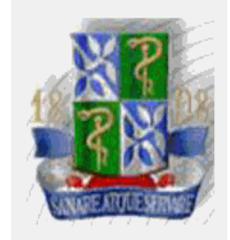




**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA  
FACULDADE DE MEDICINA DA BAHIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
SAÚDE, AMBIENTE E TRABALHO**



# **USO DE NEBLINA ATIVADA PARA REDUÇÃO DAS EMISSÕES DE BIOAERÓSSOIS EM UM ATERRO SANITÁRIO**

**Eagles Muniz Alves**

**Dissertação de Mestrado**

Salvador (Bahia), 2009

T231 Alves, Eagles Muniz

Uso de neblina ativada para redução das emissões de bioaerossóis em um aterro sanitário / Eagles Alves Muniz – Salvador: EM, Alves, 2009.

xi, 66p.: il.

Orientador: Prof. Dr. Tania Mascarenhas Tavares  
Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Saúde, Ambiente e Trabalho da Faculdade de Medicina da Bahia da Universidade Federal da Bahia.

1. Emissões de bioaerosol; 2. Neblina ativada; 3 Aterro sanitário;
4. Saúde pública

CDU:616.995.122  
616.36-002



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA**  
**FACULDADE DE MEDICINA DA BAHIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM**  
**SAÚDE, AMBIENTE E TRABALHO**



# **USO DE NEBLINA ATIVADA PARA REDUÇÃO DAS EMISSÕES DE BIOAERÓSSOIS EM UM ATERRO SANITÁRIO**

**EAGLES MUNIZ ALVES**

**Professor-orientador: TANIA TAVARES MASCARENHAS**

Dissertação apresentada ao Colegiado do Curso de Pós-graduação em Saúde, Ambiente e Trabalho da Faculdade de Medicina da Universidade Federal da Bahia, como pré-requisito obrigatório para a obtenção do grau de Mestre em Saúde, Ambiente e Trabalho.

Salvador (Bahia), 2009

# **COMISSÃO EXAMINADORA**

## **Membros Titulares:**

. Tânia Mascarenhas Tavares (Professor-orientador - Presidente), Professor titular de Departamento Química Analítica do Instituto de Química da Universidade Federal da Bahia.

. Sandra de Souza Hacon, Professora Doutora da Escola Nacional de Saúde Pública –ENSP.

. Luiz Roberto Santos Moraes, Professor Titular em Saneamento do Departamento de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia.

## **FONTES DE FINANCIAMENTO**

Bolsa de Mestrado da Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado da Bahia.

1. Projeto FAPESB No. APR 0164/2008

## **AGRADECIMENTOS**

A Fundação Oswaldo Cruz , especialmente ao Prof. Marcos Vannier, pelo uso do laboratório.

A José Jorge Bispo pela ajuda indispensável no trabalho de campo.

A Maria Simone Ferreira pela resolução de toda a parte burocrática do projeto.

A Sonilda Silva e Angela Costa pela companhia, esclarecimento de dúvidas e momentos de descontração.

A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

# ÍNDICE

Índice de figuras	viii
Índice de tabelas	x
Índice de siglas	xi
<b>I. Resumo</b>	12
<b>II Objetivos</b>	13
<b>III Introdução</b>	14
<b>IV Revisão da Literatura</b>	16
IV.1 Bioaerossol em ambientes internos	16
IV.2 Bioaerossol em ambientes externos	20
IV.3 Princípios dos redutores de bioaerossóis	23
IV.3.1. Filtração de microrganismos	23
IV.3.2. Irradiação ultravioleta germicida	25
IV.3.3. Precipitação eletrostática	26
IV.3.4. Uso de Vegetação	27
IV.3.5. Sistemas em desenvolvimento	27
IV.3.5.1. Adsorção em carbono	27
IV.3.5.2. Ozonização	28
IV.3.5.3. Oxidação fotocatalítica	28
IV.3.5.4. Luz pulsada	29
IV.4 Princípio da redução de bioaerossol por neblina ativada	30
<b>V Material e Métodos</b>	39
V.1 Local de estudo	39
V.2 Metodologia	42
V.2.1. Técnica da neblina ativada	42
V.2.2. Desenho amostral	44
V.2.3. Técnica de amostragem de bactérias e fungos	46
V.2.4. Determinação de bactérias e fungos	47
<b>VI Resultados</b>	48
<b>VII Discussão</b>	54
<b>VIII Conclusão</b>	58
<b>IX Summary</b>	60
<b>X Referências Bibliográficas</b>	61

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Pré-filtro utilizado em sistema de ventilação	24
Figura 2 – Filtros HEPA e ULPA utilizados em sistema de ventilação	24
Figura 3 - Reator de absorção de bioaerossol	31
Figura 4 - Produção de neblina contendo surfactante a partir do nebulizador	32
Figura 5 - Interação do surfactante na superfície da gotícula com bioaerossóis	33
Figura 6 – Gotículas contendo bioaerossol no desnebulizador e saída para esgoto	33
Figura 7 – Processo de formação de micela a partir de uma gotícula de neblina contendo surfactante na sua superfície com o bioaerossol	34
Figura 8- Ilustração mostrando o aumento de superfície em função do tamanho de partículas	35
Figura 9 – Distribuição do tamanho de partículas da neblina produzida no sistema do LAQUAM	36
Figura 10 - Comparação ilustrada do sistema de neblina com as técnicas concorrentes	37
Figura 11- Mapa da localização do Aterro Sanitário Metropolitano Centro (ASMC)	39
Figura 12 – Foto de satélite da área ocupada pelo Aterro Sanitário Metropolitano Centro (ASMC) obtida do Google Earth	40
Figura 13 – Foto de satélite do Google Earth mostrando a localização Aterro Sanitário Metropolitano Centro (ASMC) e as áreas residenciais mais próximas	41
Figura 14 – Esquema do sistema de neblina utilizado para abatimento de bioaerossol na bacia de acumulação do chorume do Aterro Sanitário Metropolitano Centro (ASMC)	42
Figura 15 – Teste de redução de bioaerossóis com o sistema de neblina ativada na bacia de acumulação de chorume do Aterro Sanitário Metropolitano Centro (ASMC) (visão a partir da lagoa de contenção do chorume)	43
Figura 16 - Teste de redução de bioaerossóis com o sistema de neblina ativada na bacia de acumulação de chorume do Aterro Sanitário Metropolitano Centro (ASMC)	43
Figura 17 – Representação do tamanho de partículas de bioaerossóis	45
Figura 18 – Faixa de diâmetro aerodinâmico de partículas teoricamente amostradas pelo impactador e captadas pela neblina ativada	45
Figura 19 – Impactador Andersen montado para amostragem com um estágio	46

Figura 20 – Concentração de bactérias (UFC m <sup>-3</sup> ) no ar emanado do respiradouro da bacia de acumulação do chorume do aterro sanitário de Salvador, sem (Inicial) e com (Final) a utilização do sistema de neblina ativada, Outubro de 2008	49
Figura 21 - Box Plot das concentrações de bactérias (UFC m <sup>-3</sup> ) no ar emanado do respiradouro da bacia de acumulação do chorume do aterro sanitário de Salvador, sem (Inicial) e com (Final) a utilização do sistema de neblina ativada, Outubro de 2008	49
Figura 22 – Concentração de fungos (UFC m-3) no ar emanado do respiradouro da bacia de acumulação do chorume do aterro sanitário de Salvador, sem (Inicial) e com (Final) a utilização do sistema de neblina ativada, Outubro de 2008	52
Figura 23 - Gráfica de Box Plot das concentrações de fungos (UFC m-3) no ar emanado do respiradouro da bacia de contenção do chorume do aterro sanitário de Salvador, sem e com a utilização do sistema de neblina ativada, Outubro de 2008.	53
Figura 24 - Redução de bactéria total em uma estação de compostagem com presença de membranas semipermeáveis nas pilhas A e B e ausência na pilha C. (Kühner, 2001)	55
Figura 25 - Concentrações de <i>Aspergillus fumigatus</i> no ar que entrada e saída dos biofiltros. (Schilling, 2003)	55
Figura 26 - Concentrações de bioaerossóis antes e depois da oxidação térmica. (Kummer, 2003)	56

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Taxas de Sedimentação <sup>1</sup> das Partículas no Ar	21
Tabela 2 - Desvantagens das técnicas atualmente em uso em relação a técnica da neblina ativada.	38
Tabela 3 – Concentração de bactérias no ar emanado do respiradouro da bacia de acumulação do chorume do Aterro Sanitário Metropolitano Centro, Salvador, com e sem a utilização do sistema de neblina ativada, 2008	48
Tabela 4 – Teste t pareado das concentrações de bactérias com amostras de anteriores e posteriores a aplicação do sistema de neblina ativada no ar emanado do respiradouro da bacia de acumulação do chorume do Aterro Sanitário Metropolitano Centro, Salvador, 2008	50
Tabela 5 - Concentração de fungos (UFC m-3) no ar emanado do respiradouro da bacia de acumulação do chorume do Aterro Sanitário Metropolitano Centro, Salvador, sem (Inicial) e com (Final) a utilização do sistema de neblina ativada, 2008	51
Tabela 6 - Teste t pareado das concentrações de fungos com amostras de anteriores e posteriores a aplicação do sistema de neblina ativada no ar emanado do respiradouro da bacia de acumulação do chorume do Aterro Sanitário Metropolitano Centro, Salvador, 2008	53

