

## **X-006 – AVALIAÇÃO DAS EMISSÕES ODORANTES DE UM BIOFILTRO ABERTO MEDIANTE OLFATOMETRIA DINÂMICA**

**Marlon Brancher<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Mestre em Engenharia Ambiental pela UFSC. Doutorando em Engenharia Ambiental no Laboratório de Controle da Qualidade do Ar (LCQAr/UFSC). Sócio-Diretor da Atmosphere Consultoria Ambiental.

**Henrique de Melo Lisboa**

Professor do ENS/UFSC. Eng. Civil pela UFSC (1980). Especialização em Hidrologia pela Escola de Hidrologia e Recursos Hidráulicos - Madrid (1981). Mestre em Meteorologia - USP (1986). DEA em Química da Poluição Atmosférica e Física do Meio-ambiente pela Université Paris VII (1993). Doutor em Poluição Atmosférica pela Université de Pau/Ecole des Mines d'Alès (França, 1996).

**Magnun Maciel Vieira**

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Mestre em Engenharia Ambiental pela UFSC. Pesquisador no Laboratório de Controle da Qualidade do Ar (LCQAr/UFSC). Sócio-Diretor da Atmosphere Consultoria Ambiental.

**Waldir Nagel Schirmer**

Doutor em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina. Professor Adjunto do curso de Engenharia Ambiental da Universidade Estadual do Centro-oeste do Paraná (UNICENTRO).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Campus Universitário Reitor João David Ferreira Lima. Centro Tecnológico (CTC). Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (ENS). Laboratório de Controle da Qualidade do Ar (LCQAr). Trindade - Florianópolis - Santa Catarina. CEP: 88040970. Fone: (48) 3721-4993. e-mail: mb@atmosphere.eng.br

### **RESUMO**

Odores que resultam direta ou indiretamente de atividades antrópicas e que causam um efeito adverso são geralmente classificados como contaminantes e estão sujeitos à regulamentação. O presente trabalho contempla a avaliação das emissões odorantes de um biofiltro aberto, responsável pelo tratamento de compostos odoríferos gerados em uma indústria de tingimento de tecidos. As amostras foram coletadas em sacos Tedlar, através de amostragem direta e foi determinada a concentração odorante, mediante olfatometria dinâmica, na entrada e saída do biofiltro, para avaliação da eficiência do sistema de tratamento. Além disto, foi determinada a vazão volumétrica do efluente gasoso no duto de entrada do biofiltro de acordo com normas da ABNT e determinada a taxa de emissão odorante utilizando campânula amostradora, conforme norma alemã VDI 3477/2004. A eficiência e a taxa de emissão odorante do biofiltro foram respectivamente de 98,8 % e  $3,4 \times 10^5$  U.O.h<sup>-1</sup>, valores esses dentro dos critérios de controle da qualidade do ar para atividades geradoras de substâncias odoríferas conforme estabelecido no Artigo 12 da resolução SEMA Nº 054/2006 da Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMA), do estado do Paraná.

**PALAVRAS-CHAVE:** Poluição do ar, odor, emissões odorantes, olfatometria dinâmica, biofiltro.

### **INTRODUÇÃO**

A poluição do ar por emissões odorantes tornou-se um problema grave, de difícil solução, sendo frequente a constatação de queixas deste desconforto ambiental (DE MELO LISBOA *et al.*, 2002). Odores que resultam direta ou indiretamente de atividades antrópicas e que causam um efeito adverso são geralmente classificados como contaminantes e estão sujeitos à regulamentação (NICELL, 2009). De fato, emissões odorantes são consideradas uma das principais causas de reclamações do público às autoridades competentes, em relação à qualidade do ar e representam um problema social crescente nos países industrializados (BLUMBERG e SASSON, 2001; RANZATO *et al.*, 2012). Nesse contexto, o adequado monitoramento e ferramentas para regulação são necessários para minimizar os impactos dos odores em comunidades (RANZATO *et al.*, 2012).

Diversas tecnologias estão disponíveis para o tratamento de emissões odorantes provenientes de estações de tratamento de esgoto, instalações de tratamento de lodo e processos industriais. Basicamente, existem três diferentes métodos: bioquímico (biofiltros, biolavadores, lodos ativados), químico (lavadores químicos,

oxidação térmica, oxidação catalítica, ozonização), e físico (condensação, adsorção e absorção) (BURGESS, PARSONS e STUETZ, 2001). Entre essas alternativas, a biofiltração é bastante versátil, sendo aplicável ao tratamento de efluentes gasosos das mais diversas origens e contendo os mais variados tipos de poluentes (BUSCA e PISTARINO, 2003). A biofiltração é um dos mais importantes processos biológicos utilizado para o tratamento de gases e controle de odores (OMRI *et al.*, 2013).

