vem sendo desaconselhado, especialmente em ambientes internos, devido a efeitos que podem ser prejudiciais à saúde humana. Quanto aos aditivos para disfarçar odores, tem o inconveniente de introduzir, de certa forma, mais poluente no ambiente e muitas vezes eliminam o efeito de advertência de eventuais odores.

No caso de odores de Estações de Tratamento de Efluentes e demais processos industriais envolvendo líquidos há outros tratamentos referidos, por exemplo em ROBBINS (2002).

A faixa ideal de aplicação e operação de cada sistema pode ser ilustrada pela orientação esquematizada no Gráfico seguinte, apresentado pela Lenntech:

**Figura 4:** Diagrama orientativo para escolha do tratamento de emissões atmosféricas



Fonte: <[www.lenntech.com](http://www.lenntech.com)> Acesso: Mai/2003.

Pode-se observar que, além dos processos clássicos para tratamento de emissões odoríferas já discutidos, aparecem no Gráfico duas possibilidades relativamente novas, para otimização do tratamento em condições específicas. Em vermelho é mostrada a faixa de aplicação para a Biofiltração e em azul está a faixa do produto neutralizador denominado Ecosorb patenteado pela empresa Odor Management Inc.

A Biofiltração tornou-se uma boa alternativa, a partir dos anos 80, para remover odores de grandes volumes de gases, em processos de regime estável como fermentações, tratamento de efluentes e esgotos, processamento de alimentos. É necessário que a composição e concentração dos gases se mantenha numa faixa bem estreita de variação, operando 7 dias por semana, durante longos períodos de tempo. Um sistema de biofiltração ocupa bastante para ser instalado.

O Ecosorb é aprovado pela EPA (Environmental Protection Agency) e FDA (Food and Drug Administration), que já está no mercado desde 1994 e apresenta resultados de testes muito positivos, certificados por instituições de pesquisa independentes. Ecosorb tem aplicação ampla, pois tanto pode ser adicionado por diluição em líquidos como também via spray. É formulado com óleos naturais, que são capazes de capturar eletrostaticamente uma gama de

moléculas de compostos orgânicos, depois neutralizando os odores por reações químicas. Também a Epoleon Corp. of America oferece o N-7C que é um produto similar, a um custo de US\$43 por tambor de 200Kg. Em alguns casos estes compostos podem dar conta do problema sozinhos, ou então complementar um sistema de tratamento deficiente. A remoção dos Lavadores pode atingir a faixa de até 95-99%, mas o que sobra ainda pode causar problemas. Estes compostos neutralizadores garantem uma redução no teor de H<sub>2</sub>S abaixo de 0,005 ppm, praticamente eliminando qualquer odor.

Uma interessante fonte de consulta sobre novos equipamentos e processos é o programa ETV- Environmental Technology Verification <[www.epa.gov/etv](http://www.epa.gov/etv)> que vem sendo desenvolvido pelo órgão ambiental americano EPA, em conjunto com várias partes interessadas, com o objetivo de testar cientificamente o desempenho real de equipamentos e sistemas para medição, monitoramento e tratamento, emitindo depois certificado de performance. Na área foco do presente trabalho, boa parte do programa é desenvolvido no Air Pollution Control Technology Verification Center, nas instalações do RTI International (Research Triangle Institute, USA). Uma das linhas de pesquisa lá desenvolvidas refere-se a avaliação de analisadores de gases extra-sensíveis, que são os mais capazes de efetuarem monitoramentos relativos a odores. Seu mais recente trabalho divulgou a certificação de um analisador contínuo para SO<sub>2</sub> capaz de efetuar medições na faixa de 0 a 10 ppb, confirmando características como precisão, limite de detecção e interferências.

As mesmas considerações se aplicam na escolha de processos tratamento e controle de emissões, onde a tradição e o uso generalizado não garantem um desempenho ambiental satisfatório. Dependendo dos problemas potenciais futuros, deve ser considerada a possibilidade de efetuar medições em instalações reais, que estejam operando com o processo na atualidade.

No processo de Licenciamento Ambiental, é importante que a consulta prévia ao órgão fiscalizador deve tratar de esclarecer quaisquer dúvidas que possam existir, evitando posteriores modificações e acréscimos de equipamentos na implantação do empreendimento.

## 2.9 Novas tecnologias disponíveis ou em desenvolvimento

### 2.9.1 Nariz Eletrônico

O Nariz Eletrônico (NE) é a ferramenta ideal para detecção, classificação e medição de odores, vapores e gases. Muitas pesquisas têm sido bem sucedidas recentemente ou estão em evolução no aprimoramento deste instrumento, sendo que em 2001 já havia cerca de 12 empresas comercializando diferentes modelos para aplicações específicas (SCHMIEDESKAMP, 2001). Isto é possível agora devido aos avanços no conhecimento dos sensores de materiais semicondutores, polímeros e transdutores de sinais, juntamente com a capacidade de processamento e análise computacional.

As principais diferenças para as abordagens tradicionais da química analítica são: automação, processamento muito rápido, sistema capaz de ser treinado com exemplos ou aprender com a própria experiência, usando Redes Neurais Artificiais, bem como capacidade para fornecer resultados qualitativos. Os NEs podem ser também bastante compactos, portáteis e capazes de realizar análises em tempo real. Uma boa fonte de referências é a entidade que congrega todos os interessados no Nariz Eletrônico, reunindo 16 centros de pesquisas e universidades, e 22 fabricantes com produtos no mercado, disponível em <<http://www.nose-network.org>>.

As principais aplicações para o NE são na indústria de alimentos, na medicina e na área ambiental em geral, além de outras. Para começar, ele poderá substituir ou complementar os Painéis Humanos com grandes vantagens. Na indústria de alimentos há um vasto campo para aplicações, tanto reduzindo a grande quantidade de análises químicas como criando novas possibilidades que ainda não existem, p. ex. controle de processos em cervejarias, laticínios, fermentação em geral, adições de odorantes e flavorizantes, qualidade e composição de matérias primas e produtos, entre outros. Na medicina pode ser uma importante ferramenta de diagnóstico, analisando odores do corpo como fluidos corporais e bafo da respiração. Também já tem sido testados para monitorar níveis de glicose em diabéticos, determinação de íons em fluidos corporais e detecção de tuberculose pulmonar, e muitas outras aplicações. No monitoramento ambiental a gama de aplicações é muito ampla, incluindo identificação de resíduos tóxicos, detecção de vazamentos ou emissões fugitivas, monitoramento da qualidade do ar interior e exterior, controle de emissões industriais, testes em avaliações ambientais de solo e água subterrânea, entre outras. Em todas estas aplicações o NE pode proporcionar vantagens quanto a custos, rapidez e facilidades, abrindo novas perspectivas na Proteção Ambiental.

O primeiro passo para o desenvolvimento dos NEs foi no começo dos anos 80, na Inglaterra, quando George Dodd, da Univ. Warwick, e Krishna Persaud, agora na Univ. Manchester, introduziram o conceito de ‘arranjo’ de sensores (array) para detecção de aromas. Inicialmente os sensores eram de óxidos metálicos e só funcionavam bem em temperaturas da ordem de 300°C. Evoluíram depois para sensores de polímeros, aproveitando o fato de alterarem suas propriedades, como a condutibilidade, quando expostos a gases ou vapores. A Osmetech foi a empresa pioneira, fundada em 1994, que adotou a tecnologia recém desenvolvida por Persaud. Outras tecnologias de sensores tem sido desenvolvidas com sucesso, como polímeros dopados com feixes de luz em fibras óticas, revestimentos organometálicos que mudam de cor em contato com moléculas de gases, combinados com aperfeiçoamentos em nanotecnologia. O sensor mais recente é composto de um receptor molecular revestido com cristal líquido, capaz de sinalizar visualmente quando em presença de determinados contaminantes, e como sua instrumentação é muito simples poderá ser portado pelas pessoas, para dar indicação cumulativa ou alarmar. Como amostra da evolução neste setor, a Cyrano Sciences Inc, que usa tecnologia do Instituto de Tecnologia da Califórnia (Caltec), está vendendo um NE por US\$8,000 que é do tamanho de um telefone celular, capacitado a uma gama de aplicações que os concorrentes por enquanto só podem oferecer a um preço muito maior.

O primeiro NE genuinamente brasileiro já se encontra em fase avançada de testes e com uma versão comercial sendo patenteada. O projeto teve início em 1995 em Recife, num convênio da Universidade Católica (UNICAP) com a Univ. Federal de Pernambuco (UFPE), custando até agora R\$ 1 milhão com financiamento do CNPq e FINEP incluindo pesquisas, formação de pessoal e construção de protótipos (LACERDA, 2003). Nos testes de controle de aguarrás na Refinaria Gabriel Passos, da Petrobrás, a margem de acertos deste NE tem sido 70%, rumo ao objetivo de 99,9% que os pesquisadores esperam alcançar.

No estágio atual, o hardware e software para Redes Neurais Artificiais estão bem desenvolvidos, porém ainda há muito a ser feito enquanto é desenvolvida miniaturização e simplificação do manuseio. As dificuldades maiores na tecnologia dos NEs ainda são os dispositivos sensores e sua adaptação para atender as diferentes aplicações, sendo curioso observar que os polímeros sensores interagem pouco justamente com os alguns odores mais incômodos: aminas (putrescina, cadaverina, etc) e tióis, que originam cheiros de peixe, gambá e ovos podres. As perspectivas são excitantes, mas com muitos desafios, podendo-se citar Joel White, da Univ. Tufts, que na aplicação de NE para o exército americano na detecção de minas reconhece que os cães ainda conseguem resultado cerca de 50 vezes melhor.

### **2.9.2 Detector de agentes químicos por ondas acústicas superficiais**

É sabido que as guerras modernas levam a um empenho extremo pelo desenvolvimento de novas tecnologias, pois isto já vem sendo fator decisivo desde a 2ª Guerra Mundial em meados do século XX. Sob a influência do 11 de Setembro em Nova York, há inúmeras pesquisas de ponta em desenvolvimento que poderão representar verdadeiros saltos no estado da arte. Na conferência anual de 2003, da AIHA (American Industrial Hygiene Association, <[www.aiha.org](http://www.aiha.org)>) K. Buchanan esboçou o que está sendo feito em relação aos desafios tecnológicos para defesa contra ataques químicos e biológicos. Um dos destaques é chamado JCAD – Joint Chemical Agent Detector, que já se encontra na fase de testes operacionais. Trata-se de um detetor portátil capaz de identificar e quantificar agentes químicos através de ondas acústicas superficiais (Surface Acoustic Wave technology). Tem uma grande capacidade para analisar aerossóis e poderá ter muita utilidade em inúmeras outras aplicações. Uma tecnologia similar já está sendo oferecida pela empresa Electronic Sensor Tech, de Newbury-CA, porém visando mais sensibilidade e precisão, mantendo suficiente portabilidade. Trata-se do chamado zNose: um cromatógrafo gasoso/ espectrômetro de massa que usa ondas acústicas para detectar moléculas voláteis, custa US\$20,000 aprox., completa uma análise em poucos segundos e já começou a ser usado na indústria alimentícia.

### **2.9.3 Micro indicador de gases portátil com receptores ancorados em Cristal Líquido**

Um protótipo vem sendo testado na Universidade de Wisconsin para indicar concentração em ppb de moléculas de baixo peso molecular pré-determinadas, tais como organoaminas e organofosforados (SHAH, 2001). A fabricação deste instrumento é simples e não requer instrumentação complexa, podendo vir a ser um medidor personalizado da exposição em tempo real ou acumulado, barato e que pode ser usado como um botão ou broche preso à camisa. O instrumento utiliza três princípios: (i) uma superfície sólida (tem sido usada uma camada ultrafina de ouro) dispõe de receptores químicos ancorados nela, que atraem fracamente as moléculas que formam a fase de cristal líquido orientando-a numa direção bem definida; (ii) os receptores atraem mais fortemente as moléculas da substância-alvo do que as do cristal líquido e muito mais fracamente outras moléculas que não são alvo; (iii) a superfície sólida possui uma conformação topográfica em escala nanométrica que direciona o cristal líquido a assumir uma orientação predeterminada, visivelmente distinta quando da ausência de atuação do receptor. Por exemplo, para detectar organoaminas foi usado um grupo de ácido

carboxílico(-COOH) como receptor molecular e 4-ciano-4'-pentilbifenil (5CB) como cristal líquido. Enquanto o grupo nitrila do 5CB pode ter uma atração de 10 a 40 kJ/mol com o grupo -COOH, uma organoamina terá atração pelo -COOH através de uma interação ácido-base muito mais forte, acima de 70kJ/mol. Espera-se um rápido desenvolvimento comercial deste instrumento.

#### **2.9.4 Processos de produção mais ecológicos: biotecnologia**

Modificações radicais em processos produtivos, principalmente na indústria química, podem trazer grandes perspectivas de redução dos impactos ambientais. É o caso do desenvolvimento de métodos biotecnológicos para substituir processos convencionais existentes. Como trabalho pioneiro pode-se citar o anúncio feito pela Monsanto, em 1999, de testes com plantas geneticamente modificadas, capazes de produzir plásticos. O processo consiste em implantar genes de bactérias produtoras de plásticos em plantas como colza e agrião. O carbono necessário à formação do polímero é retirado de CO<sub>2</sub> do ar pelo próprio processo de fotossíntese da planta. O sucesso agora só depende de que seja aumentado o rendimento, para viabilizar o novo processo na prática (WONGTSCHOWSKI, 2002).

Esta área se situa entre as pesquisas de ponta, propiciadas pelo grande salto alcançado através do conhecimento recente em Biologia.

#### **2.9.5 Novos recursos para pesquisar os efeitos dos contaminantes químicos**

Avanços em Biologia Molecular estão dando aos toxicologistas as ferramentas para investigar os fenômenos envolvidos com baixas concentrações/pequenas doses. Ao invés de ter que monitorar o surgimento de doenças – como desequilíbrio endócrino causado por poluentes que imitam hormônios, com efeitos graves mesmo em baixas concentrações – é possível agora identificar os sinais precursores críticos bem mais cedo, numa pesquisa mais rápida. Isto será muito útil para determinar ou reavaliar os Limites de Tolerância, bem como os efeitos dos poluentes em baixas concentrações.

A observação, direta e em tempo real, das modificações bioquímicas em células vivas é um recurso novo que está permitindo avaliar o efeito da exposição a múltiplos contaminantes simultaneamente e depois extrapolar as respostas para a escala maior do organismo. Isto foi possível ao serem geradas imagens (com novas técnicas de contraste) de células vivas usando ao mesmo tempo microscopia ótica e microscopia por ressonância magnética nuclear, no

Environmental Molecular Sciences Laboratory (EMSL); conforme informação disponível em <[www.emsl.pnl.gov](http://www.emsl.pnl.gov)> acessado em 30jan2002.

### **2.9.6 Novos processos para tratamento de emissões odoríferas**

Dentre as novas tecnologias em desenvolvimento há duas pesquisas feitas no Brasil, já em fase de requerimento de patente. Na Universidade Estadual de Campinas CANELA(1998) conseguiu até 99% de eficiência na destruição de compostos de enxofre, incluindo H<sub>2</sub>S e mercaptanas, usando óxido de titânio ativado por raios ultravioleta num dispositivo que permite fotocatalise em fase gasosa, obtendo êxito também ao tratar gases de esgoto bruto, confirmando com espectrometria de massa e painel sensorial humano.

Na Universidade Estadual Paulista, em Araraquara, OPRIME (2001) conseguiu acima de 99% de eficiência no tratamento de H<sub>2</sub>S utilizando um reator combinado químico-bacteriano, pela oxidação do gás em contracorrente com solução de íon férrico produzido por oxidação bacteriana (*Thiobacillus*) do íon ferroso.