## ÍNDICE DE SIGLAS

BATTRE - Bahia Transferência e Tratamento de Resíduos S/A  
CDC - Centro para Controle e Prevenção de Enfermidades dos Estados Unidos  
COV - Compostos Orgânicos Voláteis  
HEPA - Filtros de partículas aéreas de alta eficiência  
LAQUAM - Laboratório de Química de Analítica Ambiental, Instituto de Química da UFBA  
OMS - Organização Mundial da Saúde  
SED - Síndrome dos Edifícios Doentes  
ULPA - Filtros de Ultra Baixa Penetração  
UVGI - Irradiação Ultravioleta Germicida  
UV - Luz Ultravioleta  
UFC m<sup>-3</sup> - Unidades de Formação de Colônias por Metro Cúbico de Ar  
ZUF - Centro de Pesquisas Ambientais da Universidade de Frankfurt, Alemanha

# I. RESUMO

## USO DE NEBLINA ATIVADA PARA REDUÇÃO DAS EMISSÕES DE BIOAEROSSÓIS EM UM ATERRO SANITÁRIO

Introdução: A contaminação microbiológica do ar representa um grande risco à saúde das pessoas expostas por provocar doenças infecciosas, respiratórias e alergias, logo para resolução desse problema, uma série de medidas e tecnologias de eliminação de microrganismos presente no ar foi e continua em desenvolvimento. Atualmente, tecnologias baseadas em filtração, controle da pressão, irradiação ultravioleta e outras já são utilizadas em ambientes fechados. No entanto, esse tipo de contaminação não fica restrito aos interiores dos ambientes e pode atingir pontos distantes ao ar livre, quando sua fonte é resultado de processos antrópicos envolvendo decomposição microbiana, como no caso das atividades das estações de tratamento de esgotos, estações de compostagem, aterros sanitários, o que acarreta um risco potencial à saúde de trabalhadores e moradores vizinhos dessas áreas . Esse fato levanta a necessidade de discussões relacionadas à redução de emissões de microrganismos dessas estações.

Objetivo: este trabalho estudou a redução de bioaerossóis - bactérias e fungos - presentes no ar, utilizando o sistema de neblina ativada quimicamente montado na forma de um reator na abertura da bacia de chorume do Aterro Sanitário Metropolitano Centro de Salvador, BA. Material e Métodos: a eficiência do sistema químico para a redução de fungos e bactérias foi feito em condições reais, efetuando-se testes com e sem o sistema. A amostragem dos bioaerossóis foi feita com um impactador com diâmetro de corte de partículas de 0,4 µm por 5-10 minutos em membrana de éster de celulose GN6–Metrical da Pall. Após a amostragem, as membranas foram transferidas e cultivadas em diferentes meios: Agar Sabouraud à 20-25°C para fungos por cinco dias e ágar padrão a 35°C ± 1°C por 48h ± 3h para bactérias, as colônias de fungos e bactérias foram quantificadas em unidades de formação de colônia por metro cúbico, sendo os dados analisados estatisticamente por test t. Resultados: nas condições do Aterro Sanitário Metropolitano Centro, Salvador/BA, a redução das concentrações dos bioaerossóis foi de até 72% com neblina produzida somente com água e 93% utilizando-se uma mistura de tensoativo 1%. Conclusões: o sistema é viável para a situação proposta.

Palavras chaves: Bioaerossol; Neblina ativada; Aterro sanitário; Saúde pública

## **II. OBJETIVOS**

### **II.1 PRINCIPAL**

Estudar a viabilidade de redução ou eliminação de bactérias e fungos no ar das emanações da bacia de contenção do chorume do Aterro Sanitário Metropolitano Centro de Salvador.

### **II.2 SECUNDÁRIOS**

1. Quantificar a presença de bactérias e fungos emanados do da bacia de contenção do chorume;
2. Otimizar a composição da neblina ativada para bactérias e fungos;
3. Testar o sistema na bacia de contenção do chorume para redução e/ou abatimento de bactérias e fungos.

### III. INTRODUÇÃO

A contaminação microbiológica do ar é um assunto que tem tomado a atenção da comunidade científica por representar uma ameaça à saúde das pessoas expostas e para resolução deste problema, uma série de tecnologias de eliminação dos microorganismos presentes no ar foi e continua em desenvolvimento.

Atualmente, tecnologias baseadas em filtração, controle da pressão, irradiação ultravioleta e outros já são instaladas em ambientes fechados como escolas, escritórios, hospitais, para reduzir a concentração de microorganismo no ar que é um dos fatores ligado à síndrome do edifício doente - denominação dada pela Organização Mundial da Saúde (OMS) para as doenças relacionadas com a qualidade do ar de interiores. Este problema foi identificado na década de 70 e passou a ser estudado em ambientes fechados que não fossem industriais.

Até então se pensava que a contaminação microbiológica do ar estava restrita aos ambientes fechados, mas no começo da década de 90 surgem trabalhos mostrando que processos antrópicos envolvendo decomposição microbiana, como aterros sanitários, estações de tratamento de esgotos, indústrias de processamento de papel e celulose, plantas de refrigeração, levam ao aumento das emissões de microorganismos no ar. Bactérias e fungos que não existiriam em determinadas quantidades passam a ser encontrados em altas concentrações nas proximidades e em pontos mais afastados dessas estações. Esse fato levanta a necessidade da discussão das emissões de microorganismos por uma busca de medidas que as reduzam, mantendo assim o bem-estar e a saúde dos trabalhadores, bem como dos moradores vizinhos a estas estações, pois muitos microorganismos que são ambientalmente comuns podem causar infecções oportunistas nas pessoas com saúde comprometida.

O Aterro Sanitário Metropolitano Centro (ASMC) de Salvador operado pela Bahia Transferência e Tratamento de Resíduos S/A - Battre foi construído com a tecnologia mais moderna em nível internacional, respeitando os padrões técnicos europeus em relação ao sistema de impermeabilização do fundo, incluindo uma camada de drenagem integral, gerenciamento das águas e apresentando um sistema de gerenciamento de biogás com uma rede de captação e capacidade de queima desse gás. No entanto, alguns pontos do empreendimento emitem cheiro desagradável decorrente do material orgânico em decomposição, particularmente o local de carregamento do

aterro e a bacia de contenção do chorume do referido aterro. Sendo as bactérias e os fungos os principais responsáveis pela decomposição de matéria orgânica, é de se esperar que essas sejam emitidas para a atmosfera juntamente com as moléculas odoríferas.

Várias medidas para redução de emissões de odor já foram tomadas pela empresa, sendo que a bacia de chorume foi totalmente coberta com uma lona plastificada, reduzindo significativamente as emissões originais de odores.

Como algumas emissões de substâncias odoríferas persistiam, o Laboratório de Química de Analítica Ambiental - LAQUAM, do Instituto de Química, da Universidade Federal da Bahia otimizou um sistema de abatimento de gases, desenvolvido no Centro de Pesquisas Ambientais da Universidade de Frankfurt - Alemanha (ZUF), baseado na produção de neblina, onde as gotículas variam de 10-50 $\mu$ m de diâmetro, apresentando desta forma as condições necessárias para a remoção dos gases do ar, baseado no princípio da absorção. Originalmente o sistema na Alemanha foi utilizado para abatimento de amônia em pocilgas (criação de porcos), e o sistema otimizado pelo LAQUAM foi otimizado para o abatimento de outros gases odoríferos tais como sulfeto de hidrogênio, outros compostos reduzidos de enxofre e amônia provenientes da bacia de chorume reduzindo o odor em até 98%. O sistema é de baixo custo de investimento e de operação e apresenta alta eficiência.

A neblina com essas características também pode ser utilizada para a remoção de material particulado do ar, sendo que neste caso o processo é baseado nos mecanismos combinados de difusão, impactação, intercepção e absorção. Desta forma esse princípio serve de base para um sistema que promove uma possível remoção de fungos e bactérias do ar, já que estes microrganismos se comportam como partículas devido as suas dimensões micrométricas.

Dispondo o LAQUAM de um sistema de abatimento de gases com potencial de aplicabilidade a partículas, diante da demanda crescente em termos internacionais e nacionais tanto para ambientes externos quanto internos de abatimento de bioaerossóis, e a situação particular do Aterro Sanitário Metropolitano Centro de Salvador que tem cooperado com o LAQUAM, propusemos estudar a viabilidade de aplicação do sistema de neblina temperada para a redução de bactérias e fungos potencialmente emitidos pela bacia de contenção de chorume.

## **IV. REVISÃO DA LITERATURA**

### **IV.1 Bioaerossol em ambientes internos**

O desenvolvimento de técnica de redução de bioaerossóis iniciou com a purificação do ar de ambientes interiores a partir da década de 70. Desde então, o interesse por este assunto tem crescido, uma vez que as pessoas normalmente passam 90% do seu tempo em ambientes fechados, incluindo residências, escolas, escritórios, hospitais, ou seja, todo tipo de ambiente não industrial (Jones, 1999). Nesses ambientes, ao contrário do que se imaginava, também há uma carga elevada de poluentes, típica desses espaços, as quais podem afetar à saúde

Doenças relacionadas com a qualidade do ar de interiores são classificadas pela Organização Mundial da Saúde (OMS) como Síndrome dos Edifícios Doentes (SED), tal sua importância e prevalência, decorrentes da urbanização e verticalização dos ambientes internos.