Este trabalho descreve a problemática dos odores em uma empresa responsável pela fabricação de roupas de cama, mesa e banho. Mais especificamente, no processo industrial de tingimento dos tecidos ocorre a geração de efluentes líquidos, os quais são direcionados a um tanque de equalização, para regularização de vazão anteriormente à estação de tratamento de águas residuais. Neste momento, devido à natureza do efluente líquido, ocorre a geração de gases odorantes. Por essa razão, o tanque de equalização foi coberto e o efluente gasoso direcionado a um biofiltro aberto para tratamento, antes de ser emitido na atmosfera. Neste contexto, o trabalho contemplou a determinação da taxa de emissão odorante e a avaliação da eficiência do sistema de biofiltração, em termos de redução da concentração odorante.

Procurou-se coletar amostras em momentos representativos da realidade do processo produtivo da empresa investigada – processo contínuo. As amostras foram coletadas e encaminhadas à unidade de olfatometria do Laboratório de Controle da Qualidade do Ar (LCQAr-UFSC), onde foram realizadas as análises olfatométricas. A medição da vazão foi realizada *in loco*, no duto de entrada do biofiltro, de acordo com normas da ABNT. Os resultados obtidos foram comparados com os critérios estabelecidos pela resolução SEMA Nº 054/2006, da Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMA), do estado do Paraná, utilizada neste trabalho como referência.

## MATERIAIS E MÉTODO

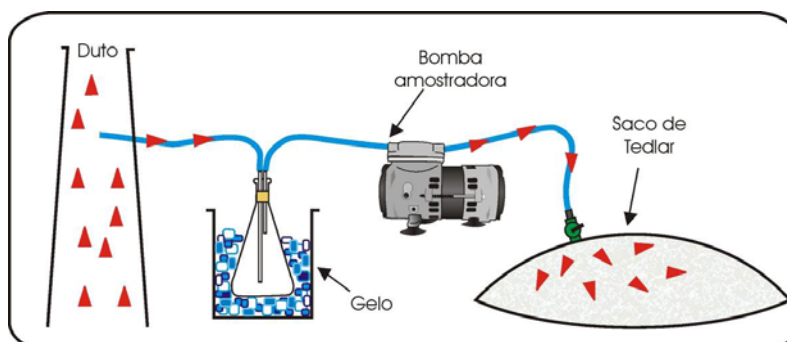
### Procedimento de amostragem

As amostras coletadas na entrada e saída do biofiltro foram acondicionadas em sacos especiais para gases odorantes, possuindo volume aproximado de 60 litros (marca DuPont, plástico Tedlar). Esse material é quimicamente inerte, sendo resistente à adsorção (Figura 1).



**Figura 1 – Saco Tedlar usado para amostragem de odores.**

A técnica utilizada para amostragem do efluente gasoso foi a amostragem direta (Figura 2). Neste caso, a amostra passou por uma bomba diafragma de pressão/vácuo, que possui interior revestido de inox, para não adsorver odores. As mangueiras utilizadas para coleta das amostras foram mangueiras de poliuretano novas e completamente isentas de qualquer odor. No caso de amostras com alta temperatura e/ou alta umidade, é usado um sistema de resfriamento da amostra para condensação de umidade excedente e para preservar os materiais utilizados na amostragem. O resfriamento do efluente gasoso se faz necessário uma vez que possíveis gotículas de água condensadas no interior do saco Tedlar podem absorver compostos odoríferos, diminuindo a concentração odorante da amostra. Durante e após as amostragens, os sacos Tedlar foram envoltos por um saco preto para evitar que a radiação ultravioleta atingisse diretamente a amostra, evitando desta forma, a fotólise das substâncias odoríferas.