### **2.10 Negociação de conflitos sócio-ambientais e formação de consenso**

Na atualidade os direitos do cidadão, tal como os do consumidor, estão bem definidos e legalmente reconhecidos, contando com apoio da mídia e da opinião pública. Por isso, as empresas precisam atuar com ética e cultivar uma imagem positiva, como atitude preventiva necessária, mesmo que não vendam produtos diretamente aos clientes finais. Na área ambiental, qualquer empresa que tenha potencial ou risco de vir a causar problemas deveria ser proativa em desenvolver contatos e canais de comunicação junto aos órgãos fiscalizadores, mídia em geral e seus diversos públicos externos, entre os quais destacam-se seus vizinhos. O ideal é garantir que a comunicação com as partes interessadas flua bem, pois com isso os conflitos serão detectados rapidamente, minimizados ou eliminados sem maior desgaste.

Este é o mesmo espírito que embasa um dos requisitos da ISO 9001:2000, na área de Qualidade, ao estabelecer que a satisfação dos clientes seja medida continuamente ou pelo menos a intervalos próximos e regulares. Subentende-se que ações corretivas serão tomadas sempre que necessário e seus resultados monitorados quanto à nova avaliação dos clientes. Nas questões ambientais, a vizinhança pode ser considerada como um dos principais clientes.



No caso específico dos odores, recentemente circulou uma série de notícias que culminaram com um artigo de página inteira no jornal Estado de S. Paulo envolvendo um condomínio situado próximo ao complexo químico da Rhodia, em Paulínia. Este condomínio foi lançado pela incorporadora na capital do estado como um refúgio no verde da natureza, porém ao lado de uma indústria que já estava lá há mais de 50 anos. Muitos são os responsáveis potenciais pelo problema, mas a fábrica química foi acusada como culpada, tendo recebido intimações e várias multas, sendo pressionada a uma solução urgente. Com isso se configura um problema complexo de solução muito trabalhosa, pois além dos aspectos técnicos ligados à emissão de odores, há o envolvimento de outras indústrias vizinhas potencialmente contribuintes para ocorrência dos odores, mas não apontadas como co-responsáveis. Tudo isso se amplifica, pois cada reclamante é uma parte interessada que tem que ser individualmente atendida, cada um deles por si suficiente para ser apoiado pela pressão dos órgãos fiscalizadores e da mídia.

Muitos estudos já tem sido realizados sobre como desenvolver estratégias para a negociação destes conflitos de caráter sócio-ambiental, procedimentos para identificação de possíveis parceiros e construção de alianças para aumentar as chances de estabelecer consensos entre as partes. São fatores influentes, nestes processos: a compreensão dos diferentes interesses em jogo e o respeito a cada um deles, o estabelecimento de uma comunicação adequada, e a transparência nos processos de negociação. Tudo isso, bem conduzido, pode aumentar as chances de se chegar a soluções do tipo “ganha-ganha” para todas as partes interessadas, porém lembrando que pode haver vantagens e desvantagens, a serem ponderadas, ao se buscar um consenso neste tipo de negociação.

Por isso, uma parte importante do problema, nas emissões de odores industriais, constitui-se no relacionamento com as pessoas incomodadas, quer elas se manifestem através de reclamações diretamente à empresa ou não. Observa-se que os que reclamam junto à empresa geralmente acreditam que é possível obter uma solução, esperam que a empresa tenha interesse, responsabilidade e competência para tomar providências que resolvam o problema. Neste caso, um canal de comunicação já terá sido aberto voluntariamente e é bom que seja bem aproveitado pela empresa pois os reclamantes, em geral, podem ser desenvolvidos para se tornar parceiros para colaborar:

- fornecendo as informações básicas sobre o impacto e na verificação da real abrangência do problema, pois são pessoas em geral mais comunicativas,
- no levantamento dos outros possíveis incomodados, que não reclamaram, podendo-se ter uma idéia das opiniões e do estado de ânimo das pessoas envolvidas, se possível identificando os que são potencialmente simpáticos e os inimigos da empresa,

- eventualmente para formar o Painel Olfativo que é fundamental para monitoramento e verificação do resultado de melhorias implantadas,

Em geral há pelo menos dois tipos de pessoas que não reclamam diretamente: as que não estão sendo afetadas e as que se incomodam, mas por alguma razão particular não reclamam diretamente. Deve-se lembrar que a sensibilidade olfativa varia numa faixa muito ampla e que só haverá mesmo reclamação geral se o problema for constante e de grandes proporções, o que na maioria das vezes não é o caso. Lidar com as pessoas que não reclamam diretamente, mas se incomodam, é mais difícil e delicado. Algumas delas é que provavelmente irá encaminhar sua reclamação a um órgão fiscalizador, o que só complicará mais o problema. É importante tentar identifica-las e na medida do possível tentar uma aproximação, pelo menos para obter suas opiniões e verificar até que ponto poderiam vir a ser parceiros confiáveis. Neste caso, se um canal for aberto, talvez se evite o envolvimento de algum órgão fiscalizador, pelo menos temporariamente, enquanto se conseguir manter a credibilidade da empresa junto a essas pessoas. Finalmente, é benéfico tentar envolver alguns dos que não estão sendo afetados pela emissão de odor, pois podem ajudar a monitorar através do Painel Olfativo e poderão estar mais propensos a aceitar alianças para apoiar a empresa, desde que o relacionamento com eles seja desenvolvido adequadamente. Isto pode trazer a vantagem de relativizar um pouco a questão e ajudar a acalmar os mais exaltados.

Estes contatos iniciais, ao surgir o problema, devem ser individuais com cada reclamante em particular. Somente depois de completado o levantamento inicial e uma avaliação global da situação é que devem ser aventadas estratégias para condução do problema e decidido se será vantajoso fazer uma abordagem em grupo junto às pessoas afetadas ou não.

## 2. PANORAMA DA INDÚSTRIA QUÍMICA E AGROQUÍMICA

Uma visão geral deste setor industrial se torna necessária para melhor situar o caso apresentado no capítulo 4, bem como para expandir a compreensão sobre este ramo de atividades industriais que tem fortes implicações ambientais, inclusive quanto a emissões atmosféricas, freqüentemente implicando em odores incômodos.

Não é por acaso que os países que se destacam na indústria química costumam ser os mais desenvolvidos e de maiores Produtos Internos Brutos. O Brasil não é exceção: situa-se entre os dez maiores produtores mundiais, apesar do faturamento anual total deste setor ser apenas equivalente ao que os EUA investem em pesquisas,. Trata-se de um setor fundamental, considerada uma indústria facilitadora ou viabilizadora, que fornece uma base para diversos outros setores, como indústria automobilística, têxtil, agricultura, pecuária e outros, representando um verdadeiro termômetro do grau de desenvolvimento de um país.

A definição de quais atividades estão enquadradas como Indústria Química não é muito simples, não havendo consenso quanto a uma única classificação. Os diversos segmentos deste setor são muito heterogêneos, seja quanto à gestão, clientes, tecnologias, processos ou condições de mercado. Qualquer análise ou classificação torna-se muito difícil devido ao limitado grau de generalização que é possível ser feito. Além disso, atividades tipicamente químicas costumam entremear outras que, no seu todo, efetivamente não o são. Tomando como base as classificações da ONU (Organização das Nações Unidas) temos a ISIC (Standard Industrial Classification of All Economic Activities), atualizada em 1990, que considera as diferentes Atividades, e a CPC (Provisional Central Product Classification), que classifica por Produtos e teve sua versão mais recente em 1991. As correspondentes classificações brasileiras são CNAE (Classificação Nacional de Atividades Econômicas) do IBGE, revisado em 1996, e o NCM (Nomenclatura Comum do Mercosul) do Ministério da Indústria e Comércio, atualizado em 1995.

Os agroquímicos, enquanto produtos, estão enquadrados na CPC 1991 como Divisão 34- Produtos químicos básicos, item 346- Fertilizantes e pesticidas. Como atividade, a indústria agroquímica se enquadra no ISIC rev. 3 como 2421- Produção de pesticidas e outros produtos agroquímicos.

A ABIQUIM passou a adotar a CNAE- Classificação Nacional de Atividades Econômicas a partir de 1998 e se baseia na sua Divisão 24 para enquadrar as empresas associadas.

**Tabela 9:** Segmentos da Indústria Química segundo a classificação CNAE

<b>Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE 1996)</b>		
<b>Divisão</b>	<b>Grupo</b>	<b>Denominação</b>
<b>24</b>		<b>Fabricação de produtos químicos</b>
	24.1	Fabricação de produtos químicos inorgânicos
	24.2	Fabricação de produtos químicos orgânicos
	24.3	Fabricação de resinas e elastômeros
	24.4	Fabricação de fibras, fios, cabos e filamentos contínuos artificiais e sintéticos
	24.5	Fabricação de produtos farmacêuticos
	24.6	Fabricação de defensivos agrícolas
		<u>Sub-Grupos:</u>
		Inseticidas, fungicidas, herbicidas e outros defensivos agrícolas.
	24.7	Fabricação de sabões, detergentes, produtos de limpeza e artigos de perfumaria
	24.8	Fabricação de tintas, vernizes, esmaltes, lacas e produtos atins
	24.9	Fabricação de produtos e preparados químicos diversos
		<u>Sub-Grupos:</u>
		Adesivos e selantes; explosivos; catalisadores; aditivos de uso industrial; chapas/filmes/papéis e outros materiais para fotografia; discos e fitas virgens; outros produtos químicos não especificados ou não classificados.

Fonte: IBGE, 1996.

Segundo WONGTSCHOWSKI (2002), na atualidade são produzidos no mundo cerca de 70.000 produtos químicos que podem ser de quatro grandes classes ou tipos:

- a) **produtos químicos básicos:** são produzidos em larga escala segundo especificações de composição química homogênea, em geral para servirem de componentes em outros produtos ou processos químicos; costumam implicar em alto consumo de energia e impactos ambientais; requerem grandes investimentos para compensar a sua pequena margem de lucro com economia de escala;
- b) **especialidades:** são considerados tecnologicamente mais avançados e produzidos em menor escala do que os básicos; costuma ser vendidos por especificações de desempenho e não por sua composição química; exemplos são adesivos, selantes, catalisadores, tintas, flavorizantes e fragrâncias, produtos para indústria eletrônica, lubrificantes, aditivos especiais, etc.; tem maior preço por serem protegidos por

patentes ou pouca concorrência devido a barreiras tecnológicas e de marketing; a inovação é fundamental e necessitam constante investimento em pesquisas;

- c) **produtos das ciências da vida:** são substâncias diferenciadas que interagem com seres vivos (homem, animais, plantas) para produzir resultados específicos; sendo exemplos os medicamentos farmacêuticos, vitaminas, produtos para diagnósticos, para a saúde animal e defensivos agrícolas em geral; a interação com a Biotecnologia vem sendo cada vez maior, na produção de sementes melhoradas e transgênicas; constituindo a classe de produtos de maior crescimento no mercado, com a maior margem de lucro, exigindo grandes investimentos em pesquisas que são protegidas por patentes, propiciando preços elevados.
- d) **produtos químicos ao consumidor:** são o tipo de produtos mais antigos, de química pouco complexa, cuja diferenciação em geral é a marca; exemplos são sabões, detergentes, pastas de dente, cosméticos, materiais para limpeza, entre muitos outros; dependem de boa logística, propaganda e marketing; sua produção envolve mais processos físicos do que reações químicas, sendo a fase de dosagem e embalagem a mais importante da produção.

**Tabela 10:** Indicadores característicos dos principais setores da Indústria Química nos EUA

<b>Características das classes de indústrias químicas nos EUA</b>				
<b>Característica</b>	<b>Químicos básicos</b>	<b>Especia- lidades</b>	<b>Ciências da vida</b>	<b>Produtos ao consumidor</b>
Tamanho do negócio (US\$ bi)	169	105	134	52
Preço típico do produto (US\$ /Kg)	<1,00	>2,00	>20,00	NA
Retorno típico % sobre capital (média 10 anos)	3,0	4,5	12,5	5,5
Crescimento do mercado (%PIB)	50-70	100-300	150-600	80-100
Gastos com Pesquisas (% sobre as vendas)	4 - 5	5 - 8	10 - 25	2 - 3
Despesas com saúde, segurança e proteção ao meio ambiente (% vendas)	4 - 5	2 - 4	1 - 2	1 - 2

Fonte: American Chemistry Council, 2000.

Uma característica marcante deste ramo industrial é a evolução constante com inovações tecnológicas, motivadas pela forte competição e sustentadas por constantes investimentos em pesquisas e desenvolvimento, que nos EUA em 2000 somaram 31,1 bilhões de dólares, distribuídos conforme o quadro anterior. Neste mesmo ano a Europa Ocidental investiu 19,3 e o Japão 12,0 bilhões de dólares respectivamente. Estes novos conhecimentos são protegidos por registro de patentes, que nos EUA tem crescido continuamente, passando de 5.500 em 1985 para atingir mais de 11.600 em 1999 (American Chemistry Council). Enquanto isso, as patentes européias ainda não ultrapassaram 4.000 por ano e as japonesas somente em 1998 romperam o nível de 2.000 registros, apesar dos altos investimentos. Todos os demais países do mundo, somados, têm conseguido um volume intermediário, sempre abaixo dos europeus. Isso mostra uma destacada maturidade e competência dos EUA nesta área crítica, contribuindo para aumentar seu predomínio no setor. Esta questão das inovações ou de novas rotas tecnológicas constitui um aspecto relevante na indústria química, caracterizando um fator de risco que tem gerado grandes influências no mercado. Inovações ocorridas em processos e produtos nos últimos anos tem potencial para afetar segmentos inteiros da indústria, por obsolescência ou não competitividade de custos. Um exemplo clássico foi a produção de metanol no Japão, que tinha 11 empresas produzindo 1,4 milhão de ton/ano em 1970, reduziu para 5 empresas já em 1977, depois uma só empresa com 196 mil ton/ano em 1994, para finalmente encerrar completamente a produção em 1995. Tudo isso por causa da entrada no mercado mundial da Methanex, uma empresa canadense que lançou uma nova estratégia de produção com preço sensivelmente mais baixo.

Já foi constatado que vem ocorrendo uma mudança de perfil na Indústria Química americana que prenuncia a tendência nos países desenvolvidos. Desde 1960, e marcadamente na última década, a participação dos produtos químicos básicos vem diminuindo (de 58 para 44% do total), enquanto aumenta a área de especialidades e principalmente os produtos das ciências da vida (de 16% para 43% do total). Esta evolução em parte se justifica por aumento da produção total, sendo que os produtos mais complexos tecnologicamente estão em franco desenvolvimento. Mas por outro lado tem havido transferência da produção menos sofisticada, mais poluente e de menor rentabilidade para países periféricos e em desenvolvimento. Exemplos dessa transferência são produtos básicos como metanol, ácido sulfúrico e amônia cujos percentuais de produção entre países desenvolvidos e os demais, no período de 1975 e 2000, sofreram uma inversão: os países desenvolvidos produziam entre 50% a 70% destes produtos e agora produzem entre 20% a 40% aproximadamente (Fonte: SRI Internacional).

No ano 2000 o valor da produção química mundial totalizou US\$ 1,67 trilhões, sendo que cerca de 68% estava concentrada nos 3 maiores centros produtores: Estados Unidos (28%), Europa Ocidental (27%), e Japão (13%), que são superavitários e os maiores exportadores. Na distribuição de faturamento típica por produto, tanto nos EUA como na Europa, predominam os produtos farmacêuticos (25%), ficando os agroquímicos com 3%. A quantidade de empresas, entretanto, é muito grande, sendo que as 30 maiores empresas mundiais representam apenas 22% da produção química global, estando 14 sediadas na Europa, 9 nos EUA, 5 no Japão, além de uma na Arábia Saudita e outra na China. Destas empresas, as maiores são BASF e DuPont, com faturamentos de 30,8 e 28,4 bilhões de dólares respectivamente. Desta lista, a única exclusivamente agroquímica é a Syngenta, com faturamento US\$ 6,8 bi no ano 2000. Quanto à escala de produção, constata-se que 75% do total é em escala superior a 1 milhão de toneladas/ano, ficando o restante pulverizado por um grande número de pequenas empresas, em escalas de produção bem mais reduzidas. Nos EUA em 1997, empresas químicas com até 50 empregados representavam 76% do total das indústrias químicas, demonstrando realmente a grande dispersão de cerca de 25% do total da produção do país. Este mesmo quadro foi observado na Europa e Japão, sendo aproximadamente válido também para o Brasil, segundo dados da ABIQUIM.