Em 1982, o Comitê Técnico da OMS definiu a SED como o conjunto dos seguintes sintomas: dor de cabeça; fadiga; letargia; prurido e ardor nos olhos, irritação de nariz e garganta; anormalidades na pele e falta de concentração, em trabalhadores de escritórios (NIOSH, 1987; WHO, 1982). Mas, foi a partir dos anos 90 que a SED tornou-se um conceito comum na literatura científica, usado para descrever situações nas quais os ocupantes de um determinado edifício experimentam efeitos adversos à saúde e ao conforto (Brickus & Aquino Neto, 1999).

De acordo com os padrões da OMS mais da metade dos locais fechados como empresas, escolas, cinemas, residências e até hospitais tem ar de má qualidade. Esse baixo padrão de qualidade é causado principalmente, pela má higienização dos aparelhos de ar condicionado e pela falta de controle sobre as possíveis fontes de contaminação (WHO, 1998).

A qualidade do ar em escolas também tem causado interesse no mundo científico devido ao longo tempo de permanência de crianças e jovens nesse tipo de ambiente. Baixa ventilação, com pequena taxa de troca de ar, além da falta de manutenção e limpeza insatisfatória das salas de aula, têm resultado em concentrações altas de dióxido de carbono e poeira causando sintomas da SED; com isso, há um aumento de alergias e asma, principalmente em crianças (Gioda, 2003). Hospitais e

outros centros de saúde são exemplos de ambiente complexos que requerem ventilação adequada para conforto e controle das emissões que possam ser prejudiciais a pacientes, funcionários e visitante. A qualidade do ar nesse tipo de ambiente é mais crítica do que em outros locais fechados, devido ao aumento da susceptibilidade dos pacientes. Têm sido diagnosticados sintomas de SED em funcionários de hospitais e centros de saúde em virtude da exposição a vários agentes químicos e microbiológicos. Por causa desses fatores, a poluição de interiores é hoje reconhecida como uma das maiores ameaças à saúde pública, de acordo com a OMS (WHO, 2000).

Os pesquisadores Costa e Brickus (2000) evidenciaram, através de um estudo epidemiológico envolvendo um shopping center aclimatado artificialmente, localizado na região do Grande Rio, maior prevalência de sintomas e sinais referentes à SED entre os comerciários desse estabelecimento em comparação com os comerciários de lojas com ventilação natural. Dentre os 24 sintomas e sinais avaliados, 17 deles (vista cansada, resfriado ou gripe, rouquidão, dificuldade de respirar, apatia ou desânimo, dor de garganta e cabeça) apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre os dois grupos estudados ( $p < 0,001$ ).

Os relatos dos sintomas e sinais relacionados com a SED freqüentemente não desaparecem quando os seus ocupantes deixam o local, e muitas vezes afetam somente alguns dos seus usuários. Nesse sentido, para se obter sucesso na atenuação desses relatos de queixas é preciso identificar e remover a fonte de exposição (Costa, 2006).

As causas da poluição do ar de ambientes interiores podem ser decorrentes de uma ventilação ineficiente, da presença de material particulado, da contaminação química, especialmente por compostos orgânicos voláteis e, também, devido à contaminação microbiológica. A melhora na ventilação e o emprego de filtros apropriados podem amenizar tais problemas. No entanto, a presença de compostos orgânicos voláteis e microrganismos (bactérias, fungos e vírus), ainda que em pequenas concentrações, causa grande preocupação (Brickus & Aquino Neto, 1999).

Para o monitoramento ambiental e avaliação de interiores, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) regulamenta os seguintes parâmetros: concentração do CO<sub>2</sub> como indicador taxa de renovação do ar, temperatura e umidade como indicadores de conforto térmico, concentração de partículas respiráveis em suspensão como indicador de pureza do ar e número de colônias de fungos como indicadores de contaminação microbiológica (ANVISA, 2003).

Ultimamente maior atenção tem sido dada a contaminantes biológicos como fontes de poluentes (Kowalski, 1998; Douwes, 2003; Kalogerakis, 2005). Os microrganismos ou agentes biológicos que podem ser dispersos através do ar e que tem potencial para afetar a saúde humana são definidos pela Agencia de Proteção Ambiental dos Estados Unidos como bioaerossóis.

As bactérias e fungos transportados pelo ar são fontes bem conhecidas de alergias e podem ser toxigênicos e/ou infecciosos. Enquanto somente organismos completos podem ser infecciosos, reações alérgicas e tóxicas podem ser causadas por seus fragmentos e subprodutos, como endotoxinas que são compostos de lipopolisacarídeos encontrados nas paredes das células de bactérias Gram-negativas e que apresentam fortes propriedades pro-inflamatórias. Os  $\beta(1\rightarrow3)$  -glucans que são polímeros de glicoses produzidos pela maioria dos fungos e por algumas bactérias induzem respostas inflamatórias, resultando em sintomas respiratórios. E existem ainda compostos orgânicos voláteis microbianos e micotoxinas que provocam efeitos adversos na saúde (Douwes, 2003; Fabian, 2005)

Surtos de infecção hospitalar podem estar associados à contaminação de filtros de ar condicionado por estes bioaerossóis. Os sistemas de ar condicionado podem albergar bactérias, vírus e fungos que são capazes de sobreviver em ambientes secos por longos períodos. Os principais microrganismos evidenciados como potencialmente causadores de infecção foram: *Legionella pneumophila*, *Bacillus sp*, *Flavobacterium sp*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Mycobacterium tuberculosis*, *Neisseria meningitidis*, *Streptococcus pneumoniae*, *Actinomyces sp*, *Paracoccidioides sp*, *Aspergillus sp*, *Penicillium sp*, *Cladosporium sp*, *Fusarium sp* e vírus da influenza. A bandeja do sistema de ar condicionado foi indicada como principal fonte de multiplicação microbiana, por formar biofilme e desencadear a cadeia de transmissão (Afonso, 2004). Este mecanismo, aliado ao fenômeno acumulativo de 90% do ar reciclado, promove um aumento do número de microrganismos na ordem de 1.000 a 100.000 vezes maior que comparado aos ambientes externos.

Os três maiores grupos de doenças associadas com a exposição ao bioaerossol são: doenças infecciosas, doenças respiratórias e câncer. As doenças infecciosas e respiratórias são as mais comuns, sendo que outros efeitos adversos têm sido descritos. Entretanto estes efeitos não têm sido estudados amplamente (Douwes, 2003).

As doenças infecciosas ocupacionais podem ser atribuídas a: exposição à ocupação específica tal como os trabalhadores da saúde ou a um aglomerado de pessoas em um local de trabalho, tal como os trabalhadores de escritórios. As doenças respiratórias podem ser alérgicas ou não alérgicas, sendo a diminuição da capacidade pulmonar, o efeito na saúde mais associado com bioaerossóis. Com relação ao câncer, as micotoxinas são os carcinogênicos biológicos ocupacionais não virais que estão mais claramente estabelecidos (Douwes et al., 2003).

Em virtude da crescente preocupação com a qualidade do ar de ambientes fechados climatizados artificialmente, o Ministério da Saúde (MS) aprovou a Portaria nº 3.523, em 28 de agosto de 1998 que tem como objetivo minimizar o risco potencial à saúde dos usuários, em face da permanência prolongada em ambientes climatizados. Essa portaria regulamenta a definição de parâmetros físicos, químicos e biológicos, suas tolerâncias, métodos de controle e pré-requisitos de projetos de instalação e execução de sistemas de climatização (MS, 1998).

No ano 2000, a ANVISA, com a Resolução RE nº 176, de 24 de outubro de 2000, definiu padrões referenciais de qualidade do ar interior, em ambientes climatizados artificialmente de uso público e coletivo, sendo atualizada pela Resolução RE nº 9, de 16 de janeiro de 2003 (ANVISA, 2006 a,b). Desta forma as vigilâncias municipais e estaduais passam a ter parâmetros para avaliar se o ar que circula em edifícios com sistema de ar condicionado está prejudicando ou não a saúde de quem trabalha ou transita por esses locais, pois foram determinados os valores máximos recomendáveis para parâmetros físicos do ar interior, contaminação química e biológica ( $\leq 780$  UFC  $m^{-3}$  de fungos) e as recomendações para controle.

O controle do ar de ambientes internos é feito natural ou artificialmente, por ventilação, filtração e troca de ar, entre outras formas, com o objetivo de remover os microrganismos do ambiente, bem como prevenir a entrada dos mesmos. A utilização de mecanismos alternativos torna-se necessária pelo fato dos mecanismos mais usados proporcionarem decomposição/purificação do bioaerossol muito lentamente na maioria dos ambientes. Atualmente esses mecanismos apresentam algumas desvantagens, como os custos inerentes e instabilidade operacional que limitam sua viabilidade para diferentes usos. Além disso, podem apresentar efeito limitado, não destruindo os microrganismos, e sim os transferindo para outro meio (Kowalski; Bahnflesh, 1998).

Novas tecnologias microbicidas que apresentem baixos custos, baixo consumo de energia e sem riscos adicionais a saúde humana têm sido propostas a fim de mitigar o problema da contaminação biológica do ar de ambientes internos, problema que atualmente não se restringe mais aos locais fechados e já atinge os ambientes externos.

As causas de poluição do ar em ambientes externos decorrem principalmente de emissões do setor produtivo, industrial, pastoril ou alimentício, ou da decomposição de matéria orgânica, natural ou decorrente de atividades antrópicas intensas. Durante os últimos 30 anos a poluição química do ar tem merecido a atenção de grande número de cientistas e a percepção da população a esse tipo de contaminante é muito mais disseminada do que a percepção da presença de bioaerossóis, particularmente bactérias. Por exemplo, a população à jusante do Aterro Sanitário Metropolitano Centro de Salvador se queixa do mau cheiro proveniente do aterro, mas nenhuma menção foi feita até hoje à exposição por bactérias produzidas no local de descarte com alto teor de decomposição da matéria orgânica. Em termos de tecnologia de abatimento pouco se tem feito em relação à redução de bactérias ou outros bioaerossóis em ambientes abertos. Este se constitui um campo aberto para exploração.