**Figura 2 – Desenho esquemático do sistema de amostragem direta.**

### **Amostragem em fontes superficiais aplicada a biofiltros abertos**

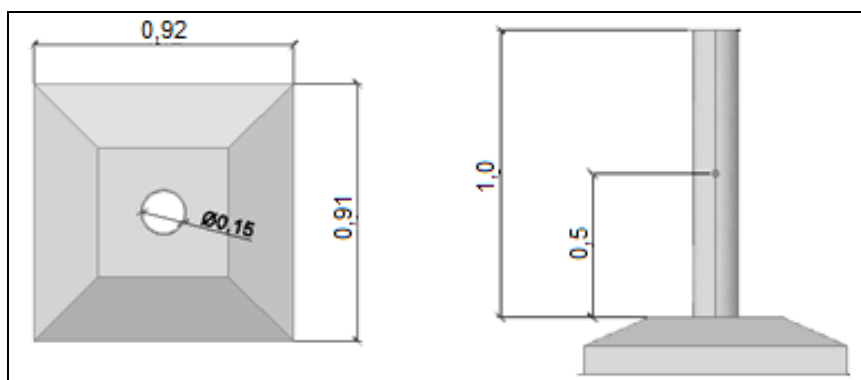
Em biofiltros abertos as emissões de odores ocorrem a partir de uma superfície sólida. Para avaliar a taxa de emissão odorante e investigar a homogeneidade do biofiltro foi utilizado uma campânula amostradora (Figura 3), adaptando-se os procedimentos metodológicos descritos na norma alemã VDI 3477/2004.



**Figura 3 – Campânula amostradora para biofiltros abertos sendo utilizada.**

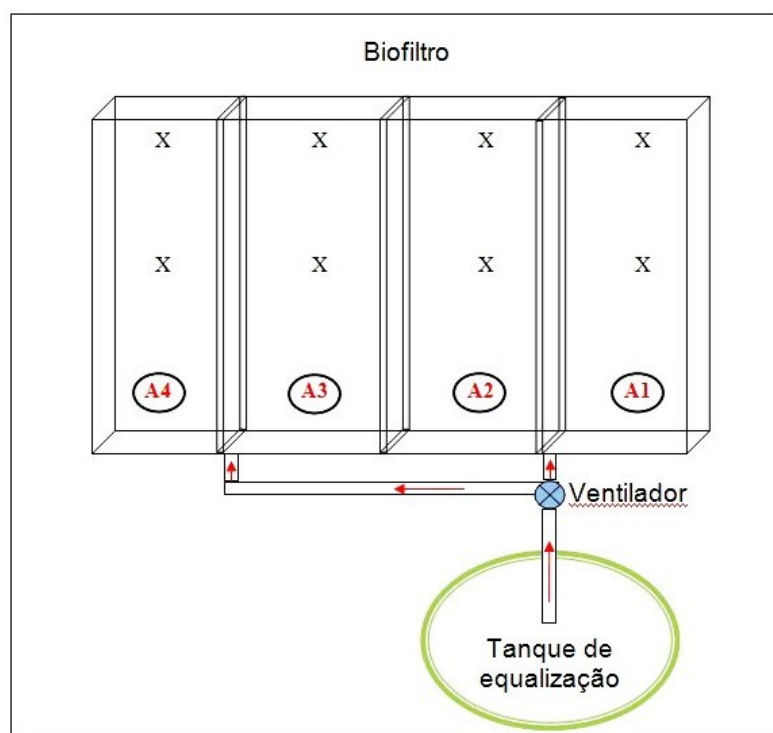
A partir da área superficial coberta pela campânula é possível tomar amostras para as análises olfatométricas e ao mesmo tempo analisar a homogeneidade do substrato do biofiltro, mediante a determinação de velocidades de emissão, o que permite detectar a existência de possíveis caminhos preferenciais dos gases de saída através do leito do biofiltro.

Para medição da velocidade do fluxo no orifício da campânula utilizou-se um anemômetro à fio quente (marca AIRFLOW, modelo TA45). Os dados são medidos em intervalos de aproximadamente 0,5 seg. Utilizou-se a função “média” do aparelho, onde se estabelece o início e fim das medições (usou-se um período de aproximadamente 1 minuto), e o equipamento fornece o valor médio dos dados coletados no período. As especificações do aparelho de acordo com o manual do fabricante são as seguintes: velocidade:  $0,00$  a  $30,00 \text{ m.s}^{-1} \pm 0,01 \text{ m.s}^{-1}$ ; temperatura:  $0,0$  a  $80,0 \text{ °C} \pm 0,1 \text{ °C}$  (AIRFLOW, 2001). Pode-se, por este modo, determinar a taxa de emissão específica (emissão odorante por unidade de área) para a área a ser analisada. Este procedimento é representado esquematicamente através da Figura 4.