Comparando-se índices de produção e emprego, constata-se que, nos últimos 15 anos, nos EUA, a produção cresceu 48% com emprego estável, enquanto que na Europa a produção cresceu 55% com o índice de emprego caindo cerca de 12%. A produtividade em ‘vendas por funcionário/ano’ mais do que dobrou nas empresas líderes na última década, por exemplo na DuPont foi de US\$ 192 mil para 452; na Monsanto (líder em transgênicos na indústria agroquímica mundial) passou de US\$ 133 mil para 331 (WONGTSCHOWSKI). A agregação de valor se deu através de uma combinação de fatores, como reestruturação de negócios, fusões, concentração de produção, além da pesquisa e do desenvolvimento de tecnologias.

No Brasil o faturamento da indústria química em 2001 foi de US\$ 38 bilhões, sendo 51% relativos a produtos básicos de uso industrial, 21% de produtos das ciências da vida (farmacêuticos e agroquímicos) e 28% dos demais segmentos., conforme tabela a seguir.

O valor gerado corresponde a quase 10% do PIB nacional, mas mesmo assim o Brasil não produz o suficiente para atender às suas necessidades e importa dos grandes produtores mundiais, o que tem impactado significativamente na balança comercial do país. O déficit químico brasileiro cresceu de US\$ 290 milhões em 1983 para US\$ 7,2 bilhões em 2001, correspondendo a 25 vezes mais e representando 13% do total das importações.

**Tabela 11:** Faturamento dos principais segmentos químicos brasileiros

<b>Faturamento líquido da indústria química brasileira (ref. 2001)</b>		
<b>Segmento</b>	<b>Valor</b>	<b>Percentual</b>
Produtos químicos de uso industrial	\$ 19,6	51%
Produtos farmacêuticos	\$ 5,7	15%
Cosméticos	\$ 3,0	
Fertilizantes	\$ 2,8	
Agroquímicos	\$ 2,3	6 %
Sabões e detergentes	\$ 2,0	
Tintas e vernizes	\$ 1,4	
Outros	\$ 1,5	
<b>TOTAL</b>	<b>US\$ 38,3 bi</b>	

Fonte: ABIQUIM

Durante a década de 90 este setor industrial no Brasil sofreu dois grandes impactos: primeiro as drásticas modificações estruturais, reflexo do que ocorreu mundialmente com inúmeras fusões, vendas e redefinições de negócios, e segundo a abertura do mercado brasileiro, que coincidiu com o fenômeno da globalização e que encontrou a indústria nacional despreparada para essa competição. Esta combinação de fatores fez com que a indústria nacional se contraísse – ao contrário do que aconteceu nos centros produtores mundiais – ocasionando o fechamento de fábricas, concentração da produção, paralisação de programas de pesquisa, cancelamento de investimentos, aumento das importações, racionalização drástica de operações e redução de pessoal. Uma indicação disso foi a redução em 58% do nível de emprego neste setor da indústria entre 1990 e 2001 (WONGTSCHOWSKI). Pesquisa recente divulgada pelo Banco Mundial mostrou que nos últimos 15 anos o Brasil perdeu 20% dos seus empregos industriais, no pior desempenho entre os 30 países mais industrializados. Seja como for, pode-se afirmar que a indústria química constitui a parte mais importante da indústria de transformação brasileira.

Em relação ao futuro deste setor, observa-se que a produção química tem aumentado continuamente, sendo que o crescimento da demanda se manteve maior do que o crescimento do PIB mundial durante décadas, caindo abaixo deste somente nas décadas de 80 e 90. Os produtos das ciências da vida – aí incluídos os agroquímicos -- são uma exceção, pois continuavam em alta demanda, numa proporção 50% maior que o crescimento do PIB durante



a década de 90 (American Chemistry Council). O comércio químico internacional, por sua vez, tem crescido a taxas constantes, superiores à própria produção, sendo que em 1970 as exportações químicas mundiais representavam 13% da produção total, já atingindo 34% em 2000. Estes dados são indicativos de que continuará a haver uma grande pressão pelo aumento da produção e da produtividade, acirrando a competição, a busca de novos desenvolvimentos tecnológicos e aperfeiçoamento das práticas de gestão.

Deve-se registrar como uma perspectiva importante para a Indústria Química, a provável substituição futura, gradativa, dos Hidrocarbonetos (fonte de matéria prima para boa parte dos produtos químicos básicos) por matérias primas de origem biológica. Também chama a atenção o uso de processos biotecnológicos, como na produção de riboflavina e lisina (Procter & Gamble). Já existem tecnologias para a produção de fibras artificiais e resinas a partir de matérias primas vegetais, inclusive motivadas pela necessidade de diminuir os impactos ambientais. Há processos que já permitem produzir, por exemplo, plásticos para embalagens a partir de glicose da cana de açúcar (IPT e Copersucar), resinas termoplásticas usando milho ou soja (Cargill e Dow), que são rapidamente biodegradadas. Na agroquímica o exemplo mais em evidência é o da soja transgênica que continua sendo motivo de polêmica, mais pelas incertezas potenciais do que pelas certezas da pesquisa e da prática. As sementes geneticamente modificadas e patenteadas pela Monsanto já vem sendo plantadas e a soja consumida há vários anos, sem problemas aparentes, em diversos países. As indicações são de que aumenta a lucratividade do agricultor e diminui a necessidade da aplicação de agroquímicos, mas condiciona ao uso exclusivo das sementes e dos produtos da própria Monsanto. As incertezas – motivo dos temores e da polêmica – são tipicamente inerentes aos próprios avanços tecnológicos e ao caráter dialético da ciência, demandando que sejam esclarecidos os pontos mais relevantes através de pesquisas específicas.

Portanto, de uma maneira geral, tudo indica que a Química e a Biologia estão desenvolvendo cada vez mais sinergia para criar novos processos e produtos mais ecológicos, com o que se espera também diminuir os impactos sobre o meio ambiente e sobre as pessoas.

### **3. ESTUDO DE CASO:**

## **CONTROLE DE EMISSÃO DE ODORES EM INDÚSTRIA AGROQUÍMICA**

### **4.1 Apresentação da situação real**

A fábrica está localizada na Av. Basiléia 590, Bairro Manejo, em Resende em uma área que foi enquadrada como industrial e comercial pela Lei Municipal 1799 / 92, do Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano que instituiu a planta de zoneamento. Sua sede administrativa está localizada em São Paulo / SP e a matriz em Basiléia, Suíça.

A fábrica opera em Resende com a razão social SYNGENTA – Proteção de Cultivos Ltda. desde 01/02/2001, em instalações próprias que pertenciam a Novartis Agribusiness Ltda. desde 03/04/2000 e anteriormente a Novartis Biociências S.A., desde 01/01/1997, e que pertenceram a Sandoz - Divisão Agroquímica, de 1983 a 1997 e a IQR – Indústrias Químicas Resende, de 1976 a 1983. Trata-se de uma história empresarial típica neste setor, que vem se caracterizando por aquisições, desmembramentos, reestruturações e fusões.

Está instalada em um terreno de 164.000 m<sup>2</sup>, sendo 36.500 m<sup>2</sup> de área fabril com construções (prédios cobertos) ocupando 21.094 m<sup>2</sup>. Possui na maior parte de seu entorno áreas de cinturão verde. Essa área está situada vizinha a uma área industrial maior, que pertence a Clariant S/A., que é a sucessora da IQR. Como as empresas tem uma origem comum no grupo Sandoz, grande parte da infra-estrutura que atende a Syngenta é operada pela Clariant e nela está localizada. Sendo assim, a fábrica da Syngenta não tem sistemas de incineração de resíduos, nem aterro industrial, nem estação de tratamento de efluentes: realiza apenas seu pré-tratamento para adequar às condições de recebimento na Clariant.

A fábrica se destina a produzir agroquímicos, incluindo inseticidas, fungicidas e herbicidas para uso na agricultura. Possui duas plantas de síntese: uma inorgânica, onde fabrica produtos a base de cobre a partir da reciclagem de sucata metálica; outra de síntese orgânica, onde fabrica organofosforados, especializando-se na produção de Disulfoton, um inseticida também conhecido como ácido dietilditiofosfórico ou disulfoton sulfone. Entretanto, grande parte das matérias primas e substâncias ativas são compradas de terceiros, sendo algumas importadas. A maior parte da atividade fabril constitui-se, portanto, na formulação de produtos finais (preparo e misturas de ingredientes) e embalagem. As substâncias ativas, que são o ingrediente mais importante e agressivo, costumam representar um percentual muito pequeno, quase sempre inferior a 5% do produto final, sendo a maior parte da composição representada por um veículo sólido ou por um solvente líquido, que é água sempre que possível.

**Figura 4:** Vista geral da fábrica agroquímica da Syngenta, em Resende-RJ



O eixo principal da planta (da direita para esquerda, subindo) coincide com a direção dos ventos predominantes, que costumam seguir o leito do Rio Paraíba no sentido sul-norte, sendo que o rio fica localizado cerca de 800 metros à esquerda do eixo principal, paralelo à planta.

A seguir são descritas sumariamente as duas áreas com potencial para emissão de odores, acompanhada do histórico e análise geral do problema de odores.

#### PLANTA DE FORMULAÇÃO DE SUBSTÂNCIAS ATIVAS (FSA)

Um diagrama de blocos do processo se encontra no Anexo V para facilitar o entendimento do processo, que conta com os seguintes equipamentos principais:

- 3 Reatores vitrificados, cap. 4m<sup>3</sup>
- 3 Tanques misturadores;
- 3 Tanques de armazenagem 10m<sup>3</sup>
- Sistema de geração de frio, com NH<sub>3</sub>; Monoetileno glicol e água gelada
- 1 Centrifugadora
- 1 Secador Rotativo de Tambor
- 1 Caldeira 2t/h a 13 kPa
- 2 Absorvedores de 3m<sup>3</sup>
- 2 Lavadores Venturi de alta turbulência
- 4 Tanques 15 m<sup>3</sup> de armazenagem e tratamento de efluentes;

Trata-se de uma instalação compacta multi-propósito para realização de sínteses orgânicas, contendo um conjunto-padrão de equipamentos usual neste tipo de instalação.

No caso da planta de Resende essa instalação sempre operou produzindo o Disulfoton, sendo as duas reações iniciais (i) Hidroxietil Etilsulfeto com Ácido Clorídrico gerando Beta-Cloroetil etilsulfeto e água; (ii) Pentasulfeto de Fósforo com Álcool Etílico gerando Dietil-ditiosulfato de fósforo e gás sulfídrico; reagindo-se finalmente os dois produtos obtidos para sintetizar o Disulfoton (pesticida organofosforado).

A neutralização do gás sulfídrico gerado é feita em Absorvedores através da reação com Hidróxido de Sódio. Os traços remanescentes de H<sub>2</sub>S necessitam passar por tratamentos adicionais por causa da sensibilidade olfativa humana em relação a esta substância. Sabe-se também que há presença de alguns outros compostos de Enxofre, por reações secundárias ou decomposição de pequenos teores nas águas de lavagem, que podem caracterizar emissões de mau odor no pré-tratamento de efluentes realizado a jusante deste processo. Além disso, este processo de absorção gera considerável quantidade de Sulfidreto de Sódio NaHS que passou a ser vendido como sub-produto e que também tem cheiro desagradável.

#### FORMULAÇÃO DE INSETICIDAS LÍQUIDOS (IL)

Esta planta refere-se à formulação e embalagem de Inseticidas e Fungicidas Concentrados Emulsionáveis, à base de Organofosforados, Triazóis, Aciluréias, Benzilatos, Piretróides, Tiocarbamatos, Alquifenoletoxilados, Glicosídeos, Hidrocarbonetos destinados à aplicação em lavouras.

A instalação possui como principais equipamentos:

- 3 Tanques misturadores;
- 4 Tanques de armazenagem;
- 1 Máquina envasadora automática p/ 1 L;
- 1 Máquina envasadora automática para 5, 10 e 20 L;
- 1 Fechadora de caixas automática;
- 1 Moinho coloidal;
- 1 Moinho NETZSCH.

Todos os equipamentos da planta estão ligados ao sistema de exaustão e conectados a um lavador, onde os gases do processo são tratados em um Torre Recheada, usando um solução absorvente de Hidróxido de Sódio (soda, NaOH) a 4% em água, combinada com Hipoclorito de Sódio para promover a oxidação.

Os odores mais prováveis estão ligados aos solventes utilizados na formulação de determinados produtos líquidos (principalmente Xilol, sendo o restante a base de água).

Quanto aos componentes ativos, são usados em percentual muito pequeno, tornando reduzidas as probabilidades de incomodarem.

#### HISTÓRICO DO PROBLEMA DE ODORES:

As reclamações de mau odor começaram em 1993, ocorrendo uma a cada 26 toneladas de Substância Ativa produzida na FSA, evoluindo posteriormente nos anos seguintes.

**Tabela 12:** Quantidade de reclamações/ano comparada com a tonelagem produzida

Ano	Total de reclamações	ton de SA / reclamação
1994	86	11,05
1995	35	25,87
1996	19	49,80
1997	5	315

O maior potencial era sem dúvida na FSA porque o processo é muito mais complexo e envolve compostos de enxofre, a partir da matéria prima principal que é o Pentasulfeto de Fósforo (pó), havendo produtos intermediários e geração de gás sulfídrico que passa por bateria de absorvedores, tratando-se os gases posteriormente em 2 venturis em seqüência, sendo que os gases coletados em sistema de exaustão são tratados em uma torre recheada.

A visão que se tem hoje é de que o problema surgiu em função de uma maior sensibilidade e preocupação por parte das pessoas, porém o fato deflagrador foi a construção de um prédio de 12 andares a cerca de 1Km da fábrica, na direção dos ventos predominantes. Num levantamento realizado, quase todas as reclamações vinham dos moradores deste prédio, ou seja, a dispersão das emissões, que podia ser considerada satisfatória, deixou de se-lo após a construção deste prédio.

## 4.2 Considerações técnicas e teóricas

### Levantamento das prováveis fontes de odores e providências iniciais

As avaliações acabaram focando no processo da FSA, com diversas fontes a verificar:

1. Solução saturada nos Absorvedores, deixando passar muito  $H_2S$  sem absorver
2. Liberação de pressão inadequada nos Reatores, após transferência do produto;
3. Reação muito rápida devido a taxa de adição de reagentes, liberando  $H_2S$  em excesso;
4. Alta temperatura durante o Pré-tratamento de efluentes;
5. pH em faixa inadequada durante este Pré-tratamento;

6. Baixa concentração de hipoclorito de sódio  $\text{NaOCl}$  ou de hidróxido de sódio  $\text{NaOH}$  no tratamento de gases de exaustão;
7. Pequenos descuidos ou procedimentos inadequados em tarefas periféricas como limpeza de tambores usados, descontaminação de equipamentos, etc.

Foi feito um plano de ação onde se levou em consideração a prioridade devido à importância e também os itens que eram de implementação rápida. A diminuição nas reclamações registradas em 1995 já foram reflexo da 1<sup>a</sup>. etapa de ações que foram correspondentes aos itens 1, 2, 3 e 7.

O item 4 foi implementado em 1995 através da adição de água gelada a 4°C nos momentos críticos do processo de pré-tratamento de efluentes. Isto deu uma contribuição claramente detectada na redução da emissão de odores e nas reclamações.

Os itens 5 e 6 requereram mais estudo e testes, que demandaram muito tempo em função de ser um desenvolvimento. Aliado a isto iniciou-se a avaliação dos equipamentos de tratamento, conforme descrito a seguir.