#### **IV.2 Bioaerossol em ambientes externos**

Os microrganismos que apresentam dimensões entre  $0,01\mu\text{m}$  até  $100\mu\text{m}$  têm o seu comportamento governado pelos princípios da física como qualquer outra partícula (Mohr, 2002), e apesar da sua grande maioria ser rapidamente inativada como um resultado de dessecação, aumento da temperatura ou radiação ultravioleta (Kowalski & Bahnfleth, 1998), algumas bactérias e esporos fúngicos podem permanecer vivos e ser transportados pelo ar para regiões distantes do seu local de origem, especialmente os originados de atividades antrópicas (Recer et al. 2001; Albrecht et al., 2008)

O comportamento dos microrganismos com estas dimensões é governado por princípios da difusão, turbulência e gravitação. Baseado nesses princípios pode-se determinar a taxa de sedimentação de partículas no ar relacionado suas dimensões e outras propriedades físicas. Estendendo esses conceitos aos microrganismos é possível dizer que as bactérias apresentam uma taxa de sedimentação que varia entre  $0,0015 - 0,0021\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ , enquanto os esporos fúngicos, uma taxa de  $0,029 - 2,89\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ . Desta forma, bactérias e esporos podem permanecer em suspensão no ar por tempo suficiente

para ser transportados por longas distâncias. A tabela 1 apresenta as taxas de sedimentação das partículas no ar segundo Frank (1937).

Tabela 1 - Taxas de Sedimentação<sup>1</sup> das Partículas no Ar

Diâmetro das partículas ( $\mu\text{m}$ )	Velocidade de Sedimentação ( $\text{m min}^{-1}$ )
0,8	0,0015
1,0	0,0021
4,0	0,029
10,0	0,1797
40,0	2,89
100,0	18,03

<sup>1</sup> Taxas determinadas para partículas na forma de esferas com densidade específica de 1,0, sedimentando no ar a 21,1°C.

O transporte por longas distâncias resulta em uma maior exposição aos fatores ambientais, provocando o decaimento natural dos microrganismos. A luz solar direta contém níveis letais de radiação ultravioleta. A desidratação torna-os inativos, embora muitos esporos possam sobreviver indefinidamente. As altas temperaturas inativam alguns mais rapidamente do que outros. O resfriamento pode destruí-los, mas alguns - especialmente esporos - podem ser preservados. O oxigênio mata lentamente os microrganismos por meio da oxidação. Os níveis de poluição tolerável pelos humanos também podem ser fatais para microrganismos. Em resumo, a luz solar e a variação de temperatura asseguram o decaimento e os ventos a dispersão, geralmente em minutos, das populações microbianas não-esporulante (Kowalski & Bahnfleth, 1998).

Dentre as atividades antrópicas, uma série de processos baseados na decomposição microbiana de material orgânico produzem elevadas emissões de bioaerossóis e aumento de suas concentrações em pontos distantes da fonte. Algumas fontes potenciais de bioaerossóis são: estações de tratamento de resíduos sólidos,

estações de tratamento biológico de esgoto, estações de pré-tratamento de esgoto, aterros sanitários, plantas de papel e celulose e estações de compostagem.

Em processos de compostagem algumas das espécies de fungos, como *Aspergillus* e *Penicillium* são mais abundantes e são dispersos no ar em grandes números (Crook & Lacey, 1988; Fischer et al., 2000; Fischer et al., 2008).

Outro exemplo é o *Aspergillus fumigatus*, um bolor alergênico, toxigênico e oportunista isolado em todo o mundo e comum no meio ambiente por ser termotolerante. A sua concentração no ambiente natural é geralmente baixa quando comparada com outros fungos, como *Cladosporium* e *Alternaria*, que são dominantes e bem conhecidos em ambientes naturais (Fischer et al., 2000; Millner et al., 1994). A concentração de *Aspergillus fumigatus* pode aumentar em unidades de compostagem (Crook & Lacey, 1988) resultando na dominância deste na direção a favor do vento em regiões próximas de uma unidade de compostagem, sendo portanto uma indicação de emissões da planta (Millner et al., 1994; Recer et al., 2001).

Em 2008, Albrecht e colaboradores concluíram que as concentrações de microrganismos termotolerantes têm que ser avaliados em distâncias maiores que 300m das instalações a favor da direção do vento para excluir qualquer contaminação da planta. Eles também comprovaram que as concentrações de fungos termotolerantes e actinomicetos termofílicos a uma distância de 600-1400m da planta são de uma a duas ordens de grandeza maiores em relação aos níveis naturais, verificando que durante a amostragem de bioaerossóis é essencial a avaliação das condições meteorológicas, como temperatura e umidade do ar, velocidade e direção do vento.

O fato do transporte de microrganismos ativos a médias e longas distâncias levanta a necessidade da discussão das emissões de bioaerossóis relacionados à saúde e bem-estar dos trabalhadores, bem como dos vizinhos às fontes, pois muitos microrganismos que são ambientalmente comuns podem causar infecções oportunistas nas pessoas com saúde comprometida. Além da suscetibilidade do indivíduo (imunidade), a duração da exposição, concentração do agente infeccioso, dose infecciosa, taxa de respiração e rota da infecção (por inalação, olhos, nasofaringe, etc.) são fatores importantes para a aquisição de uma infecção transmitida pelo ar (Kowalski & Bahnfleth, 1998).

Por exemplo, em uma pessoa saudável são necessários de 1 a 10 bacilos da tuberculose para provocar uma infecção, enquanto um total de 200 *Rhinovirus virions* é necessário para causar um resfriado. Nenhum desses fatores é necessariamente um determinante absoluto, podendo a saúde e o grau de imunidade ser tão importantes quanto à dose recebida em exposição prolongada ar (Kowalski & Bahnfleth, 1998).

Desta forma, é necessário a avaliação dos impactos das unidades de tratamento e disposição de efluentes líquidos orgânicos e resíduos sólidos, a classificação das desvantagens e riscos significativos, o estabelecendo de pré-requisitos específicos para as distâncias mínimas de locais residenciais e implementação de medidas operacionais para controlar as emissões de bioaerossóis a fim de prevenir um problema de segurança e saúde ocupacional, bem como exposição ambiental de populações.

### **IV.3 Princípios dos redutores de bioaerossóis**

Vários fatores ambientais destroem microrganismos presentes no ar. A radiação solar contém níveis letais de radiação ultravioleta. Desidratação provoca a inativação de muitos microrganismos, embora vários esporos possam sobreviver indefinidamente. As temperaturas altas inativam estes seres, sendo mais rapidamente em alguns do que nos outros (Kowalski & Bahnfleth, 1998).

Em locais fechados, estes fatores são controlados para o conforto humano, resultando em um tempo de sobrevivência desses seres, o que interfere na prevenção de problemas de saúde. Um conjunto de tecnologias já foi desenvolvido para diminuir a concentração de bioaerossóis, tais como sistemas de isolamento por meio do controle de pressurização, filtração, irradiação ultravioleta, precipitação eletrostática, uso de vegetação. E outras estão em desenvolvimento, tais como oxidação fotocatalítica, ozonização do ar, carvão ativado, luzes pulsadas (Kowalski & Bahnfleth, 1998).

#### **IV.3.1 Filtração de Microorganismos**

O princípio da filtração não é restringir a passagem de partícula pelo espaço entre fibras, mas sim alterar a direção das linhas o fluxo de ar. O ar passa em torno da fibra, mas quaisquer bioaerossóis de alta densidade ou partículas em suspensão não mudam de direção tão rapidamente e, como resultado de sua inércia, tendem a impactar

na fibra. A retenção da partícula na fibra ocorre, devido à atração elétrica estática, ou simplesmente por aderência física, e uma vez retida, a maioria das partículas não retornará a corrente de ar (IEC, 2007).

Os filtros são feitos de material fibroso e três tipos de filtros são usados em sistemas de ventilação: pré-filtros, filtros de partículas aéreas de alta eficiência (HEPA) e filtros de ultra baixa penetração (ULPA). Os três tipos estão representados nas figuras 1 e 2.



1

Figura 1 – Pré-filtro<sup>1</sup>



a



b

Figura 2 - Filtros HEPA<sup>a</sup> e ULPA<sup>b</sup>.

Os pré-filtros e HEPA's filtram partículas acima de 1,0 micrômetro e apresentam uma eficiência entre 70-90%. Já os filtros ULPA filtram partículas micrométricas com 95% de eficiência e são geralmente capazes de remover poeira e partículas em suspensão de 0,3 micrômetro de tamanho – que é o diâmetro de remoção mais difícil – com 99,97% de eficiência e superior para os demais tamanhos, maiores ou menores do que esse diâmetro. Em teoria, eles devem ser altamente eficientes contra bactérias e eficazes contra vírus, mas quando instalados nem sempre alcançam desempenho limites medidos em laboratórios (IEC, 2007).

A eficiência dos filtros é reduzida quando o sistema é operado fora das condições de especificação de fluxo do ar além da presença de umidade ter o potencial de multiplicar a quantidade de vírus que penetra (IEC, 2007).