**Figura 4 – Desenho esquemático da campânula amostradora para biofiltros. Dimensões cotadas em metro.**

No processo em questão, a geração de odores ocorre na chegada dos efluentes líquidos. Estes são provenientes do tingimento de tecidos do processo industrial e são dirigidos ao tanque de equalização para regularização de vazão. O tanque de equalização encontra-se coberto, a fim de se evitar que os gases odorantes sejam emitidos diretamente na atmosfera, sendo o fluxo gasoso direcionado a um biofiltro de leito de cavaco de madeira, através de um sistema de exaustão, para tratamento biológico. A Figura 5 apresenta um desenho esquemático deste processo.



**Figura 5 – Desenho esquemático do processo.**

De acordo com a norma VDI 3477/2004 o número de pontos de amostragem depende do tamanho da área do biofiltro e da superfície coberta pela área da campânula. Levando-se em conta os resultados das medições de distribuição de fluxo (tomadas de velocidade), um mínimo de 9 (nove) pontos de amostragem são normalmente requeridos. Entretanto, por questões de custo e aplicabilidade esta mesma norma recomenda que sejam extraídos um mínimo de 4 (quatro) amostras na saída do biofiltro para determinação da concentração odorante e otimização da representatividade dos resultados. Neste contexto, anteriormente à amostragem propriamente dita, foram definidas 4 (quatro) sub-áreas de coleta de amostras no biofiltro em função da distribuição do efluente gasoso em sua entrada. Medidas de velocidades em diferentes posições, em cada uma destas 4 (quatro) sub-áreas estabelecidas no biofiltro, foram previamente tomadas, representadas pela letra “X” na Figura 5, a fim de se observar a existência de caminhos preferenciais (ou a homogeneidade do biofiltro). As

medições de velocidades finais e consequentes amostragens, se deram no ponto com a maior das velocidades medidas na chaminé da campânula de cada uma das 4 (quatro) sub-áreas investigadas, representadas por “A1, A2, A3 e A4” na Figura 5, portanto, de maior concentração odorante específica. Para determinar a taxa de emissão e avaliar a eficiência do biofiltro em termos de redução da concentração odorante, 7 (sete) amostras foram coletadas, em sacos Tedlar, sendo 3 (três) sacos no duto de entrada (montante) e 4 (quatro) na saída, sobre o biofiltro (jusante). Todas as amostras coletadas foram encaminhadas à unidade de olfatometria do LCQAr, onde foi realizada a determinação da concentração.

### Medições de velocidades e pressões e determinação da vazão volumétrica do efluente gasoso

Os procedimentos de amostragem, bem como as medições de velocidades e pressões e determinação da vazão volumétrica do efluente gasoso no duto de entrada do biofiltro seguiram as normas NBR 11.966, NBR 11.967 e NBR 10.701. Estas correspondem, respectivamente, às metodologias de determinação de velocidade e vazão em dutos e chaminés, determinação da umidade em dutos e chaminés e determinação de pontos de amostragem em dutos e chaminés de fontes estacionárias (ABNT, 1989<sup>a-c</sup>). A medição de vazão do efluente gasoso foi realizada no duto de entrada do biofiltro utilizando um tubo de Pitot do tipo “S” (marca Energética), juntamente com um termopar do tipo K registrando a temperatura em um termômetro digital (IOP Therm 45) e um manômetro manual (fabricação própria), para medição da pressão do efluente gasoso.

### Análises olfatométricas

Para detecção do limite de percepção olfativo ( $k_{50}$ ) foi utilizado um olfatômetro de diluição dinâmica (marca ODOTECH, modelo Odile, Versão 3500). O olfatômetro Odile é composto por sistema de ar puro; unidade de pressurização; unidade de diluição; mesa olfatométrica com seis baias (ou *boxes*); e *software* de operação em computador. As diluições são realizadas de maneira decrescente e logarítmica. O *software* faz a análise contínua dos resultados, trabalhando com a média logarítmica de cada um dos jurados e depois com a média dos todos os jurados. Cada baia é provida de um painel para votação e três saídas de ar, das quais apenas uma sai a mistura de ar odorante com ar puro. As outras duas saídas recebem somente ar puro. A amostra diluída é apresentada de maneira aleatória aos jurados, e ocorre em diversas ordens de diluição. O detalhe do olfatômetro e da baia é apresentado na Figura 6.