#### AVALIAÇÃO DE CAPACIDADE DA TORRE DE LAVAGEM EXISTENTE

Foram feitos vários estudos sobre o sistema de tratamento existente, para verificação da adequação ao processo, especialmente das características e das condições de operação da Torre. As abordagens teóricas para isso são bastante complexas e trabalhosas, mas há procedimentos expeditos considerados aceitáveis. THEODORE (1996) apresentou um procedimento simplificado para avaliação ou pré-dimensionamento do diâmetro e da altura de uma Torre Recheada. Louis Theodore é professor universitário muito conhecido, instrutor da EPA durante mais de 20 anos e tem cerca de 50 manuais e trabalhos publicados. Neste estudo ele faz algumas hipóteses simplificadoras razoavelmente compatíveis com o que se encontra na prática:

- Como regra geral o diâmetro dos anéis de enchimento varia com o diâmetro da Torre e costumam ter 1 polegada de diâmetro para Torres com  $D = 3 \text{ ft.}$ ; para diâmetros menores que 3ft usam-se anéis menores que 1 in. e vice-versa;
- A vazão em massa, tanto do líquido quanto do gás, num absorvedor em contracorrente, costumam ficar na faixa 1.500 a 2.000 lb/h por  $\text{ft}^2$  de seção transversal; sendo que para gases difíceis de serem absorvidos se recomenda aumentar a vazão de líquido e diminuir a vazão de gases;

- Velocidade superficial do gás (se a coluna estivesse vazia) ficam na faixa de 3 a 6 ft/s, sendo 4 ft/s o valor mais comum de se encontrar; com os valores mais altos aplicáveis aos enchimentos plásticos e os mais baixos a enchimentos de cerâmica;
- Para avaliar a altura do enchimento (fator isolado mais importante para a performance da Torre) estima-se primeiro a altura unitária de transferência de gás  $H_{OG}$  (ft) em função do diâmetro do anel usado no enchimento ( $H_{OG} = 1,00$  para anel de plástico com diâmetro 1,00 polegada) e depois estima-se o número de transferências unitárias de gás  $N_{OG} = \ln ( C_e / C_s )$  onde  $C_e / C_s$  é a relação entre as concentrações de entrada e saída do gás a absorver, em ppmv. A maioria das Torres de absorção usa soluções a base de água, cujos comportamentos físico e químico não diferem significativamente daqueles da água pura, podendo-se adotar valores aproximados.

**Tabela 13:** Valores a serem adotados para Altura do Enchimento de Torres Recheadas

Valores estimados de $H_{OG}$ (ft.) usando água		
Diâmetro dos anéis de enchimento (in.)	$H_{OG}$ (ft.)	
	Enchimento Plástico	Enchimento Cerâmico
1,0	1,00	2,00
2,0	1,50	3,00
3,0	2,25	4,50

Fonte: CALDAS, 1988.

- A altura  $Z$  (ft) de enchimento na Torre é calculada por  $Z = H_{OG} \times N_{OG} \times SF$  ; onde  $SF$  é um fator de segurança que pode variar de 1,25 a 1,50.
- A perda de carga nas Torres Recheadas geralmente varia de 0,145 a 0,40 in  $H_2O$  por pé de altura de enchimento. Nas aplicações para controle de poluição atmosférica, uma perda de carga média de 0,2 in  $H_2O/ft$  é compatível com enchimentos plásticos, para cerâmica sugere-se 0,25.
- O diâmetro é estimado pela área  $S$  ( $ft^2$ ) da seção transversal da Torre: assumindo uma velocidade superficial média dos gases de 4 ft/s a área da seção é dada por  $S = q / 4$  , onde  $q$  é a vazão volumétrica do gás ( $ft^3/s$  ou acfs).
- A perda de carga na torre  $\Delta P$  (in.  $H_2O$ ) é estimada por  $\Delta P = 0,2 Z$

Há outras maneiras de contornar o cálculo teórico mais exato para dimensionamento e verificação. A tabela seguinte é também uma orientação bastante útil.

**Tabela 14:** Estimativa da altura de enchimento Z (ft), segundo THEODORE

Eficiência	Diâmetro dos Anéis de Plástico, in.			Diâmetro dos Anéis Cerâmicos, in.		
	1 in.	2 in.	3 in.	1 in.	2 in.	3 in.
63,2	1,0	1,5	2,25	2,0	3,0	4,5
90,0	2,3	3,45	5,25	4,6	6,9	10,4
95,0	3,0	4,5	6,75	6,0	9,0	13,5
99,0	4,6	6,9	10,4	9,2	13,8	20,7
99,5	5,3	8,0	11,9	10,6	15,9	23,8
99,99	9,2	13,8	20,7	18,4	27,6	41,4

Fonte: THEODORE, 1996.

Quanto às condições de operação, uma referência muito útil para avaliação expedita do coeficiente global de transferência de massa por absorção é usar a correlação empírica desenvolvida pela Norton, junto com uma tabulação de valores citada por CALDAS (1988:143), obtida dela:

**Tabela 15:** Alguns sistemas testados segundo a correlação da Norton: valores de  $C_1$ 

Nº do sistema	Componente absorvido	Solvente (%)	Relação soluto/reagente	$C_1$ ( $\times 10^3$ )
1	CO <sub>2</sub>	NaOH (5%)	CO <sub>2</sub> /Na=0,125	1,64
2	CO <sub>2</sub>	KOH (4%)	CO <sub>2</sub> /K=0,125	2,21
3	NH <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O	---	12,28
4	Cl <sub>2</sub>	NaOH (5%)	Cl/Na<0,95	15,35
5	H <sub>2</sub> S	H <sub>2</sub> O	---	0,29
6	H <sub>2</sub> S	NaOH (4%)	S/Na=0,25	4,43
7	H <sub>2</sub> S	MEA (17%)	S/MEA=0,3	5,75
8	SO <sub>2</sub>	NaOH (30%)	S/Na=1 a 1,2	4,43

Fonte: CALDAS, 1988.

Conforme a tabulação, foi considerada na avaliação empírica uma relação soluto/reagente de  $S / Na = 0,25$  para gás sulfídrico absorvido em solução aquosa de hidróxido de sódio a 4%, em geral bastante utilizada na prática e que coincidia com a situação em questão.



**Tabela 16:** Constante de caracterização do recheio  $C_2$  segundo a correlação da Norton

Tipos	1 in. (25mm)	1,5 in.	2 in.	3 in.
Hy-Pack	0,82	0,69	0,59	0,40
Anel Pall (P)	0,64	0,59	0,51	0,35
Anel Pall (M)	0,80	0,69	0,59	0,40
Intalox (C)	0,69	0,61	0,53	0,37
IMTP	1,0	0,83	0,70	0,55

Utilizando-se então uma constante de sistema  $C_1 = 3,28 \times 10^3$  (mol de soluto por mol de solvente reagente) e uma constante de caracterização de recheio (para Anéis de Pall plásticos)  $C_2 = 0,64$  pode-se entrar na fórmula da correlação empírica da Norton com os dados reais de velocidade média da fase líquida, velocidade dos gases na entrada e pressão parcial do componente absorvido, tornando-se possível estimar o coeficiente global de transferência de massa da fase gasosa, principal parâmetro das condições de operação da torre. A fórmula da Norton a ser utilizada é:

$$\text{Eq. 12:} \quad K_{OG} \cdot a = C_1 C_2 (V_L)^{0,17} (F_s)^{C_3} (P_i)^{-0,21}$$

Onde:  $K_{OG} \cdot a$  .....é o coef. global de transferência de massa da fase gasosa, mol/(s.m<sup>3</sup>.Pa)  
 $V_L$  .....velocidade específica da fase líquida (média aritmética da entrada e saída), m/s  
 $F_s = V_G \sqrt{\rho_G}$  ..... expresso em  $\sqrt{\text{kg/m}^3 \cdot \text{s}}$   
 $V_G$  ....velocidade superficial do gás na entrada, m/s  
 $\rho_G$  .....densidade do gás nas condições de processo na entrada, kg/m<sup>3</sup>  
 $P_i$  ..... pressão parcial do componente absorvido nas condições de entrada, Pa  
 $C_1 C_2$  ..... constantes do sistema e do recheio, obtidas de tabelas  
 $C_3$  ..... = 0,05 para sistemas que possuem a resistência controlada no filme líquido (era o caso em questão, tendo-se H<sub>2</sub>S em solução de NaOH)  
 $C_3$  ..... = 0,66 para sistemas controlados pela resistência do filme gasoso

Foram computadas várias avaliações, utilizando diferentes condições de operação que poderiam ocorrer no caso prático em questão, bem como adotando hipóteses razoáveis sobre as faixas de algumas variáveis cuja medição precisa, na prática de fábrica, é difícil de ser realizada. A conclusão foi de que a Torre tinha capacidade para atender às condições consideradas, com desempenho que deveria ser satisfatório.

Avaliação das condições de operação do sistema de tratamento de gases

Foi observado que, até então, não havia muita atenção dos operadores em relação a este processo, provavelmente porque era relativamente secundário e parecia estar bem. Além disso, não havia também procedimento formal estabelecido para controle operacional. As concentrações de aditivos não eram controladas e mantidas em condições determinadas nem havia qualquer acompanhamento de parâmetros como pressão de exaustão, perda de carga nos Lavadores, vazões de gases e de lixívia, etc.

Constatou-se através de pesquisas, e nos testes posteriores, que o pH da solução lavadora pode ter um efeito decisivo no êxito do processo de tratamento. Chegou-se a conclusão que as mercaptanas presentes tem solubilidade baixíssima em meio ácido, tornando a lavagem ineficiente. Concluiu-se que a faixa de operação ótima poderia ser em meio básico com pH de 9 a 12 o que foi corroborado em diversas fontes, como BELLI (1999) que indica um rendimento de 85 a 95% com  $\text{pH} > 10$  para este processo de absorção com hipoclorito de sódio em presença de hidróxido de sódio.

### **4.3 Providências e ações corretivas adotadas**

A experiência confirmou que se deve fazer um plano abrangente de longo alcance, porém as ações devem ser adotadas por etapas, implementando-se as mais simples, baratas e imediatas primeiro. A medida que as etapas vão se concretizando é feita a avaliação de sua efetividade, enquanto em paralelo vão sendo estudadas e amadurecidas outras ações complementares que serão detalhadas e implantadas conforme se constate a necessidade, ao longo do processo. No caso em questão, os ajustes do processo de tratamento das emissões juntamente com a melhoria nos cuidados operacionais foram suficientes para controlar o problema de odores. Entretanto, em paralelo já estavam em estudo modificações na Torre e negociações para testar um tratamento adicional usando unidades compactas de adsorção a carvão ativado.

Entre as principais providências e ações tomadas podemos destacar:

#### Procedimento para tratar as reclamações

O procedimento foi similar ao adotado por outras empresas, iniciando-se com um treinamento de conscientização com todas os colaboradores envolvidos, explicando o problema, as providencias já tomadas, sua importância, bem como o procedimento que se esperava de cada um, conforme suas funções. O conjunto de documentos da Fras-le que estão anexos são um exemplo de um procedimento completo para tratar reclamações. No caso em estudo, devido à decisão de atacar o problema escalonadamente, não se chegou a estabelecer uma rede formal de Sensores Humanos, pois o problema foi controlado antes.

O tratamento das reclamações é relativamente simples e pode dar uma contribuição fundamental à solução do problema, mas é preciso um acompanhamento rigoroso para obter os melhores resultados, tal como descrito nas recomendações a seguir.

#### Testes com aditivos neutralizadores no tratamento de gases

Foram feitos diversos testes com produtos da Epoleon, similares ao Ecosorb, sempre comparando com o tratamento convencional já existente. O que se concluiu foi que o tratamento convencional com NaOCl e NaOH passou a dar resultados equivalentes após ser estudado e otimizado.

#### Otimização do tratamento nas Torres Recheadas existentes

Foi desenvolvido um estudo abrangente sobre as características operacionais e construtivas, bem como dos parâmetros do processo. Isto foi feito em paralelo com a reavaliação e melhoria dos procedimentos operacionais, gerando finalmente um documento formal no Sistema da Qualidade: Instrução de Processo nº 125, aprovada oficialmente em Março de 1998, após um período de experiências e ajustes.

A principal constatação foi a importância relevante do controle dos teores de NaOCl entre 5 e 6% e NaOH mantido em torno de 4%, de modo a ajustar o pH num mínimo de 10 e máximo de 11. Isto implicou num conjunto de ações periódicas para manter o processo de tratamento em suas condições ideais. Esta constatação relativamente simples foi uma das mais importantes contribuições para a solução do problema.

#### Acompanhamento das condições meteorológicas

Para indicação da direção do vento havia um antigo dispositivo, construído artesanalmente na própria fábrica. Foi decidido instalar um dispositivo padronizado, conforme NBR 12.647, constituído por uma biruta de sinalização (em cone de poliéster resinado, cor Amarelo Segurança, com boca de entrada Ø50cm e boca de saída Ø20cm, comprimento 2,5m), com dispositivo giratório montado num mastro tubular de 2m que foi fixado no topo do prédio mais alto, localizado aproximadamente no centro da fábrica. Isto coincidiu de ficar perto do topo da chaminé da área de Síntese, ponto mais provável da emissão. A biruta foi instalada junto com uma luminária de 100w a prova de tempo, acionada por fotocélula, de modo a permitir boa visibilidade pelos vigilantes do portão principal da fábrica. Este é um dispositivo útil também para auxiliar em situações de incêndio ou incidente químico e não apenas para controle de emissões. Uma vantagem adicional desta biruta é que permite fazer uma

estimativa aproximada da velocidade do vento, conforme esteja esticada na horizontal (vento forte), meio arriada, muito caída (vento fraco) ou totalmente caída (nenhum vento).

Existe a alternativa de instalar uma mini-estação meteorológica, que registre automaticamente os dados completos, incluindo medição da velocidade do vento, temperatura e umidade: custará muitas vezes mais que os R\$2.800,00 de uma biruta padronizada mas fornecerá dados mais precisos e confiáveis, para o caso de documentar junto à fiscalização ou judicialmente.

#### Acompanhamento das condições de exaustão na chaminé:

Foram realizadas amostragens na chaminé principal da FSA com coleta de amostras e análise segundo método NIOSH S8 Espectrofotométrico, porém os teores se mostraram muito baixos e a mistura de outros componentes tornou as medições pouco esclarecedoras. Além disso estas amostragens em chaminé ainda são pouco práticas e relativamente caras, não sendo viáveis para monitoramento ou acompanhamento freqüente de resultados.

#### Relacionamento com a comunidade vizinha

Este problema tem aspectos técnicos, internos à empresa, e aspectos de relações públicas, com a comunidade afetada, sendo freqüentemente este último o mais difícil de conduzir. Se não houver uma resposta satisfatória no início, logo haverá também desdobramentos com a mídia e com órgãos de fiscalização ambiental, o que pode complicar bastante a solução.

Em relação à comunidade reclamante, aplica-se antes de tudo, o Princípio Democrático do Direito Ambiental brasileiro, relativo a divulgação e direito de acesso às informações pertinentes. As pessoas têm o direito de saber o que se passa, os riscos a que estão eventualmente expostas e as providências corretivas que estão sendo tomadas. Quase como regra geral, o aspecto mais relevante costuma ser o psicológico. Devido a preocupação que existe atualmente com casos de poluições perigosas e acidentes fatais já ocorridos mundo afora, qualquer odor de substância química próximo a uma indústria parece extremamente ameaçador às pessoas afetadas. Quando na verdade tudo parece se limitar – na grande maioria dos casos – ao incômodo olfativo. Portanto, para minorar o mal estar da população é necessária boa divulgação das informações para as partes interessadas.

Para aumentar a transparência foi instituído um dia de visitaçao denominado “Casa Aberta”, para o qual os familiares dos empregados, autoridades e a vizinhança (incluindo reclamantes e colaboradores voluntários) foram especialmente convidados. Neste dia algumas atividades tiveram que ser reduzidas para permitir o acesso de grupos guiados por empregados previamente orientados (de preferência acompanhando familiares, amigos ou vizinhos) de modo a não haver necessidade do uso de Equipamentos de Proteção Individual. Foram

oferecidos lanches e pequenos brindes como canetas, bonés e camisetas com logotipo da empresa. As únicas exigências eram o agendamento prévio e o registro dos dados pessoais, incluindo endereço e telefone para eventual contato ou mala direta.