Os filtros HEPA são comumente encontrados em salas de isolamento em hospitais, teatros, instalações de contenção nível de biossegurança 3 e 4 (para trabalhos com microrganismos do grupo de risco 3 e segurança máxima, respectivamente), bem como em salas limpas industriais. Escritórios, escolas e outras instalações normalmente não incluem filtros HEPA no sistema de ventilação sendo instalados filtros de baixa eficiência (IEC, 2007).

A adição de filtros HEPA padrão pode ter um efeito significativo na redução de bactérias, vírus e fungos no ar, bem como de outras partículas. A eficácia global de tal abordagem, econômica quando comparado com outros métodos para controlar agentes patogênicos aerotransportadas, deve ser feita antes da escolha do sistema de controle (IEC, 2007).

#### **IV.3.2. Irradiação ultravioleta germicida**

A utilização da irradiação ultravioleta germicida (UVGI) para a esterilização de microrganismos tem sido estudada desde a década de 1930. Micróbios são incomparavelmente mais vulneráveis aos efeitos de comprimento de onda da luz ou perto de 2537 Angstroms devido à ressonância deste comprimento de onda com estruturas moleculares. Olhando para outro caminho, um quanta de energia da luz ultravioleta possui apenas a quantidade de energia para quebrar ligações moleculares orgânicas. Este quebra de ligação traduz em danos celulares ou genéticos para os microrganismos. O mesmo dano ocorre a seres humanos, mas está limitada à pele e aos olhos (IEC, 2007).

A componente de radiação solar ultravioleta é a principal razão de morte dos micróbios no ar exterior. A taxa de morte no exterior varia de um agente patogênico para outro, mas pode ser a qualquer período, desde alguns segundos a poucos minutos para 90-99% da morte de vírus ou bactérias contagiosas. Esporos, e algumas bactérias ambientais, tendem a ser resistentes e podem sobreviver muito mais tempo de exposição. Sistemas UVGI tipicamente usam níveis de energia ultravioleta muito mais concentrados que não são encontradas na radiação solar que chega a superfície da terra (IEC, 2007).

Alguns sistemas UVGI bem projetados e conservados têm-se mostrado altamente eficaz, como em alguns hospitais, e alguns estudos realizados nas escolas. As diretrizes do Centro para Controle e Prevenção de Enfermidades dos Estados Unidos (CDC) recomendam a UVGI apenas com a utilização simultânea de filtros HEPA e altas taxas de purga de fluxo de ar. Os efeitos germicidas também podem ser espécies-dependente (IEC, 2007).

Os testes laboratoriais têm alcançado taxas extremamente elevadas de mortalidade sob condições idealizadas. Em aplicações reais, muitos fatores podem alterar a eficácia dos UVGI, incluindo os seguintes:

- Tempo de exposição (a velocidade do vento deve permitir uma dose suficiente).
- Sala de mistura de ar (para aplicações sem força como limite de unidades).
- Níveis de força.
- A presença de umidade e partículas fornece proteção para micróbios.
- Poeira sobre lâmpadas podem reduzir exposição, sendo necessária a manutenção.

Certos tipos de projetos de UVGI parecem oferecer uma taxa muito mais elevada de desinfecção do que modelos padrão em operação em espectros quase idênticos, sendo a diferença o resultado de melhorias nos controles de energia elétrica e regulação da temperatura interna, o que resultará na geração de uma forma mais constante de densidade energética, a partir da fonte luminosa (IEC, 2007).

Os vírus são especialmente sensíveis à UVGI, mais do que bactérias, mas também são muito difíceis de serem filtrados. Uma combinação de filtração de bactérias e esporos, com UVGI para vírus pode ser uma ótima combinação se todos os componentes estão com dimensão adequada (IEC, 2007).

#### **IV.3.3. Precipitação eletrostática**

Os precipitadores eletrostáticos são comumente usados para remover partículas de correntes de ar com taxas de fluxos grandes e constantes. Ao passar pelo precipitador por um tempo de 0,01 e 0,1 segundo, as partículas ficam negativamente carregadas. Os substratos de coleta são aterrados e atraem as partículas de poeira carregadas. A velocidade do vento é baixa suficientemente para permitir que a poeira coletada não retorne a corrente de ar (IEC, 2007).

Os sistemas industriais são normalmente projetados com mais de 1 segundo de tempo de residência na primeira fase para garantir que as partículas de poeira fiquem eletricamente carregadas, sendo são capazes de remover partículas no tamanho de 0,01 - 10 micrômetros e pode alcançar eficiências em torno de 95% (IEC, 2007).

Pequenos precipitadores eletrostáticos têm uma elevada demanda energética e podem gerar ozônio em níveis potencialmente perigosos (IEC, 2007)..

#### **IV.3.4. Uso de Vegetação**

Vários estudos têm investigado o uso da vegetação como forma de eliminar ou reduzir os níveis de bioaerossóis. As razões que a vegetação pode reduzir os níveis de microrganismos são variados. A superfície de grandes quantidades de vegetação pode absorver ou adsorver micróbios ou poeira. A geração de oxigênio das plantas pode ter um efeito oxidativo sobre os micróbios. O aumento da umidade pode ter um efeito sobre a redução de algumas espécies microbianas embora possam favorecer outras. A presença de micróbios simbiótica, como *Streptomyces* pode causar alguma desinfecção do ar. Defesas naturais de plantas contra as bactérias podem operar contra patógenos de mamíferos (IEC, 2007).

Uma desvantagem para manter grandes quantidades de vegetação em locais fechados é que o envasamento do solo pode incluir fungos potencialmente alergênicos. A presença de umidade pode também contribuir para problemas fúngicos. É evidente que há um certo equilíbrio a ser alcançado entre o desejável e efeitos indesejáveis (IEC, 2007).

A utilização de fontes d'água em conjunto com vegetação local aumenta o nível de umidade. A umidade tem efeitos mistos, o uso de água em movimento pode gerar íon positivos ou negativos, ou podem simplesmente levar a precipitação de micróbios hidrofílicos retirando-os do ar. A aplicação possível pode ser a via de retorno do ar ao edifício através de uma estufa. Não só vão ocorrer alguns efeitos de filtragem, mas oxigênio reabastecerá e a exposição solar causará algumas desinfecções do ar (IEC, 2007).

#### **IV.3.5. Sistemas em desenvolvimento**

##### **IV.3.5.1. Adsorção em carbono**

O processo de adsorção é utilizado principalmente para a remoção de gases e vapores, sendo eficaz na remoção dos compostos orgânicos voláteis (COV), mas não é

utilizado para o controle de poeiras no ar ou microrganismos, pois as partículas em suspensão podem obstruir as camadas adsorventes. Este processo depende do uso de materiais como o carvão ativado, que possuem uma enorme superfície por unidade de massa. A presença desta superfície permite a aderência das moléculas de gás (IEC, 2007).

Apesar do carbono ativado não ter um efeito significativo sobre bioaerossóis, podem ser eficaz para eliminar COV gerada por fungos e bactérias, e assim diminuir as ameaças sanitárias. E o uso para o controle de vírus no ar tem um potencial de aplicação e continua a ser estudado. Um simples aumento de dez vezes no tamanho do poro pode ser suficiente para adsorção de vírus (IEC, 2007).

#### **IV.3.5.2. Ozonização**

Neste processo, o ozônio é injetado na corrente de ar e misturado a um grau que garantiria a ozonização de todos os compostos orgânicos, incluindo ácidos nucleicos virais e bactérias. Devido à corrosibilidade do ozônio, um sistema eficiente deve ser desenvolvido (IEC, 2007).

Uma alternativa para regeneração do ozônio é filtração do ozônio através da utilização de um polímero que elimina o ozônio do ar, convertendo-o em oxigênio.

A ozonização tem-se revelado extremamente eficaz em sistemas de água, mas até ao momento, nenhum sistema para o ar foi desenvolvido e provado ser seguro e eficaz (ICE, 2007).

#### **IV.3.5.3. Oxidação Fotocatalítica**

Dióxido de titânio ( $\text{TiO}_2$ ) é um semicondutor fotocatalítico que ao ser irradiado com fótons menores do que 385nm, produzem reações que liberam radicais hidroxilas e íons super-óxido. Estas espécies são altamente reativas e oxidam compostos orgânicos voláteis (COV) adsorvidos sobre a superfície catalisadora. Elas também inativam e decompõem bioaerossóis adsorvidos. O processo é referido como foto-catálise heterogênia ou, mais especificamente, oxidação fotocatalítica (ICE, 2007).

Vários atributos tornam a oxidação fotocatalítica um forte candidato para aplicações em qualidade do ar interior. Poluentes, particularmente COVs são

preferencialmente adsorvidos à superfície e oxidados, principalmente, a dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Assim, em vez da simples mudança de fase e concentração do contaminante, a toxicidade absoluta dos fluxos de ar tratado é reduzida, permitindo o reator fotocatalítico operar como um filtro de auto-limpeza relativo ao material orgânico sobre a superfície catalisadora (ICE, 2007).

Os reatores fotocatalíticos podem ser integrados em sistemas de aquecimento, ventilação e condicionador de ar existente devido ao seu design modular, operação a temperatura ambiente, e queda de pressão desprezível. Reatores de oxidação fotocatalítica também apresentam baixo consumo de energia, potencialmente longa vida útil e baixa manutenção. Estes atributos contribuem para o potencial dessa tecnologia para ser um processo eficaz para remoção e destruição de baixo nível poluente no ar interior, incluindo bactérias, vírus e fungos (ICE, 2007).