Figura 6 – Componentes do sistema do olfatômetro ODILE e saídas de ar propostas a um jurado.

No momento da votação o jurado tem 15 segundos para cheirar as três saídas. Percebendo algum tipo de odor, deverá apertar o botão correspondente, abaixo do tubo de saída do odor, e o voto será registrado pelo *software*. Caso não perceba nenhum odor, deverá apertar o botão “Nenhum odor”. O resultado da análise é dado na forma de concentração, em unidades de odor por metro cúbico: UO.m<sup>-3</sup>. Significa dizer que a concentração da amostra representa o número de vezes que esta deve ser diluída para que seja atingido o seu limiar de detecção (quando existe apenas 50 % de probabilidade deste odor ser percebido). Os resultados do Limite de Percepção de Odor serão apresentados pela norma americana ASTM E679-04. Anteriormente às análises de amostras, é realizada a análise de um branco laboratorial, que representa a concentração odorante de fundo do sistema de ar puro e do próprio olfatômetro. O valor do branco laboratorial serve para verificar e atestar que o olfatômetro e o sistema como um todo está isento de contaminação, sendo que seu valor deve ser o menor possível, de modo a minimizar uma possível interferência nas análises.



### Determinação da taxa de emissão odorante e avaliação da eficiência do biofiltro

No cálculo da concentração odorante total emitida pela superfície do biofiltro será efetuada a ponderação apresentada na Equação 1. Nesta é levado em conta que as regiões do biofiltro que possuem maior fluxo, consequentemente contribuem mais perante a emissão total do biofiltro. Assim, cada concentração obtida nas análises olfatométricas é multiplicada pela velocidade do fluxo onde a amostra foi coletada. Posteriormente, para obter-se a concentração média em toda a superfície do biofiltro é feita então a divisão das concentrações ponderadas pela média das velocidades multiplicada pelo número de medições ou ponderações realizadas.

$$C_t = \frac{C_1 \cdot v_1 + C_2 \cdot v_2 + \dots + C_n \cdot v_n}{n \cdot v_m} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

$C_t$  = concentração odorante média considerando todo o biofiltro (UO. m<sup>-3</sup>);

$C_1$  = concentração odorante no ponto número 1;

$v_1$  = velocidade no ponto número 1 (medida com o anemômetro à fio quente);

$n$  = número de pontos avaliados;

$v_m$  = velocidade média entre os pontos de coleta (medida com o anemômetro à fio quente).

Para determinar a taxa de emissão odorante (T) emitida pelo biofiltro em Unidades de Odor por hora (UO.h<sup>-1</sup>) multiplica-se o valor da concentração odorante média ( $C_t$ ), em unidades de odor por metro cúbico (UO.m<sup>-3</sup>), considerando todo o biofiltro, pela vazão volumétrica (Q) dos gases (m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>), que alimenta o próprio biofiltro (Equação 2). Por esta razão, faz-se necessário determinar a velocidade e vazão dos gases. É importante salientar que a correção da vazão foi realizada para a condição normal de temperatura e pressão (CNTP), a qual corresponde a 0 °C e 760 mmHg.

$$T = C_t \times Q \quad \text{Equação 2}$$

A eficiência na redução da concentração odorante ( $\eta$ ) pode ser calculada através da Equação 3:

$$\eta = \frac{100 \times (A-B)}{A} [\%] \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

$\eta$  = Eficiência do sistema de tratamento (%);

A = Concentração odorante média na entrada do biofiltro;

B = Concentração odorante média na saída considerando todo o biofiltro ( $C_t$ ).

### RESULTADOS

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos para a concentração odorante de cada uma das amostras analisadas, já subtraídas do valor do branco laboratorial para o biofiltro. A análise do branco laboratorial apresentou o valor de 67 UO.m<sup>-3</sup>, o que atesta as boas condições do procedimento analítico. Os resultados apresentados foram calculados pela norma americana ASTM E679-04. Apesar das análises terem sido conduzidas pela norma ASTM E679-04, pode-se observar que estas foram realizadas dentro do período máximo de 30 horas após a coleta, como é recomendado pela norma da comunidade europeia EN 13.725 (CEN, 2003). O tempo médio decorrido entre amostragem e análise foi de aproximadamente 21 horas.