#### **4.4 Aprendizados e constatações**

Conforme já explicado, uma das principais ações para solução do problema relacionado ao caso em estudo foi a melhoria dos procedimentos operacionais e controle do processo de produção e de tratamento dos efluentes líquidos e gasosos. Particularmente no caso das Torres Recheadas, o acompanhamento das condições de saturação e manutenção do  $\text{pH} > 10$  foi uma contribuição importante para a solução.

O monitoramento permanente das condições meteorológicas deve ser cuidadoso quando o potencial de incômodo (concentração e agressividade dos odores) é alto, combinado ou não com uma frequência ou persistência elevadas. Este critério considera que uma emissão ocasional forte precisa receber tanta atenção quanto uma emissão leve porém constante, ambas requerem ações corretivas. Nestes casos se justifica o investimento para instalar uma estação de monitoramento mais completa, eventualmente automatizada, porém será útil verificar antes se há outra empresa, algum aeroporto ou instalação similar na área que já disponham destes equipamentos e que possam partilhar as informações.

Como o regime de ventos pode ser muito variável deve-se verificar a necessidade de instalar uma biruta no local onde há mais reclamações, de modo que a informação passada por um colaborador do local seja confrontada com a biruta da fábrica. O uso destas birutas auxiliares pode ajudar muito, principalmente quando a distância entre a fábrica e o ponto de reclamações é considerável (a partir de 2Km) ou quando exista outra fonte emissora de odores que também possa causar incômodo naquele local.

Outros fatores que vale a pena monitorar, e levar em conta na avaliação de ocorrência de odores, são as condições de precipitações atmosféricas, as condições de umidade relativa e a temperatura do ar ambiente. São fatores que influem e que podem ser facilmente levantados. No caso de chuva tem-se uma lavagem natural dos gases: é assim que a natureza limpa a atmosférica periodicamente: portanto, o impacto das emissões será naturalmente atenuado. A umidade relativa quanto mais alta maior sensibilidade provoca nas pessoas. Finalmente, a temperatura ambiente pode dar indicações de possíveis inversões térmicas, devendo ser interpretada em conjunto com o horário, que é outro indicador para isso, dependendo também

da época do ano. Em relação a isso, uma constatação interessante feita pela Rhodia em Paulínia-SP é que as reclamações de odor costumam se concentrar no Inverno, por isso eles só ativam seu Painel Olfativo nos meses de Junho, Julho e Agosto, economizando tempo e esforço.

Uma das ações mais proveitosas é fazer verificações imediatas, no momento da reclamação. Deve-se primeiramente ir ao local da reclamação, se possível conversar pessoalmente com o reclamante, agradecer sua colaboração e esclarecer todos os detalhes da ocorrência (ou de outras, não notificadas), tentando também identificar o cheiro. Em seguida, fazer uma rápida verificação nas condições gerais de operação da fábrica naquele período e checar alguma possível relação de causa e efeito. Depois, deve ser dada uma resposta ao reclamante, sobre as conclusões e, se for o caso, convidá-lo a ir à fábrica para uma visita e maiores esclarecimentos. Finalmente, completar o registro dos detalhes da ocorrência no histórico, para acompanhamento e análise posteriores.

#### **4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

## 5.1 Conclusões

As emissões atmosféricas industriais, aparentes em chaminés fumegantes que representavam num passado recente um símbolo de progresso, tornaram-se motivo de preocupação e desconforto para as comunidades vizinhas. Muitas destas emissões tem potencial para espalhar odores incômodos, com conseqüências psicofisiológicas que podem ser graves, constituindo a causa mais freqüente de reclamações junto aos órgãos fiscalizadores. Por outro lado, a questão não está regulamentada no Brasil e há desconhecimento quase geral sobre o assunto.

Este trabalho objetivou apresentar os principais aspectos, o estado da arte e as perspectivas tecnológicas nesta área do conhecimento, com ênfase nas praticas e procedimentos expeditos que já demonstraram sua utilidade ajudando outros profissionais da indústria a resolver este tipo de problema.

Ficou evidenciado que as soluções simples e tradicionais podem freqüentemente dar bons resultados na prática e são as que oferecem melhor balanço de custo/benefício. Entretanto, os profissionais que não tiverem a base de conhecimentos necessários nesta área correm o risco de adotar soluções de engenharia inadequadas ou aceitar propostas de fabricantes de equipamentos que podem não dar os resultados esperados, pois a questão é bastante complexa.

Percebe-se claramente que as empresas industriais não podem continuar ignorando suas interfaces com a comunidade onde operam. Os aspectos éticos, de responsabilidade social e ambiental, de segurança e saúde, já adquiriram uma importância muito grande no contexto nacional e internacional onde as empresas atuam. Constata-se que caminhamos cada vez mais para a integração, buscando um maior relacionamento com as partes interessadas por iniciativa própria.

O controle e redução da emissão de odores são exigências impositivas na atualidade e isto requer conhecimento, programas de trabalho em equipe, interação com as comunidades vizinhas e muita dedicação.

O estudo de caso apresentado evidencia uma estratégia que corrobora outras colocações feitas ao longo deste trabalho: os compostos de enxofre de uma maneira geral, e o gás sulfídrico em especial, costumam estar presentes em grande parte dos processos industriais que tem potencial para causar emissões com odores incômodos. Tomar o H<sub>2</sub>S como substância-alvo é

uma boa tática para atacar o problema, pois os tratamentos capazes de controlá-lo serão eficazes para muitas outras substâncias que podem estar na mistura. Além disso, trata-se de um gás para o qual o ser humano tem altíssima sensibilidade, o que exigirá um elevado grau de eficiência no tratamento, aumentando a probabilidade de que as outras substâncias da mistura também sejam adequadamente tratadas.

## **5.2 Recomendações**

Problemas com emissão de odores podem gerar crises institucionais graves e convém evitá-las com medidas preventivas adequadas. É recomendável – especialmente para as empresas que tem potencial de vir a ter problemas – estabelecer um bom relacionamento e canais de comunicação com as comunidades vizinhas. Isto poderá ser de grande ajuda se ocorrerem problemas, evitando perda de tempo, desgastes, intimações e até multas, sem falar nos prejuízos para a imagem da empresa e seus produtos. Implantar uma rede de colaboradores ou um Painel Olfativo pode ser uma parte importante deste relacionamento.

Na avaliação dos processos em fase de projeto ou em análises de riscos para modificações ou introdução de novos produtos devem ser levadas em conta as possíveis emissões de odores. Isto deve fazer parte de um trabalho sistemático, com ações preventivas e providências necessárias para evitar episódios que possam envolver a mídia e órgãos fiscalizadores. A prática mostra que, mesmo quando a probabilidade é baixa ou as reclamações são poucas ou raras, uma única ocorrência pode disparar a crise e gerar um problema permanente que exigirá muito mais esforço do que as medidas preventivas.

Providências são necessárias particularmente em relação a problemas com os quais se convive, considerando a situação aceitável apenas porque parece não haver solução tecnológica melhor ou todos já estão acostumados e conformados com ele. As exigências da população, dos órgãos fiscalizadores e dos próprios trabalhadores, aumentam cada vez mais e novas tecnologias surgem a cada dia, o que justifica uma busca constante de solução para o problema.

O desenvolvimento de trabalhos para estabelecer orientações e normas relacionadas a odores, por parte de associações e órgãos regulamentadores, como ABIQUIM, INMETRO, ABNT, IBAMA e outros, seria uma ajuda bem-vinda e necessária. A relevância da questão, como pretendemos mostrar neste trabalho, justifica perfeitamente este esforço.



Diversos temas esboçados no escopo deste trabalho – que se pretende abrangente e por isso limitado em detalhamento – poderiam ser mais desenvolvidos em futuras pesquisas, teses e dissertações. Fica aqui registrado como sugestão, principalmente no que se refere as novas tecnologias citadas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE HIGIENISTAS OCUPACIONAIS. **Limites de exposição TLVs para substâncias químicas e agentes físicos & Índices biológicos de exposição BEIs.** Edição em português do manual ACGIH, 2002.
- AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS. **Industrial Ventilation: A manual of recommended practice.** ACGIH, 22<sup>nd</sup> ed, 1992, Cincinatti, OH.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **E679-91: Standard Practice for Determination of Odor and Taste Thresholds by a Forced-choice Ascending Concentration Series Method of Limits.** Annual Book of ASTM standards, Vol. 15.07 ed.1979, reprovado em 1997 pelo Subcomite E18.04 : Fundamentals of Sensory.
- AMOOORE, J.; HAUTALA, E. **Odor as an Aid to Chemical Safety: Odor thresholds compared with Threshold Limit values and Volatilities for 214 industrial chemicals in Air and Water Dilution.** Journal of Applied Toxicology, Vol 3, n °6, 1983, p.272-290.
- BENFORADO, D. et al. **Development of an Odor Panel for Evaluation of Odor Control Equipment.** Journal of the Air Pollution Association, vol.19 n°2, Feb. 1969, p.101-105.
- BERGLUND, B. **Quantitative and qualitative analysis of industrial odors with human observers.** Ann. N.York Academy of Sciences, 237:15-51, 1974.
- CALDAS, J.N.; LACERDA, A. **Torres Reheadas.** Rio de Janeiro: JR Ed., 1988, 266p.
- CALVO, M. S. **Ecología Industrial: Ingeniería medioambiental aplicada a la industria e a la empresa.** Madrid: Mundi-Prensa, 1995, 522p.
- CANELA, M. et al. **Gas-phase destruction of H<sub>2</sub>S using TiO<sub>2</sub>/UV-VIS.** Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry 112, 1998, p. 73-80.
- \_\_\_\_ **Destruction of Malodorous Compounds using Heterogeneous Photocatalysis.** Environmental Sciences & Technology, accepted May, 20, 1999, 5p.
- CAMPBELL, D. Jornal O Estado de São Paulo. **Pentágono pesquisa ‘bomba do mau cheiro’.** S. Paulo, 24jul2001. Notícias do The Guardian. Disponível em <<http://www.estadao.com.br/ciencia/noticias> > Acessado em: 19abril2002; também na fonte: “Stench warfare”,New Scientist 7jul2001 <<http://arquivo.newscientist.com/secure/search.jsp>>
- CONE, J., SHUSTERMAN, D. **Health Effects of Indoor Odorants.** Environmental Health Perspectives, vol. 95, p. 53-59, 1991.
- CORAZZA, S., **Aromacologia: uma ciência de muitos cheiros.** S. Paulo: Editora do SENAC de S. Paulo, 1<sup>a</sup> ed. 2002, 412p.

- DOTY, R.L., **Olfaction and multiple chemical sensitivity**. Toxicology Industrial Health 10, 1994, p. 359-368.
- DRAVNIEKS, A., PROKOP, W. **Source Emission Odor Measurement by a Dynamic Forced-choice Triangle Olfactometer**. Journal of the Air Pollution Control Association, vol 25 no.1, Jan. 1975, p.28-35.
- GRAHAM, S. **First evidence of a Human Response to Pheromones**. Robinston, August 2001, Disponível em <[www.scientificamerican.com/issue.cfm?issuedate=Aug-01](http://www.scientificamerican.com/issue.cfm?issuedate=Aug-01)> Acessado em: 19/11/2003.
- GRAVELING, R. et al. **A review of multiple chemical sensitivity**. Occupational and Environmental Medicine, 1999, 56, p.73-85.
- HEINSOHN, R., KABEL, R. **Sources and Control of Air Pollution**. N. Jersey: Prentice Hall, 1985, 696p.
- HEMEON, W. **Technique and apparatus for quantitative measurement of odor emissions**. Journal of Air Pollution Control Association 18:166, March 1968.
- HERTZ, R. **Do scents affect people's moods or work performance?** Robinston, November 2002, Disponível em <[www.scientificamerican.com/issue.cfm?issuedate=Nov-02](http://www.scientificamerican.com/issue.cfm?issuedate=Nov-02)> Acessado em: 19/11/2003.
- HILLEMANN, B., **Multiple chemical sensitivity**. Chemical Engineering News 69, 1991, p. 26-42.
- LACERDA, A. Jornal O Estado de São Paulo. **Brasil desenvolve seu primeiro "nariz eletrônico" capaz até de identificar gases**. S. Paulo, 24jul2003. Disponível em <<http://www.estadao.com.br/ciencia/noticias/2003/jul/24/211.htm>> Acessado em: Nov, 2003.
- LISBOA, H. et al. ODODIS: Um software aplicado a dispersão de odores e gases passivos na atmosfera. **Anais do 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Foz do Iguaçu, setembro de 1997.
- MILLS, J. et ali. **Quantitative odor measurement**. J. Air Pollution Association, vol.13 nº10, Oct. 1963, p. 467-475.
- MORANO, D. et ali. **On-line hydrogen sulfide monitoring reduces operating costs in packed tower odor scrubbers**. Proceedings of the 1996 Air & Waste Management Association's 89<sup>th</sup> Annual Meeting, Jun 23-28<sup>th</sup>, Nashville, 16p.
- OPRIME, M. E. A. G. **Processo combinado Químico-bacteriano para remoção de H<sub>2</sub>S de gases**. 2001. Tese (Doutorado em Biotecnologia) – Universidade Estadual Paulista, Araraquara, SP, 2001.
- PETROBRÁS. **Curso de Controle da Poluição: Poluição do Ar**. Belo Horizonte: SEPES/DIDEP (PA-AA-025/74) 330p.

- ROACH, S., RAPPAPORT, S. **But they are not Thresholds: A critical analysis of the documentation of Threshold Limit Values.** American Journal of Industrial Medicine 17:727-753 (1990).
- ROBBINS, T.; MANLEY, R. **Odor Prevention and Control in Process Plants.** Chemical Engineering, Feb. 2002, p.50-55.
- RHODIA Química SA. **Cálculos de Dispersão de Gases.** Informações sobre diretrizes e métodos utilizados pela Rhodia. Mensagem recebida por <franciscoschwab@hotmail.com> em 30/06/2003.
- RUTH, J. **Odor Thresholds and Irritation Levels of several chemical substances: a review.** American Industrial Hygienist Association, (47), March 1986, p.A142-A151.
- SATO, M. K. **Problemas com odores incômodos industriais.** Informações apresentadas pela Coordenadoria de Licenciamento Integrado da CETESB. Mensagem recebida por <francisco.schwab@syngenta.com> em 23/06/2003.
- SCHIFFTNER, K. **Air Pollution Control Equipment Selection Guide.** N.York: Technomic Pub Co., ISBN 1587160692, ed. 2002, 248p.
- SCHMIEDESKAMP, M. Scientific American. **Smaller and more sensitive electronic noses open up new applications.** Robinston, March 2001, Technology and Business. Disponível em <www.scientificamerican.com/issue.cfm?issuedate=Mar-01> Acesso: 19/11/2003
- SHAH, R.; ABBOTT, N. **Principles for Measurement of Chemical Exposure Bases on Recognition-Driven Anchoring Transitions in Liquid Crystals.** Science, vol. 293, 17/08/2001, p. 1296-1299, também disponível em <www.sciencemag.org>
- SHREVE, R.; BRINK, J. **Indústrias de Processos Químicos.** 4ªed. rev. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan, 1977, 715p.
- SHUSTERMAN, D., **Critical review: the health significance of environmental odor pollution.** Archives of Environmental Health, Vol. 47, No.1, 1992, p. 76-91.
- STEVEN, R. et al. **Multiple Chemical Sensitivity and Chronic Fatigue Syndrome in British Gulf War veterans.** Am J Epidemiology, v.153(6). March, 15, 2001, p.604-609.
- SUCKER, K. et all. **Adverse effects of environmental odours: reviewing studies on annoyance responses and symptom reporting.** Water Sciences Technology, 44 (9), 2001, p.43-51.
- TORREIRA, R. P. **Manual de Segurança Industrial.** São Paulo: Margus, 1999, 1035p.
- THEODORE, L. **Packed-tower absorbers: Sizing made easy.** Environmental Engineering World, July/August, 1996, p.18-19.
- TURNER, D. **Atmospheric dispersion modeling.** Journal of the Air Pollution Control Association, Vol. 29, nr. 5, p. 502-519, 1979.