Mas os reatores de oxidação fotocatalítica apresentam alguns pontos desvantajosos, tais como a formação de produtos da oxidação incompleta, inibição da taxa de reação devido à umidade, questões do transporte de massa associadas com sistemas de alta vazão, desativação catalítica e contaminação inorgânica (poeira e solo) (ICE, 2007).

#### **IV.3.5.4. Luz Pulsada**

A luz branca pulsada ou luz pulsada inclui um grande componente de luz ultravioleta (UV), envolvendo a pulsação de uma lâmpada de xenônio de alta força por 0,1-10 milissegundos. O espectro da luz produzida assemelha-se ao espectro da luz solar, mas é momentaneamente 20000 vezes mais intensa (ICE, 2007).

A luz branca pulsada várias vezes por segundo pode inativar microrganismos com notável rapidez e eficácia. Segundo Wekhof (2000), o efeito desinfetante é devido tanto ao elevado conteúdo ultravioleta quanto aos breves efeitos de aquecimento, enquanto UV provoca danos aos ácidos nucléicos e outros componentes da célula, o aquecimento instantâneo das células resulta na ruptura da parede celular. Bunnell e coloboradores (1998) descobriram que esporos de *Bacillus subtilis*, *Bacillus pumilus*, *Bacillus stearothermophilus* são completamente inativados com até 3 pulsos. Eles descobriram também que os esporos do *Aspergillum niver* é reduzido em 6 log com um máximo de 6 pulsos.

O consumo de energia para um sistema de luz pulsada típico é cerca de 1000 W enquanto que resultados semelhantes possam ser atingidos com um sistema UVGI é de apenas 10 W de potência total (ICE, 2007)..

#### **IV.4 Princípio da redução de bioaerossol por neblina ativada**

Na natureza os processos de remoção de substâncias gasosas atmosféricas se fazem principalmente pela chuva, por partículas em suspensão, por exemplo, spray marinho (Tavares et al, 1993) e pela neblina (Jaeschke et al., 1998; Ricci, 1998), sendo esse último o mais eficiente dos mecanismos. Baseado nesse conhecimento, o LAQUAM juntamente com o ZUF, vem desenvolvendo estudos conjuntos não apenas voltados para as medidas atmosféricas (Nunes, 1995; Nunes, 2000; Jaeschke et al., 1995), mas também para a aplicação dos mecanismos naturais no abatimento de seus poluentes gasosos. Estudos em escala piloto em laboratório foram procedidos para amônia, e na Alemanha foram aplicados pelo ZUF no abatimento deste gás em pocilgas (criação de porcos), onde a produtividade foi aumentada pela melhoria da qualidade do ar (Jaeschke et al., 1998; Schumann, 2000).

A técnica de abatimento consiste na geração de uma neblina ativada quimicamente, ou seja, contendo uma quantidade mínima de um ou mais compostos que interagem com os bioaerossóis captando-os e conduzindo para o esgotamento sanitário. O equipamento consiste de adaptações de um gerador de neblina (aspersor) de grande capacidade para produção de partículas líquidas micrométricas e disponíveis no mercado exterior para outras finalidades, com adaptações. O sistema final é adaptável a ambientes internos ou externos, permitindo adaptações para automação e operação em linha, sendo que cada unidade básica tem o custo aproximado de US\$20,000, portanto considerado investimento baixo em termos de processos industriais..

A intervenção é, portanto preventiva diretamente sobre a fonte de risco apresentando as vantagens de oferecer melhor proteção para a saúde das pessoas, menor possibilidade de falhas, menor preocupação com a disseminação dos agentes e, inclusive, economias futuras. Nesse método, o tamanho e o grande número de gotículas da neblina exercem um papel importante na remoção das partículas de menor tamanho (Lim, 2006). Deste modo, segundo Goelzer, 2005, a chave para captura eficiente de partículas na fração respirável (<10 µm) é a criação de uma névoa onde as gotículas de

água não tenham mais do que 100 vezes o tamanho da partícula respirável. As bactérias (0,5 – 2,0 $\mu$ m) e fungos ( 2,0 - 25 $\mu$ m) se comportam como partículas em suspensão (Stetzenbach et al., 2004) e, portanto são passíveis de captação pelas partículas da neblina.

O procedimento para a interação da neblina ativada com os bioaerossóis pode ser descrito da seguinte maneira e ilustrado na figura 3:

- O fluxo de ar a ser limpo é tratado com gotículas de neblina. A neblina é transportada pelo ar e portanto permanece na sua massa.
- Depois de um curto tempo de contato todos os bioaerossóis são adsorvidos pelas gotículas de neblina.
- Contendo surfactantes e outros compostos em nível de traço, a neblina é capaz de adsorver, além dos bioaerossóis, outras partículas de aerosol lipofílico assim como gases orgânicos
- A determinação da eficiência é feito com medidas de bioaerossóis depois do desnebulizador, na saída dos gases.

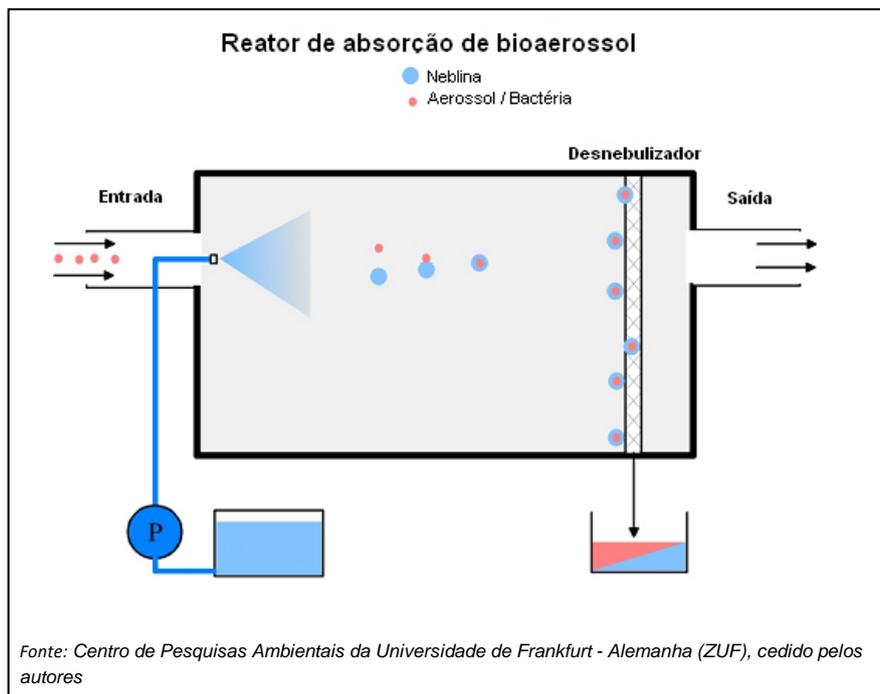


Figura 3 – Reator de absorção de bioaerossol

A produção da neblina ativada se dá da seguinte forma (ver figura 4):

- Água contendo uma mistura otimizada de surfactantes é pulverizada por aspersão de alta pressão para gerar uma neblina
- Surfactantes estão posicionados na superfície das gotículas gerando uma fina camada de compostos pouco polares
- A área lipofílica fornece um depósito eficiente para compostos orgânicos presentes na fase gasosa e particulada do aerosol.
- A eficiência dessa área é aumentada pela escolha do surfactante que propicia interações ótimas com os poluentes inerentes de fonte de emissão

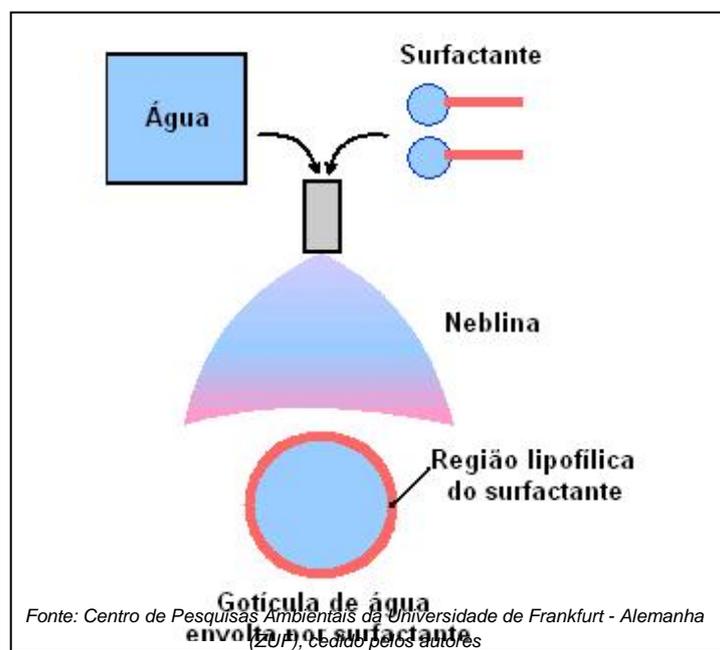


Figura 4 – Produção de neblina contendo surfactante a partir do nebulizador

O mecanismo de captação dos bioaerossóis pelas gotículas ocorre da seguinte forma:

- Devido à difusão molecular, moléculas orgânicas e partículas de aerossol repicam na superfície das gotículas onde são adsorvidas.
- A eficiência de adsorção depende da dispersão e da quantidade de neblina.