**Tabela 1 – Concentração odorante obtida através de olfatometria dinâmica.**

Ponto	Amostra	Hora de coleta	Hora de análise	Concentração odorante [UO.m <sup>-3</sup> ]	Concentração odorante média [UO.m <sup>-3</sup> ]
Entrada (duto)	1	14h07	10h35	25.660	22.379
	2	14h13	11h09	21.215	
	3	14h19	11h53	20.261	
Saída (biofiltro)	1	13h13	8h37	137	C <sub>t</sub> = 275
	2	13h20	8h53	223	
	3	13h33	9h08	366	
	4	13h43	9h29	320	

A Tabela 2 apresenta os resultados encontrados para velocidade média e temperatura nos 4 pontos de coleta sobre o biofiltro. Além disso, é apresentada a área de emissão total do biofiltro.

**Tabela 2 – Temperaturas e velocidades médias na saída do biofiltro e área total de emissão.**

Ponto	Temperatura (°C)	Velocidade média (m.s <sup>-1</sup> )	Velocidade média entre os 4 pontos (m.s <sup>-1</sup> )	Área aproximada total de emissão do biofiltro (m <sup>2</sup> )
A1	37,7 ± 0,1	0,39 ± 0,01	0,5125	290
A2	41,2 ± 0,1	0,52 ± 0,01		
A3	45,1 ± 0,1	0,65 ± 0,01		
A4	42,7 ± 0,1	0,49 ± 0,01		

É importante observar, através da Tabela 2, a possível existência de caminhos preferenciais entre os 4 pontos de coleta. Isto pode ser comprovado através da diferença de velocidade entre os pontos analisados. Também, é possível observar uma tendência de elevação da temperatura do gás odorante com o aumento da velocidade. Utilizando a Equação 1 para o cálculo da concentração odorante total gerada pela superfície do biofiltro, encontrou-se uma concentração (C<sub>t</sub>) de:

$$C_t = \frac{137 \cdot 0,39 + 223 \cdot 0,52 + 366 \cdot 0,65 + 320 \cdot 0,49}{4 \cdot 0,5125}$$

$$C_t = 275 \text{ UO.m}^{-3}$$

Para o cálculo da taxa de emissão odorante foi considerada a concentração odorante calculada a partir da média ponderada das 4 amostras coletadas na saída do biofiltro, entre 8h37 e 9h29, conforme cálculo anterior. A vazão calculada no duto de entrada foi de 1.234 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>, cujo valor representa a vazão volumétrica em base seca (como já citado corrigida para a condição normal, de 0 °C e 760 mmHg de pressão). Portanto, a taxa de emissão odorante do biofiltro foi de aproximadamente 3,4 x 10<sup>5</sup> UO.h<sup>-1</sup>. Considerando a concentração odorante média e a vazão medida na entrada do sistema, é importante salientar que a taxa de emissão odorante lançada na atmosfera, na ausência do biofiltro, seria de aproximadamente de 27,6 x 10<sup>6</sup> UO. h<sup>-1</sup>, valor este fora dos padrões estabelecidos pela Resolução SEMA N° 054/2006. A Tabela 3, abaixo, apresenta os principais dados e valores médios obtidos na amostragem e análise do efluente gasoso no duto de entrada do biofiltro.

**Tabela 3 – Principais parâmetros físicos e características no duto de entrada do biofiltro.**

Temperatura média (Tbs)	53,7 °C +- 0,1°C
Umidade Absoluta	0,162 gH <sub>2</sub> O/g <sub>ar</sub> seco
Massa Molecular em base úmida (MMbu)	26,599 g/gmol
Pressão Estática média (Pe)	5,8 mmH <sub>2</sub> O
Pressão Cinemática média (ΔP)	8,56 mmH <sub>2</sub> O
Velocidade média	2,85 m/s
Diâmetro interno do duto	0,40 m
Geometria da secção de fluxo	Circular

Para o cálculo da eficiência do sistema de tratamento foi utilizada a Equação 3:

$$\eta = \frac{100 \times (22379 - 275)}{22379} [\%]$$

$$\eta = 98,8 \%$$

Portanto, o resultado aponta uma eficiência de 98,8 % na redução da concentração odorante do efluente gasoso direcionado ao leito do biofiltro.