- WINDER, C., **Mechanisms of multiple chemical sensitivity**, in Toxicology Letters, Vol.128 Issues 1-2, March 2002, p. 85-97.
- WONGTSCHOWSKI, P. **Indústria Química: Riscos e Oportunidades**. 2ª ed. rev. e aum. São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 2002, 306p.
- ZIEM, G., DAVIDOFF, L. **Illness from chemical “odors”: is the health significance understood?** Archives of Environmental Health, Jan-Feb 1992, v47, nl, p.88(4).
- AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. **Fugitive Emissions from Equipment Leaks: Monitoring Manual**. API Publication nr. 342, May 1998.
- BELLI FILHO, P. et al. Odor e desodorização de estações de tratamento de efluentes líquidos. In: **Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. 20. Rio de Janeiro, 1999, p.694-701.
- BONALUME NETO, R. **Mulher fareja genes do pai em camisetas de desconhecidos**. Jornal A Folha de São Paulo, p. A10, 21jan2002.
- BOTARI, P. **Correlação odor-estrutura molecular**. 1992, 205p. Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 1992.
- BOTH, R. **Directive on Odour in ambient air: an established system of odour measurement and odour regulation in Germany**. Water Sciences Technology, 44 (9), 2001, p.119-126.
- BOUBEL, R. et al. **Fundamentals of Air Pollution**. California: Academic Press, 3<sup>rd</sup> ed 1994.
- BRAGA, B. et al. **Introdução à Engenharia Ambiental**. São Paulo: Prentice Hall, 2002.
- BURGESS, W. A. **Identificação de possíveis riscos à saúde do trabalhador nos diversos processos industriais**. Belo Horizonte: Ergo Editora, 1997.
- CASTELÕES, P. **Controle de odores em refinarias de petróleo**. Rio de Janeiro: Trabalho técnico apresentado em seminário interno da Petrobrás, ref. 7530-000-06531, c.1986.
- CLANCEY, V. **The evaporation and dispersion of flammable liquid spillage**. 5<sup>o</sup> Symposium on Chemical Process Hazards, 1974.
- DALTON, P. **Odor perception and beliefs about risks**. p.447-458
- \_\_\_\_ **The influence of cognitive bias on the perceived odor, irritation and health symptoms from chemical exposure** Int Arch Occup Environ Health (1997) no.69, p.407-417
- DAVIES, J.M., CALABRESE, E.J., **The biological effects of low level exposures (BELLE)**. Comments Toxicology 6, 1998, p. 241-246.
- DUFFEE, R. et al. Defining and measuring objectionable odors. In: Inter. Pollution Engr. Congress, 2, 1974, Philadelphia. **Pollution Engineering Techniques: An overview**. Ann Harbour: Ann Harbour Science, 1974, p.192-201.

- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Control techniques for Fugitive VOC Emissions from Chemical Process Facilities.** EPA/625/R-93/005, March, 1994.
- FONTES E HAANDEL ENG<sup>a</sup> AMBIENTAL LTDA. **Guia para Inventário de Emissões Atmosféricas no Pólo Petroquímico de Camaçari-BA.** CETREL S.A. Empresa de Proteção Ambiental, Maio de 1998.
- FUNDACENTRO. **Avaliação da exposição ocupacional a agentes químicos, pelo método colorimétrico.** São Paulo: Fundacentro, NHT 05 – AQ/E 1985.
- GILBERT, W.; TANDY, D. **Odor control in Edible Oil Processing.** Journal of American Oil Chemists' Society, Vol. 56, Oct. 1979, p.654A-658A.
- HENKEL, R. **How close are artificial noses to development and what are the potential uses?** Robinston, MA: [www.scientificamerican.com](http://www.scientificamerican.com), Oct. 21, 1999; entrevista com Steven Sunshine, vice-presidente da Cyrano Sciences, Inc.
- KENSON, R. **Controlling odors.** Chemical Engineering, Jan. 26, 1981, p. 94-100.
- MacINTIRE, J. **Ventilação Industrial.** Rio de Janeiro: Ed. Técnica, 1999, 395p.
- McGINLEY, M., McGINLEY, C. **The new European Olfactometry Standard: Implementation, Experience and Perspectives.** Reprint of Air and Waste Management Association, 2001 Annual Conference, Session n°. EE-6b: Modeling, Analysis & Management of Odors, 14p.
- MONTENEGRO, M. et al. Nova Proposta de Relacionamento entre o Setor e a Comunidade. **Anais do Seminário Internacional de Tratamento e Disposição de Esgotos Sanitários: Tecnologias e Perspectivas para o Futuro.** Brasília – DF, 1996, p. 07-12.
- NAGL, G. **Removing H<sub>2</sub>S from Gás Streams.** Chemical Engineering, July 2001, p.97-100.
- PROKOP, W. H. **Developing odor control regulations: Guidelines and considerations.** J Air Pollution Control Association, v.28 n°1, Jan 1978, p.9-16.
- REIPERT, C. F. et al. **Sistema de controle de odor na Bahia Sul Celulose.** Revista O Papel, S. Paulo, março 1994, v.55, n°3, p.45-46.
- RETRUM, R. Techniques for Reducing Odors at the Source (in a Poultry Byproducts Rendering Plant). In: Inter. Pollution Engr. Congress, 2, 1974, Philadelphia. **Pollution Engineering Techniques: An overview.** Ann Harbour: A. H. Science, 1974, p.203-207.
- St. CROIX SENSORY INC. **Standard Procedure for Testing Individual Odor Sensitivity.** Disponível em: <<http://www.fivesenses.com>> Acesso em: 25 set. 2003.
- SIEGEL, J. **Improve your leak detection and repair program.** Exxon Research and Engineering Co., Chemical Engineering Progress, July 1997.
- SOHR, R. **Odour Abatement.** In: Annual Meeting of the Air Pollution Control Association, 32, 1977, Dayton. Pollution Monitor, Aug/Sept. 1977, p. 19-20.

**SWIFT, L. K. Conceitos de engenharia para contenção da emissão de odores nas fábricas de celulose sulfato.** In: Congresso anual da ABCP, S. Paulo 1978, p.169-178.

## **ANEXOS**

**Anexo I:** Conceitos para elaboração de uma rede de Sensores Humanos

**Anexo II:** Pesquisa junto aos vizinhos

**Anexo III:** Painel Olfativo: planejamento e resultados.

**Anexo IV:** Formulários de informações e acompanhamento do Painel Olfativo

**Anexo V:** Fluxogramas de fabricação de indústria agroquímica.

**Anexo VI:** Olfatômetro de campo: diagrama de componentes, descritores de odor e exemplo de planilha de levantamento de campo preenchida.



## ANEXO I

### **ELABORAÇÃO DE UMA REDE DE SENSORES HUMANOS PARA FINS DE AVALIAÇÃO DO IMPACTO DAS EMISSÕES GASOSAS DA FRAS-LE S.A.**

#### Primeira etapa

- Obtenção de um mapa cartográfico da região com identificação das regiões habitadas, perfazendo um raio de 5 km no entorno da FRAS-LE.
- Identificar as regiões com alta densidade populacional, classificando-as por grau de importância na visão da FRAS-LE.
- Analisar a frequência da direção de ventos definindo as direções predominantes.
- Com base nos dois últimos itens estabelecer o grau de prioridade de tratamento das regiões circunvizinhas. Definir o número de observadores e local de residência, pessoas que farão parte da rede de sensores humanos.
- Definir o perfil dos observadores que farão parte da rede.
  - Permanência no local, preferível que resida e permaneça no local muitas horas do dia.
  - Pessoas não partidárias políticas, ou tendências extremistas.
  - Pessoas sem vínculos diretos com a empresa.
  - Pessoas com condições olfativas normais (não deverá ter qualquer histórico de doenças ou anormalidades do sistema respiratório). É aconselhável ter um parecer médico.
  - Pessoas que tenham interesse em contribuir para que a FRAS-LE possa melhorar cada vez mais a qualidade de vida dos funcionários internos e da comunidade.
  - Pessoas que assumam um compromisso com a empresa o mantenha por um tempo longo.
- Identificar entidade ou agentes na sociedade local que tenham reconhecimento e influência de forma a identificar pessoas e promover a aproximação com a empresa. Exemplo Lyon, Rotary, ....

#### Segunda etapa

- Desenvolver um questionário simples e objetivo (múltipla escolha) que atenda as necessidades da empresa. Este questionário somente será preenchido quando observado ocorrência de incômodo a comunidade e, com alguma segurança, originado na FRAS-LE.
- Treinamento dos observadores, pessoas escolhidas da comunidade, quanto ao que observar, como preencher o questionário. É importante enfatizar a contribuição que estão dando a toda a comunidade e a empresa.
- Estabelecer responsabilidade de pessoa da empresa para coleta dos dados, esclarecimentos e rotina junto aos observadores.
- Desenvolver tabulações de dados que permitam observar as incidências associadas as situações operacionais e climáticas (direção do vento e condição de pré-chuva). Evidenciar as ações preventivas.

## ANEXO II

### PESQUISA JUNTO AOS VIZINHOS

**É importante para nós que você conheça um pouco dos cuidados ambientais e do que é feito na Fras-le:**

Esta é uma empresa que nasceu na nossa terra, se desenvolveu e hoje é a 5º no mundo. Com o esforço dos funcionários que representam aproximadamente 1800 famílias, atingimos o reconhecimento e respeito pela qualidade naquilo que fazemos. E com este respeito que gostaríamos de trazer algumas informações até você, que faz parte de nossa comunidade;

- A empresa gera empregos para aproximadamente 1800 funcionários, tendo portanto, uma participação direta na comunidade através dos familiares de cerca de 7200 pessoas e, de forma indireta este número se multiplica muitas vezes.
- A nossa empresa implantou modernos equipamentos de Tratamento de Efluentes que garantem que a qualidade do líquido que sai da empresa tenha **sempre uma excelente qualidade**.
- Existem em todas as áreas de produção equipamentos que retém todo o pó gerado. Estes filtros garantem **sempre a coleta de todo o pó**.
- Todos os resíduos sólidos gerados na empresa são transportados e tratados por uma empresa contratada pela Fras-le. Esta empresa NTA Tecnologia Ambiental é especializada nesta atividade e, além de ser frequentemente fiscalizada pela Fras-le, também é fiscalizada pelo Órgão Ambiental do Estado do Rio Grande do Sul. Desta forma podemos afirmar que **estes resíduos não oferecem nenhum risco às pessoas**.
- *Em nossa empresa sabemos que, ainda hoje e em poucos momentos, somos percebidos pelo mau cheiro. Isto ocorre quando o tempo está muito fechado e normalmente acontece antes de uma chuva, mas você tem notado também, que estas ocorrências tem se tornado menos freqüentes, devido a implantação de uma moderna instalação para abatimento de gases. Tenha a certeza que estamos trabalhando sempre para minimizar cada vez mais este incômodo.*

**É também importante para nós saber como você vê nossa empresa:**

- A nossa empresa no seu dia a dia é (marque com x no quadro ao lado daquelas frases que você concorda)
  - ( ) É como se não existisse pois não me afeta em nada
  - ( ) É importante porque cresce a comunidade, o comércio, e outras coisas
  - ( ) Me incomoda e não precisaria existir
  - ( ) É uma empresa responsável e acho muito bom
  - ( ) Se todas as empresas fossem assim seria muito bom
  - ( ) Falta muita coisa para a empresa ser boa
  - ( ) É uma empresa muito fechada
  - ( ) Eu me orgulho desta empresa estar na nossa comunidade
  - ( ) É uma empresa que dá emprego para o nosso pessoal
  - ( ) É uma empresa que traz riqueza para a nossa comunidade
  - ( ) É uma empresa que não se interessa pela nossa comunidade
  - ( ) Me incomoda um pouco mas acho que vai melhorar
  - ( ) É uma empresa muito boa
  - ( ) Eu não gosto desta empresa
  
- Quê nota você dá para a nossa empresa (de 0 a 100) ?
  
- Qual a sua preocupação em relação a nossa empresa ?
  
- O quê nossa empresa deve melhorar ?

## ANEXO III

### “PAINEL OLFATIVO”

#### ***CONSTITUIÇÃO DE UMA REDE DE SENSORES***

**Desde outubro de 1999 está funcionando a rede de sensores humanos na comunidade de Forqueta, em Caxias do Sul-RGS.**

**A rede de sensores humanos tem como finalidade estabelecer um procedimento para identificação de emissões odoríferas pela empresa que se propagam para fora dos limites da empresa , isto é , na comunidade de Forqueta.**

**O objetivo da rede de sensores humanos é de auxiliar a empresa na identificação das possíveis falhas que possam ocorrer nos equipamentos.**

**As seis pessoas que fazem parte da rede de sensores humanos , moram na comunidade de Forqueta e se propuseram a ajudar a empresa. Estas pessoas foram treinadas e orientadas de como identificar a presença de odores e preenchimento de formulário específico. Estas informações são registradas em planilha, catalogadas e analisadas a cada seis meses.**

**Todo este trabalho é coordenado pelo gerente do SIQUA – Sistema da Qualidade.**

#### **1.0 Introdução**

A moderna concepção de controle ambiental de lançamentos de gases e partículas para a atmosfera inclui o uso de políticas de análise dos problemas em conjunto com as populações afetadas, com estímulos à sua participação nas decisões gerenciais para estabelecimento dos controles e nas discussões técnicas para avaliação das suas reais dimensões e das possibilidades de sua solução.

O trabalho a seguir nos mostra a elaboração de uma rede de sensores humanos para fins de identificação de odores decorrentes das emissões gasosas da empresa Fras-le S.A.

#### **2.0 Percepção dos Odores**

Odores são resultantes de recepção de estímulos pelo sistema sensorial olfativo que consiste de dois sub-sistemas separados, o epitélio olfativo e o nervo trigeminal. O órgão olfativo humano (e de outros animais) pode perceber milhares de odores diferentes e pode detectar os elementos causadores em concentrações inferiores àquelas de detecção mesmo pelos processos analíticos mais sofisticados.

Outrosim, quando mesmo com rigorosos controles a propagação de determinados gases em mínimas concentrações não detectáveis de maneira corriqueira gera incômodos relativos à percepção de odores devem ser estabelecidas políticas de profunda análise do

grau de exposição das populações através de um esforço conjunto e com confiança mútua de modo a minimizar os episódios. Com estes pontos de vista a FRAS-LE S.A. está desenvolvendo um programa de comunicação de percepção de odores provenientes de suas operações com o uso de rede de pessoas das comunidades, devidamente treinadas, motivadas e empenhadas em uma parceria responsável.

### **3.0 Critérios de elaboração do programa de Rede de Sensores da FRAS-LE S.A.**

Esta etapa tem como objetivo o planejamento e a determinação de parâmetros na elaboração e funcionamento da rede de sensores humanos.

#### **3.1 Mapa cartográfico**

A FRAS-LE S.A. está localizada, na rodovia RS- 122, km 66, número 10945, no bairro de Forqueta, na cidade de Caxias do Sul. O mapa de localização da empresa está dividido em dois anexos:

- anexo 1 – planta de localização da unidade de Forqueta
- anexo 2 – fotografias áreas da localização da FRAS-LE S.A.

O critério para definição dos limites será de um universo com raio de 5 Km, marcado no anexo 2 , onde serão identificadas as regiões habitadas.

#### **3.2 Identificações e escolha das regiões**

Serão definidas 6 (seis) regiões, as quais serão classificadas por grau de importância em função da densidade populacional. Para cada uma das seis regiões será escolhida uma pessoa que fará parte da rede de sensores humanos da FRAS-LE S.A.

##### **3.2.1 Frequência dos ventos**

Serão registradas as direções e velocidades dos ventos usando informações provenientes do aeroporto regional de Caxias do Sul. Com os dados históricos será elaborada uma tabela, mostrada em anexo ( tabela I ) , onde serão identificadas as regiões onde teremos uma maior tendência a possíveis ocorrências de odores característicos de nossos processos beneficiamento de materiais de fricção.