- As gotículas contendo os poluentes podem ser eliminadas com o auxílio de desnebulizadores.
- Dessa forma os bioaerossóis são separados do ar juntamente com os reagentes

Quando gotículas de neblina contendo surfactantes são pulverizadas na atmosfera livre, há evaporação da água. Durante essa secagem as moléculas de surfactantes se rearranjam formando micelas que incorporam os bioaerossóis (Figuras 5 a 7)

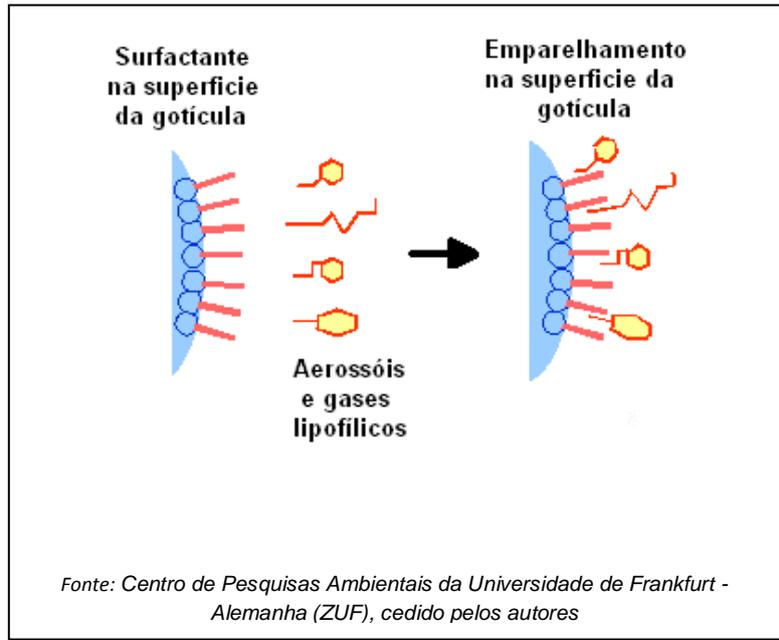


Figura 5 - Interação do surfactante na superfície da gotícula com bioaerossóis

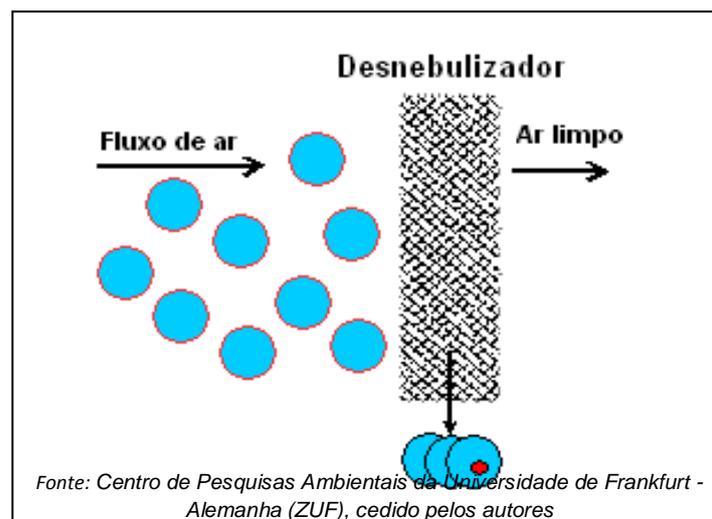


Figura 6 – Gotículas contendo bioaerossol no desnebulizador e saída para esgoto

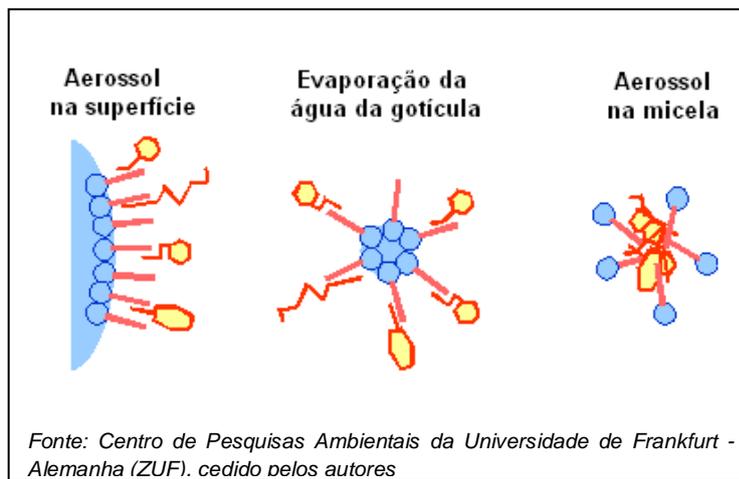


Figura 7 – Processo de formação de micela a partir de uma gotícula de neblina contendo surfactante na sua superfície com o bioaerossol.

Esta tecnologia é extremamente versátil, de baixo custo e pode ser aplicada para gases e partículas inorgânicas, além dos bioaerossóis. Pode ser utilizada em ambientes internos e externos.

O sistema químico para ativação da neblina é desenvolvido ou otimizado para cada caso. O desenvolvimento reside na otimização das condições físicas e químicas da neblina produzida para solucionar cada fonte de emissão específica. Sob o ponto de vista físico, a neblina ativada é extremamente eficiente na captação de poluentes gasosos e particulados devido à enorme área superficial que possui, constituindo um reator do poluente com o seu “neutralizante” ou adsorvente. Neste caso o tamanho de partícula e o fluxo de saída da neblina devem ser estabelecidos para cada aplicação.

Neblina é uma suspensão de gotículas no ar. Somente a partir de 1g de água por metro cúbico se observa uma neblina como sendo densa.

- O diâmetro das gotículas são na faixa de 0,2 a 20 $\mu$ m
- 1 g de água de neblina fornece uma superfície aproximadamente de 0,5m<sup>2</sup>
- A distância entre duas gotas é apenas de 0,5mm

A eficiência da atuação da neblina aumenta exponencialmente com a diminuição do tamanho de suas partículas devido ao aumento da superfície de contato disponível para a adsorção dos bioaerossóis (Figura 8).

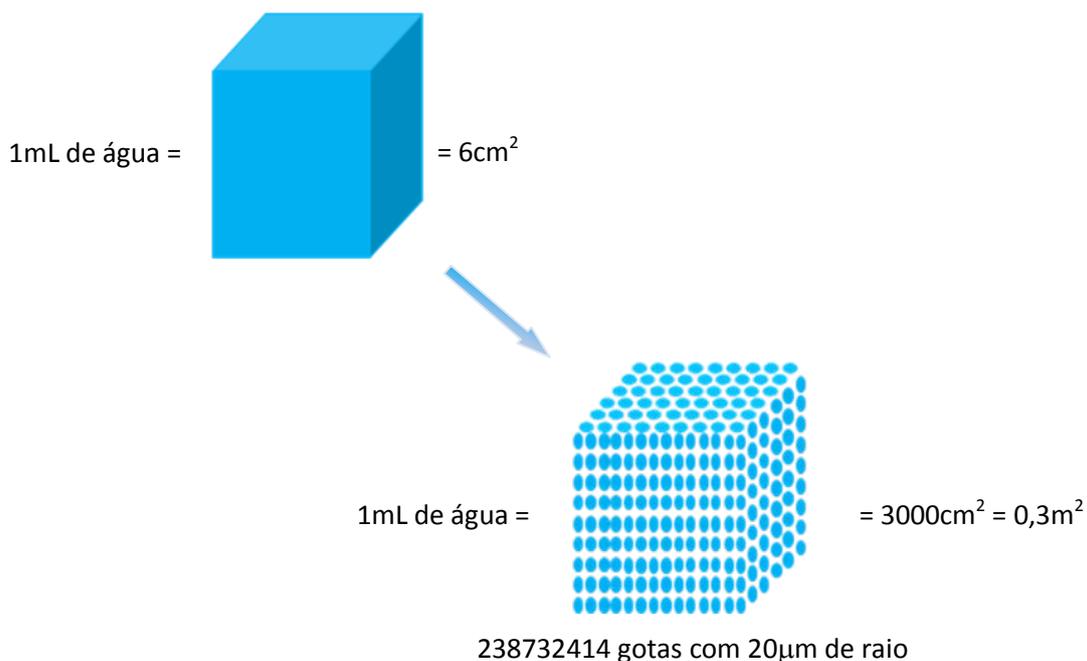


Figura 8- Ilustração mostrando o aumento de superfície em função do tamanho de partículas.

O sistema do LAQUAM produz partículas na faixa de  $0,2$  a  $20\mu\text{m}$ . e suas distribuições por tamanho podem ser vistas na figura 9, onde a curva em linha cheia representa a distribuição de número de partículas com escala na ordenada da esquerda e a curva em linha interrompida representa a massa de partículas, com escala na ordenada da direita.

Tratando-se da produção artificial de partículas, o formato da curva de distribuição de tamanho difere da distribuição bimodal encontrada na natureza, onde a produção de partículas entre  $1$  e  $2,5\mu\text{m}$  é mínima (Figura 9) - aumentando ainda mais a área superficial de partículas, e portanto tornando a neblina produzida mais eficiente do que a natural.

Sob o ponto de vista químico, a escolha da substância, concentração, pH, força iônica, características tenso-ativas, etc, adequado a cada caso, tem que ser feita em escala piloto laboratorial. O processo não é gerador de poluição adicional porque as quantidades dos compostos químicos contidas na neblina (muitas vezes já presentes na natureza nestes níveis) é na faixa de partes por bilhão, e que será transformado em sal ou outro composto não tóxico, existente na natureza. Por exemplo, no caso da pocilga, a neblina é ativada com ácido é em nível de partes por milhão (ppm), o qual é

neutralizado pela amônia emitida na pocilga, resultando em partículas finas de cloreto de amônia, em níveis equivalentes aos encontrados na costa de Salvador.