## CONCLUSÕES

Em virtude da falta de resolução específica sobre qualidade do ar, no Estado em que foi realizado o trabalho, e devido a inexistência de resolução no âmbito Federal (CONAMA), sobre odores, foi adotado como referência a Resolução SEMA Nº 054/2006, da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, do estado do Paraná. Esta resolução objetiva definir critérios para o controle da qualidade do ar no Estado do Paraná e menciona em seu Artigo 12º que:

*“As atividades geradoras de substâncias odoríferas, com uma taxa de emissão acima de 5.000.000 UO.h<sup>-1</sup> (Unidades de Odor por hora), deverão promover a instalação de equipamento, previamente analisado pelo Instituto Ambiental do Paraná, visando a captação e remoção do odor. O tipo de equipamento de remoção de odor a ser instalado dependerá das condições locais de dispersão, da proximidade de áreas habitadas e da quantidade de substâncias odoríferas emitidas, a qual deverá ser quantificada por olfatometria e expressa em Unidades de Odor lançadas na atmosfera por hora. A eficiência do equipamento de remoção de odor, determinada por olfatometria deve ser no mínimo de 85 %”.*

O biofiltro utilizado para o tratamento do efluente gasoso da empresa investigada apresentou eficiência de aproximadamente 98,8 % na remoção de compostos odoríferos, sendo que a taxa de emissão odorante determinada foi de 3,4 x 10<sup>5</sup> UO.h<sup>-1</sup>. Levando-se em conta apenas os resultados obtidos nesta campanha de amostragem e comparando-os, literalmente, com critérios estabelecidos pela Resolução SEMA Nº 054/2006, adotada como referência no presente trabalho, a empresa atende tanto o padrão máximo de emissão de 5 x 10<sup>6</sup> UO.h<sup>-1</sup>, quanto a remoção mínima de 85 % no que diz respeito à redução da concentração odorante.

O controle operacional e manutenção apropriados do sistema de biofiltração podem ser responsáveis pela elevada eficiência atingida. Temperatura, umidade, pH, vazão e taxa de aplicação superficial estão entre os principais fatores que influenciam a eficiência dos biofiltros (HONG e PARK, 2005).

A temperatura média de emissão, calculada a partir da média dos 4 pontos medidos na superfície do biofiltro, foi de aproximadamente 41,7 °C. Já a temperatura do efluente gasoso na entrada do biofiltro foi de aproximadamente 53,7 °C. A flora microbiana trabalha de forma eficiente em temperaturas variando entre 15 a 30 °C. Quanto maior for a temperatura, maior a taxa de metabolismo e a taxa de biodegradação, até uma temperatura de aproximadamente 40 °C. Em temperaturas abaixo de 15 °C, os sistemas biológicos começam a diminuir significativamente sua atividade, reduzindo a eficiência do tratamento. Já em temperaturas acima de 40 °C, o tipo de sistema microbiano muda de mesofílico para bactérias termofílicas, o que também reduz potencialmente o rendimento de remoção de odor. Por outro lado, a solubilidade e a taxa de adsorção diminui



com o aumento da temperatura. Os biofiltros recebem a maior parte do calor necessário para manter a temperatura do leito a partir do efluente gasoso e o restante provém da atividade metabólica dos microrganismos (EASTER *et al.*, 2005).

O pré-condicionamento (pré-umedecimento) do fluxo gasoso na entrada do processo é recomendado para manter a umidade requerida no meio filtrante do biofiltro. No caso do presente trabalho o efluente gasoso ao entrar no fundo falso do biofiltro e ser direcionado ao leito filtrante é umidificado através de um sifão invertido. O controle de umidade é um dos aspectos mais importantes para a manutenção do material filtrante, se não o mais importante, particularmente para meios naturais. Meios filtrantes muitos secos não desenvolverão uma comunidade microbiana diversificada e robusta. Meios muito molhados podem tornar-se muito densos, resultando em redução da porosidade por compactação e altas perdas de carga. Talvez o aspecto mais importante da operação de biofiltros seja proporcionar um ambiente úmido estável. A faixa do teor de umidade de 40 a 70 % é considerada típica para materiais filtrantes orgânicos de acordo com a literatura, com resultados entre 40 a 60 % sendo normalmente relatados. Se o efluente gasoso não for adequadamente umidificado para aproximadamente 100 % de umidade relativa, o fluxo através do biofiltro pode rapidamente retirar a umidade do meio. A secagem pode ocorrer rapidamente mesmo em baixas vazões de operação. O efeito será impactos negativos sobre a flora microbiana com consequente redução de eficiência de tratamento. Por outro lado, um fluxo gasoso quente e úmido atravessando o meio filtrante em um ambiente frio pode condensar grandes volumes de água que devem ser considerados ao determinar as taxas de aspersão (EASTER *et al.*, 2005).