#### **3.3 Definição e escolha dos sensores humanos**

Para a escolha das pessoas que farão parte da rede de sensores humanos da FRAS-LE S.A., serão definidos os seguintes critérios:

- 1- tempo de residência no local;
- 2- tempo de permanência em casa( ou local) ;
- 3- pessoas sem vínculos partidários e políticos;
- 4- pessoas sem vínculos com a empresa;
- 5- pessoas com condições olfativas normais, com parecer médico;
- 6- pessoas que tenham interesse de contribuir para a FRAS-LE S.A.:

Será utilizado um questionário com 12 perguntas para entrevistar os possíveis candidatos a contribuir com a empresa FRAS-LE S.A.( segue em anexo questionário).

### **3.4 Identificação dos colaboradores - Sensores Humanos**

Será utilizado um questionário-padrão com o objetivo de servir de base para selecionar os colaboradores externos e registrar as informações de interesse da empresa. Os pré-selecionados deverão passar por avaliação médica para comprovar que tem olfato normal.

#### **3.4.1 Registro de percepção de odores**

Este formulário é composto de 8 perguntas ( conforme anexo). Deverá ser preenchido sempre que ocorrer um evento de incômodo à comunidade. O colaborador externo telefona ao responsável da FRAS-LE e este realiza uma entrevista, registrando no formulário as informações repassadas pelo colaborador.

#### **3.4.2 Treinamento dos colaboradores**

Os colaboradores serão treinados pela empresa FRAS-LE S.A. de modo a preencher o questionário adequadamente e orientados sobre como repassar as informações para a empresa. A responsabilidade da empresa deverá estar claramente estabelecida e conhecida por todos, principalmente pelos funcionários que passaram por treinamento para receber as informações e que tiveram orientação para dar suporte aos colaboradores externos.

#### **3.4.3 Tabulação dos dados**

Após a coleta dos dados será desenvolvido um sistema de registro e arquivo, para facilitar a tabulação dos dados, transformando-os em informações racionais de fácil entendimento.

### **3.5 Responsabilidades**

A responsabilidade pelo atendimento das ligações telefônicas e pelo preenchimento do formulário, com as informações do participante do programa a serem entrevistados,

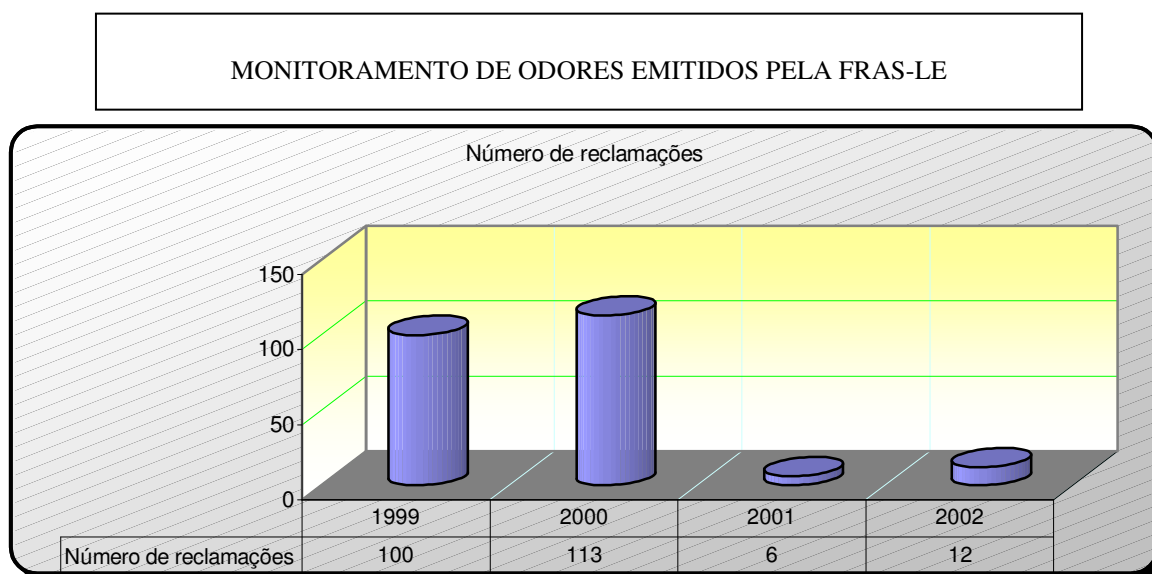
será do Sistema de Revestimento SIREV (unidade da fábrica que funciona 24 hora por dia). O SIREV também será responsável pela organização e arquivamento, repassando cópia para o Gerente do SESQUA, que analisará, tomará as providencias consideradas necessárias quando constatar problemas e semestralmente apresentará um Relatório de Avaliação do programa.

Tabela 1 – dados referentes a direção dos ventos

Tendência dos ventos	% obtido
Sul	34
Norte	34
Nordeste	16
Noroeste	9
Sudeste	6
Leste	1

Fonte : Estação climatológica Principal de Caxias do Sul, RS

Período 21/03/98 – 21/03/99





**QUESTIONÁRIO DE IDENTIFICAÇÃO DOS COLABORADORES DA REDE DE SENSORES HUMANOS :**

**Nº. de Controle:**

**1. Nome:**

**2. Idade :**

**3. Sexo: m ( ) f ( )**

**4. Endereço:**

**5. Tempo que mora neste endereço:**

**6. Tempo que permanece em casa ou próximo a este endereço:**

**7. Pertence a algum partido político ou algum outro tipo de associação**

**sim ( ) não ( ) qual: .....**

**8. Tem alguém da sua família que trabalha na empresa FRAS-LE S.A.**

**sim ( ) não ( )**

**9. Tem alguma doença olfativa**

**sim ( ) não ( )**

**10. Tem interesse em participar na rede de sensores humanos da FRAS-LE S.A.**

**sim ( ) não ( )**

**11. Tem ou teve no passado algum relacionamento com a empresa FRAS-LE S.A.**

**sim ( ) não ( )**

**12. Este relacionamento foi satisfatório para você**

**sim ( ) não ( )**

**Obs. Parecer médico:**

**Entrevistador:**


**Data:**








**FICHA DE ACOMPANHAMENTO DA REDE DE  
SENSORES HUMANOS :****1. Nome:****Código :****2. Endereço:****3. Data:****4. Dia da semana:****5. Horário:****6. Sintoma do Odor:****fraco ( )****médio ( )****forte ( )****7. Condições do tempo****com sol ( )****com chuva ( )****nublado ( )****cerração ( )****noite ( )****8. Condições do vento****forte ( )****fraco ( )****9. Tempo de duração do Odor.****Hora inicio do Odor..... Hora Término do Odor.....**





<b>PAINEL OLFACTIVO - 2003</b> 	Nome:		<b>SETEMBRO 2003</b>
	Endereço:		
	Bairro:	Fone Res.:	
	Função:		
	Área:	Turno:	

DATA HORAS	 Odores quase imperceptíveis	 Odores leves	 Indiscutível presença de odores	 Odores fortes	 Odores extremamente fortes	ODORES CARACTERÍSTICOS DE ...	OBSERVAÇÕES
						<small>(Descreva o odor da forma que lhe for mais representativo. Faça associação a outros odores familiares a seu cotidiano)</small>	<small>(Coloque aqui informações que você acredite que possam contribuir para análise dos dados)</small>

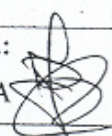
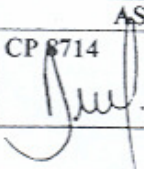
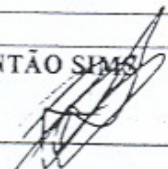
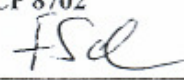
Comentários:

OBSERVAÇÃO: Ao término de cada mês, favor enviar este formulário ao GSIMAP

— *ARQUIVO*

**syngenta**

**RECLAMAÇÃO AMBIENTAL**

SETOR AGRO				
Contato		Telefone Acionado		
Data: 03/09/01	Hora: 21:35	<input checked="" type="checkbox"/> 3358 8554	<input type="checkbox"/> 3358 8581	<input type="checkbox"/> 0800 262500
Reclamante				
ALEXANDRE CARLOS SILVA ARAÚJO				
Telefone		Endereço		
(24) 3360-7250		AV. RUI BARBOSA 337/APTO202 LIB		
Direção do Vento		Característica do Odor		
NOROESTE		CHEIRO FORTE		
Produtos Formulados				
SUPRACID-IL				
INFORMAÇÕES ADICIONAIS				
Reclamante disse que sua esposa estava com a garganta seca e o nariz ardendo, ainda falou que no dia anterior sentiu um cheiro forte e ardido, mas não houve reclamação. Ligou também para Clariant disseram que o cheiro não era de lá.				
PLANTÃO SIMS				
Nome: MARCO AURÉLIO AGNES DE OLIVEIRA				Hora 21:58
RETORNO/AÇÃO				
Assumi o caso.				
- Às 21:50 hs o Sr. Batista (Líder da Portaria) avisou-me o ocorrido.				
- Às 21:55 telefonei para o Sr. Alexandre (reclamante) e expliquei o rigoroso controle de emissões gasosas que a Syngenta possui, quando fui informado por ele que o mesmo cheiro foi sentido às 19:30 do dia 02/09/01 - domingo. Neste horário a fábrica estava parada, portanto a liberação de gases não era da Syngenta. Expliquei tal fato ao reclamante que entendeu perfeitamente. Solicitei ao Sr. Eliandro (supervisor) que confirmasse o processo de fabricação do Supracid e fui informado por ele que estava tudo sob controle.				
- No dia 04/09/01 - terça-feira, telefonei novamente para o Sr. Alexandre (reclamante), conforme eu havia combinado no dia anterior. O Sr. Alexandre agradeceu bastante a atenção dispensada e se mostrou satisfeito com o atendimento dispensado. Neste dia, segundo o Sr. Alexandre, não havia odor.				
- Conclusão: o odor não teve origem na Syngenta conforme mostra o relato acima. O Sr. Francisco Schwab deveria enviar uma carta para o reclamante, explicando os controles existentes e a conclusão final da reclamação.				
ASSINATURAS				
Data:	Atendente.:	CP 8714	PLANTÃO SIMS	CP 8702
06/09/2001	BATISTA 			





## RECLAMAÇÃO AMBIENTAL

SETOR AGRO			
Contato		Telefone Acionado	
Data: 26/04/02	Hora: 15:05	<input checked="" type="checkbox"/> 3358 8554	<input type="checkbox"/> 3358 8581 <input type="checkbox"/> 0800 262500
Reclamante			
SATURNINO TAVARES(CLARIANT)			
Telefone	Endereço		Localização
3358-5211	Av Basileia 590 Manejo		
Direção do Vento	Velocidade do Vento	Característica do Odor	
NÊ	F	Cheiro Forte	
Produtos Formulados			
Recuperação de Supracid IL			
INFORMAÇÕES ADICIONAIS			
Sr Saturnino(Clariant) reclamou de um cheiro forte segundo o mesmo proveniente da fábrica, porém a fábrica está com a produção parada.			
PLANTÃO EMS			
Nome: DANIEL NASCIMENTO			Hora 15:07
RETORNO / INFORMAÇÕES ADICIONAIS			
Assumi o caso.			
O caso foi verificado junto a produção com o Sr Pedro Silva, o qual verificou que o motor da bomba água do lavador de gases estava parado.			
A produção foi interrompida e o motor enviado para manutenção.			
ASSINATURAS			
Data:	Atendente.:	CP 8714	Plantão EMS
26/04/2002	BATISTA 		
			CP 8702 

VER investigação Detalhada  
ANEXA

## Check-List de Investigação

		<b>Hora:</b> 15:05	
<b>Área da ocorrência</b>		Lavador de gases - IL	
		<b>Data:</b> 26/04/02	
<b>Detalhe do local:</b>	Bomba de circulação		
<b>Investigação solicitada por:</b>	Nome: Francisco Schwab	Sector onde trabalha: HSE	Rubrica:
<b>Tipo de Colaborador:</b> (envolvido na ocorrência)	<input checked="" type="checkbox"/> Syngenta (efetivo) <input type="checkbox"/> Temporário ou Contratado (com supervisão direta da Syngenta) <input type="checkbox"/> Empreiteiro, Terceirizado ou Prestador de Serviços. (com supervisão própria, Ex. Tropical, Montec, etc)		
<b>Descrição da ocorrência:</b> (Reclamação de cheiro)	Através de uma informação, proveniente da Clariant, foi verificado que a bomba de circulação do lavador estava em curto-circuito e queimada. Foi confirmado que às 15:00, durante a checagem horária do lavador de gases (vide R118 – ISO 9002), não foi lido o manômetro da bomba, conforme novo procedimento (Rev.03)		

Quais as conseqüências que poderíamos ter tido, <i>tal como ocorreu?</i> (marcar pela pior)			
<b>Potencial de Gravidade</b> Possível lesão > Prejuízos ambientais > Prejuízos materiais >	<input type="checkbox"/> Alto	<input checked="" type="checkbox"/> Médio	<input type="checkbox"/> Baixo
	(lesão grave)	(lesão)	(primeiros socorros)
	(externos à fábrica)	(limitados à fábrica)	(limitados ao local)
	(afetando a fábrica)	(afetando o setor)	(pequeno valor)
* Continuando a se repetir, <i>este tipo</i> de ocorrência poderia acabar sendo grave? <input checked="" type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não			
<b>Probabilidade</b> (de ocorrer de novo)	<input type="checkbox"/> Alta (condições que se repetem juntas freqüentemente)	<input type="checkbox"/> Média (condições se repetem só de vez em quando)	<input checked="" type="checkbox"/> Baixa (condições raramente ocorreriam juntas de novo)

<b>Causa imediata</b> (do que aconteceu ou que poderia ocorrer)	<input type="checkbox"/> Escorregar/ tropeçar	<input type="checkbox"/> Corte / pontas/ arestas	<input type="checkbox"/> Atingido/ apanhado
	<input type="checkbox"/> Queda de altura	<input type="checkbox"/> Veículo	<input type="checkbox"/> Contaminação
<b>Causa raiz</b> (a mais influente)	<input type="checkbox"/> Inalação	<input type="checkbox"/> Ergonomia	<input checked="" type="checkbox"/> Outros (explicar abaixo) Falta de recirculação da lixívia
	<input checked="" type="checkbox"/> Não seguiu procedimento	<input type="checkbox"/> Causa comportamental	<input type="checkbox"/> Falha / condição insegura
	<input type="checkbox"/> Falta de treinamento	<input type="checkbox"/> Desatenção, descuido	<input type="checkbox"/> Outros (explicar abaixo)
	<input type="checkbox"/> Problema com EPI	<input type="checkbox"/> Influências externas que fugiram ao nosso controle	

Ações recomendadas (preenchido pelo responsável e/ou HSE)		
1- Reimplementar R118 - Rev.03 com todas variáveis, junto a toda equipe do IL.	<b>QUEM</b> Todos (DDS)	<b>PRAZO</b> Imediato
2- Verificar possibilidade de intertravamento da bomba de recirculação/ exaustão do lavador de gases.	Sup. IL/ MAN	29/05/02

## Assinaturas dos participantes

Nome:	Eliandro	Patrick	Rosemburg	Conceição	Landi		
Cargo/ Setor	Supervisor Produção	HSE/ MA	IL	IL	IL		
Rubrica:							