Apesar do processo investigado ser contínuo, ressalta-se que os valores calculados refletem a realidade do processo industrial no momento das amostragens, sendo que, se alterado os parâmetros dos efluentes líquidos direcionados ao tanque de equalização, podem-se esperar variações na concentração odorante do efluente gasoso gerado e possivelmente na eficiência do sistema de tratamento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AIRFLOW. Manual de instruções termo-anemômetro TA45. Airflow: New Jersey, 2001.
2. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). Standard Practice E679-04: Determination of Odor and Taste Thresholds by a Forced-Choice Ascending Concentration Series of Limits. 2004.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10701 (1989<sup>c</sup>): Efluentes gasosos em dutos e chaminés de fontes estacionárias – Determinação da massa molecular em base seca. Método de ensaio. Rio de Janeiro.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11966 (MB-3080) (1989<sup>a</sup>): Efluentes gasosos em dutos e chaminés de fontes estacionárias – Determinação da velocidade e vazão. Método de ensaio. Rio de Janeiro.
5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11967 (MB-3081) (1989<sup>b</sup>): Efluentes gasosos em dutos e chaminés de fontes estacionárias – Determinação da umidade. Método de ensaio. Rio de Janeiro.
6. BLUMBERG, D.G.; SASSON, A. Municipal hotlines and automated weather stations as a tool for monitoring bad odour dispersion: the northern Negev case, *Journal of Environmental Management* 63, pp. 103–111, 2001.
7. BURGESS, J.A.; PARSONS, S.A.; STUETZ, R.M. Developments in odour control and waste gas treatment biotechnology: a review. *Biotechnology Advances*, 19, pages 35–63, 2001.
8. BUSCA, G., PISTARINO, C. Technologies for the abatement of sulphide compounds from gaseous streams a comparative overview. *Loss Prev. Process Indus. J.* 16, pages 363–373, 2003.
9. DE MELO LISBOA, H.; BELLI FILHO, P.; CARMO JR, G. N. R.; QUEIRÓZ, N.; EVANGELHO, M. R.; GUTIERREZ, R.; MOREIRA, A. Methodologies for evaluation of odors in oil refinery. In: XXVIII Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 2002, Cancun. CD ROM, 2002.
10. EASTER, C.; QUIGLEY, C.; BURROWES, P.; WITHERSPOON, J.; APGAR, D. Odor and air emission control using biotechnology for both collection and wastewater treatment systems. *Chemical engineering journal*, vol. 113, no. 2-3, pages 93-104, 2005.
11. EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). EN: 13.725 Air quality – Determination of odour concentration by dynamic olfactometry (english version). European Standard. Bruxelas, 2003.
12. HONG, J.H.; PARK, K.J. Compost biofiltration of ammonia gas from bin composting. *Bioresource Technology*, 96: 741-745. 2005.

13. NICELL, J.A. Assessment and regulation of odour impacts, *Atmospheric Environment*, Volume 43, Issue 1, pages 196-206, 2009.
14. OMRI, I.; AOUIDI, F.; BOUALLAGUI, H.; GODON, J.; HAMDI, M. Performance study of biofilter developed to treat H<sub>2</sub>S from wastewater odour. *Saudi Journal of Biological Sciences*. Article in press, 2013.
15. RANZATO, L.; BARAUSSE, A.; MANTOVANI, A.; PITTARELLO, A.; BENZO, M.; PALMERI, L. A comparison of methods for the assessment of odor impacts on air quality: Field inspection (VDI 3940) and the air dispersion model CALPUFF. *Atmospheric Environment*. Volume 61, Pages 570–579, December 2012.
16. SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS DO PARANÁ (SEMA) (2006) - Resolução SEMA Nº 054, de dezembro de 2006: Defini critérios para o Controle da Qualidade do Ar.
17. VDI (Verein Deutsche Ingenieure). VDI 3477, Biological Waste Gas Purification – Biofilters, 2004. *Handbuch Reinhaltung der Luft*.