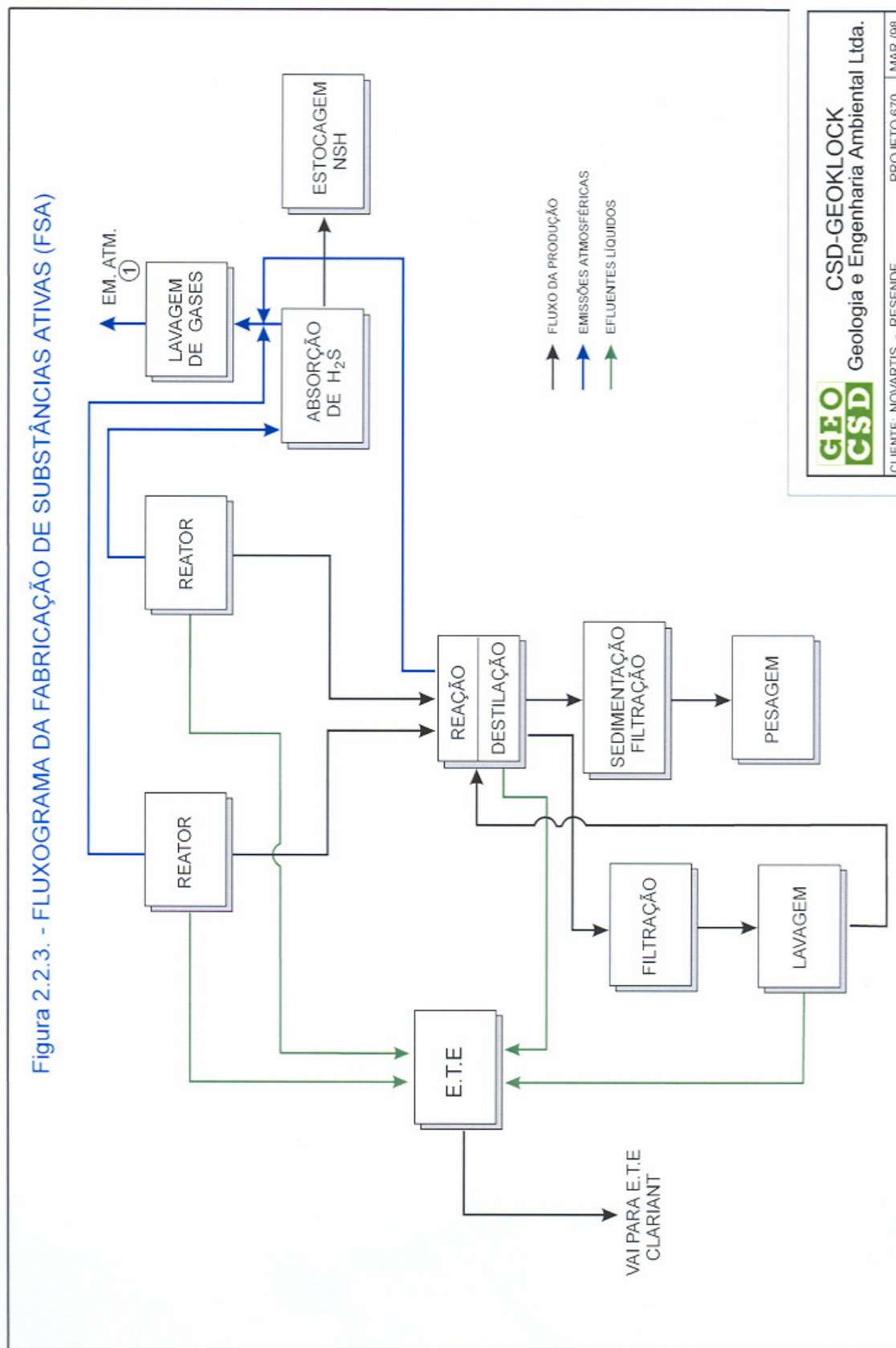
## **ANEXOS**

### **Anexo V:**

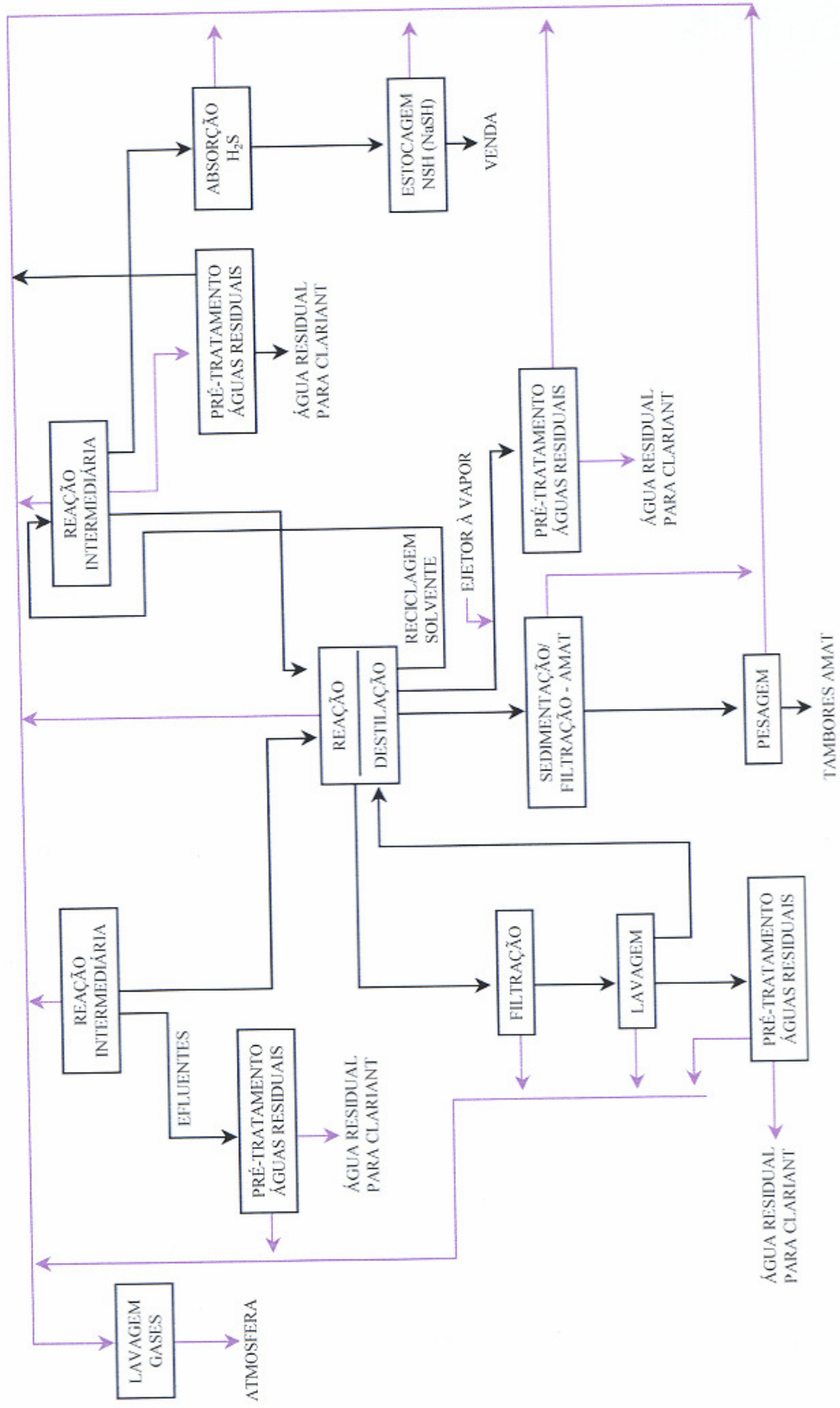
Fluxogramas de fabricação de indústria agroquímica



Figura 2.2.3. - FLUXOGRAMA DA FABRICAÇÃO DE SUBSTÂNCIAS ATIVAS (FSA)



**BLOCK DIAGRAM – ACTIVE INGREDIENT PLANT - DISSULFOTHION PROCESS (AMAT)**



## **ANEXOS**

### **Anexo VI:**

Olfatômetro de campo:

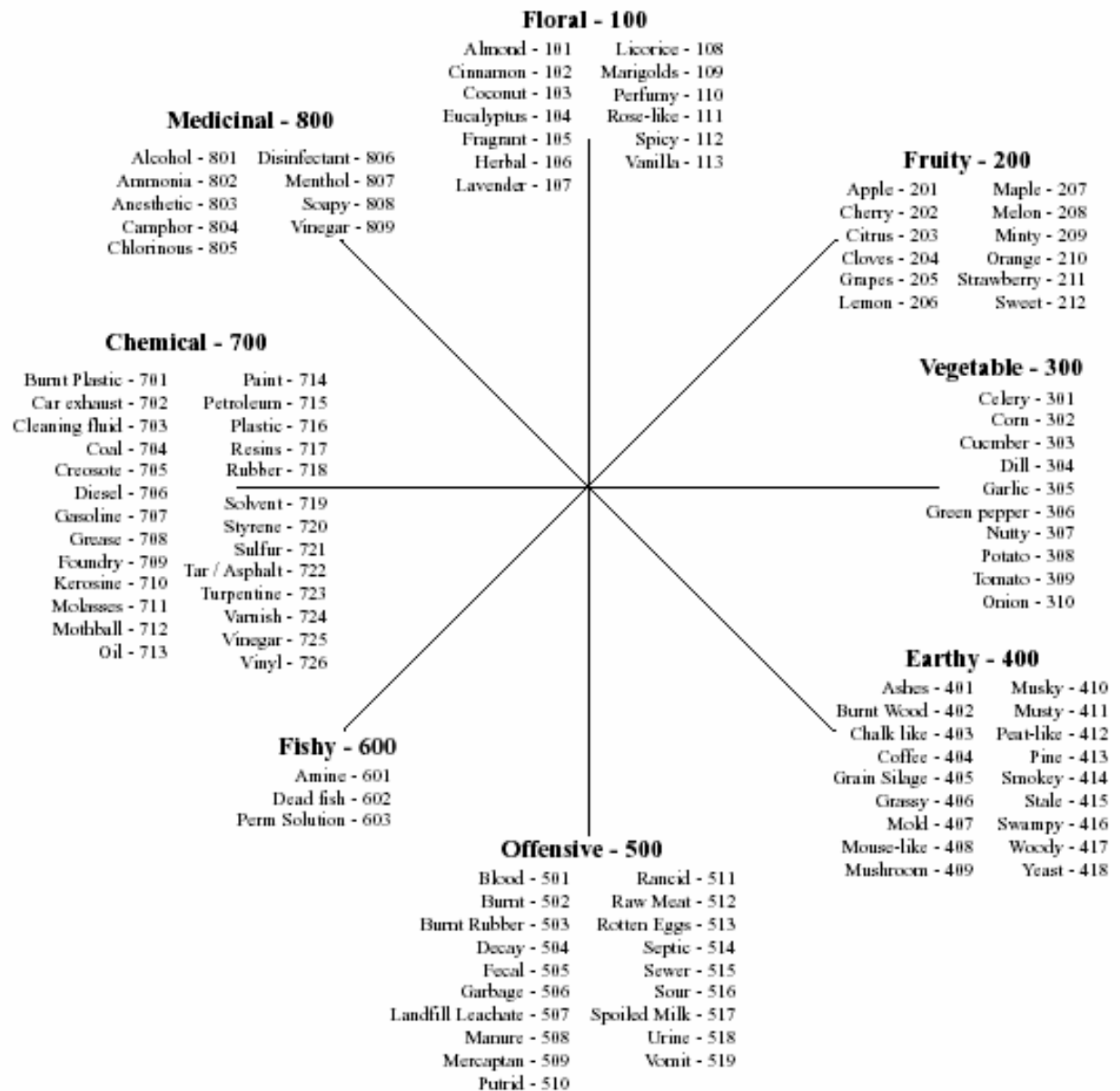
diagrama de componentes, descritores de odor e exemplo de planilha de levantamento de campo preenchida

## NASAL RANGER® FIELD OLFACTOMETER


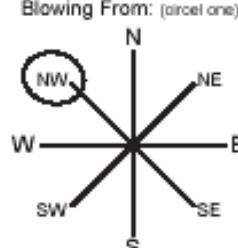
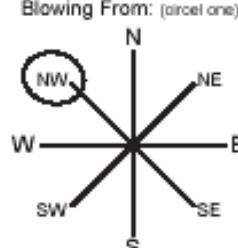
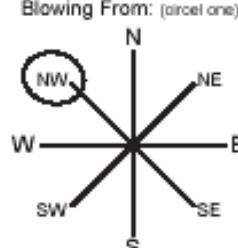
### COMPONENT DIAGRAM



# Odor Descriptors



# EXAMPLE

	COUNTY ENVIRONMENTAL DEPT.	Date: <u>1/4/05</u>													
Time	Location	D/T								Descriptors	Comments				
		60	30	15	7	4	2	<2							
7:00 AM	1 - INDUSTRIAL PARK								X						
7:10 AM	2 - " "								X	71B	FACTORY 'A'				
7:15 AM	3 - " "								X						
7:20 AM	4 - " "				X					71B, 725	FACTORY 'A'				
7:25 AM	5 - INTERSECTION					X				709	FACTORY 'A'				
7:30 AM	6 - INTERSECTION								X						
7:35 AM	7 - CO. RD. 20		X							71B, 725, 51B	'A' + WWTP				
7:40 AM	8 - INTERSECTION			X						71B, 725	FACTORY 'A'				
7:45 AM	9 - JUNCTION RD.				X					71B, 725, 51B	'A' + WWTP				
7:50 AM	10 - CO. RD. 20			X						71B, 51B, 601	'A' + WWTP				
7:55 AM	11 - DIVISION AVE.					X				71B, 601	'A' + WWTP				
8:00 AM	12 - INTERSECTION								X						
8:05 AM	13 - PARKING LOT					X				104, 504	VEGETATION				
8:10 AM	14 - INTERSECTION							X		707	HIGHWAY				
8:15 AM	15 - INTERSECTION								X						
8:20 AM	16 - INTERSECTION								X						
8:25 AM	17 - HOUSING DEVEL.							X		201	APPLE TREES				
8:30 AM	18 - SPD + GRV					X				706, 404	COFFEE SHOP				
<p><b>Weather Conditions</b></p> <table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 33%;"> <input type="checkbox"/> Sunny  <input type="checkbox"/> Partly Cloudy  <input type="checkbox"/> Mostly Cloudy  <input checked="" type="checkbox"/> Overcast  <input type="checkbox"/> Hazy             </td> <td style="width: 33%;"> <b>Precipitation:</b>  <input type="checkbox"/> None  <input checked="" type="checkbox"/> Fog  <input type="checkbox"/> Rain  <input type="checkbox"/> Sleet  <input type="checkbox"/> Snow             </td> <td style="width: 33%;"> <b>Wind Direction</b>                  Blowing From: (circle one)   </td> <td style="width: 33%;"> <b>Wind Speed:</b>  <input type="checkbox"/> Calm  <input checked="" type="checkbox"/> Light Breeze (1-5 mph)  <input type="checkbox"/> Moderate Wind (5-15 mph)  <input type="checkbox"/> Strong Winds (15 or higher mph)             </td> </tr> </table> <p>Temperature: <u>55</u> °F / °C      Relative Humidity: <u>60</u> %      Barometric Pressure: <u>50.1</u></p>												<input type="checkbox"/> Sunny <input type="checkbox"/> Partly Cloudy <input type="checkbox"/> Mostly Cloudy <input checked="" type="checkbox"/> Overcast <input type="checkbox"/> Hazy	<b>Precipitation:</b> <input type="checkbox"/> None <input checked="" type="checkbox"/> Fog <input type="checkbox"/> Rain <input type="checkbox"/> Sleet <input type="checkbox"/> Snow	<b>Wind Direction</b> Blowing From: (circle one) 	<b>Wind Speed:</b> <input type="checkbox"/> Calm <input checked="" type="checkbox"/> Light Breeze (1-5 mph) <input type="checkbox"/> Moderate Wind (5-15 mph) <input type="checkbox"/> Strong Winds (15 or higher mph)
<input type="checkbox"/> Sunny <input type="checkbox"/> Partly Cloudy <input type="checkbox"/> Mostly Cloudy <input checked="" type="checkbox"/> Overcast <input type="checkbox"/> Hazy	<b>Precipitation:</b> <input type="checkbox"/> None <input checked="" type="checkbox"/> Fog <input type="checkbox"/> Rain <input type="checkbox"/> Sleet <input type="checkbox"/> Snow	<b>Wind Direction</b> Blowing From: (circle one) 	<b>Wind Speed:</b> <input type="checkbox"/> Calm <input checked="" type="checkbox"/> Light Breeze (1-5 mph) <input type="checkbox"/> Moderate Wind (5-15 mph) <input type="checkbox"/> Strong Winds (15 or higher mph)												
<p>Comments: _____</p> <p>_____</p> <p>_____</p>															
<u>008</u> Code			<u>NIGEL MACKENZIE</u> Name				<u>Nigel MacKenzie</u> Signature								

# EXAMPLE