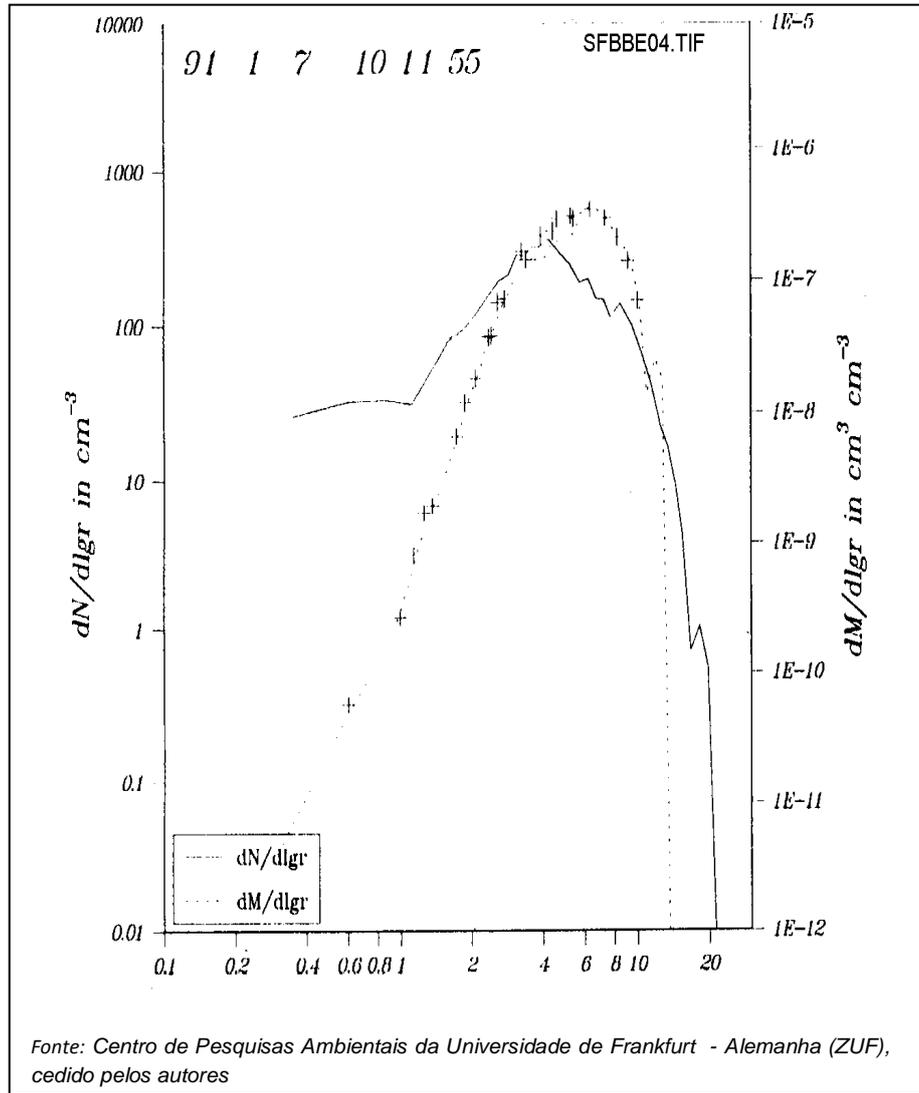


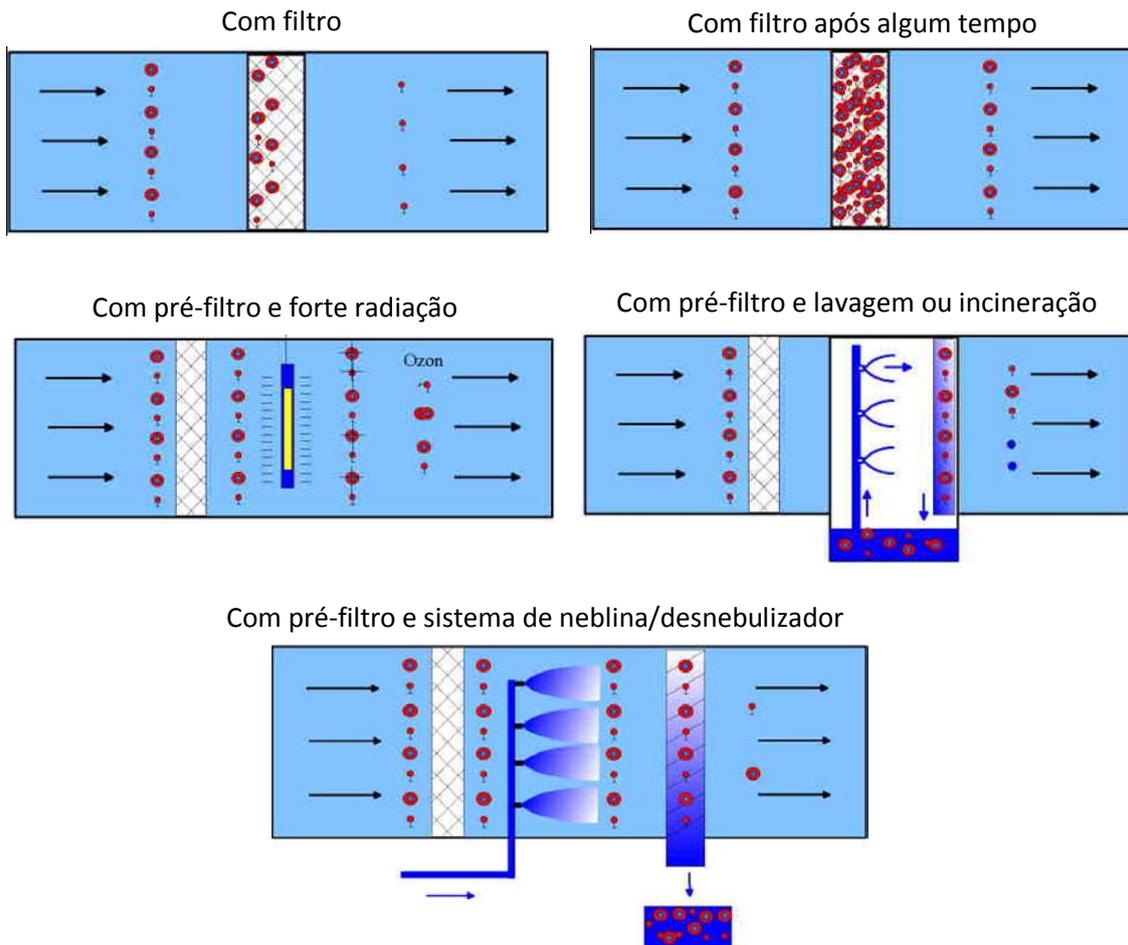
Figura 9 – Distribuição do tamanho de partículas da neblina produzida no sistema do LAQUAM.

As vantagens da técnica de abatimento de bioaerossóis com neblina ativada estão relacionadas a seguir:

- Eficiência na redução da emissão atmosférica de bioaerossóis
- Absorção de bactérias e fungos
- Baixo custo de investimento e operação
- Operação contínua e constante
- Fácil de instalar
- Fácil operação e manutenção
- Versatilidade e possibilidade de adaptação a situações específicas

- Comprovação prévia de funcionamento com teste em escala piloto in situ antes do investimento sem distúrbios na operação regular da fonte
- Fácil otimização em laboratório para cada caso
- Isento de resíduo sólido
- Ausência de toxicidade e baixo volume de resíduo líquido

Essas vantagens fazem da neblina uma técnica mais eficiente do que as comumente utilizadas pelas razões ilustradas na figura 10 e relacionadas na tabela 2.



Fonte: Centro de Pesquisas Ambientais da Universidade de Frankfurt - Alemanha (ZUF), cedido pelos autores

Figura 10 - Comparação ilustrada do sistema de neblina com as técnicas concorrentes

Tabela 2 – Desvantagens das técnicas atualmente em uso em relação a técnica da neblina ativada.

<b>MÉTODOS DE TRATAMENTO DE EXAUSTÃO DE AR</b>	<b>DESVANTAGENS DO MÉTODO</b>
Biofiltro	Grande quantidade de rejeitos sólidos contendo microrganismos Entupimento e perda da efetividade Esforço de troca de filtros Bactérias e fungos no próprio filtro como fonte pontual
Queima catalítica ou chama	Alto custo de investimento e operação (energia) Entupimento Emissões da queima Riscos de segurança; Esforço operacional
Filtro (carvão ativado, etc)	Grande quantidade de rejeito sólido Eficiência limitada (p.ex, picos de concentração; baixa eficiência )
Lavagem	Baixa eficiência

## V. MATERIAL E MÉTODOS

### V.1 Local do estudo

A Battre opera o Aterro Sanitário Metropolitano Centro (ASMC), localizado, aproximadamente a 20 km a nordeste do centro da cidade de Salvador, no Km 6,5 da Estrada Velha do Aeroporto, na capital baiana, próximo aos limites do Município de Lauro de Freitas.



Figura 11 – Mapa da localização do Aterro Sanitário Metropolitano Centro (ASMC), Centro, Salvador, Bahia.

O local está dentro da área metropolitana de Salvador que inclui 10 municípios. As cercanias são áreas residenciais. Embora a área total do projeto seja de 2.500.000 m<sup>2</sup>, a área reservada para disposição de resíduos é de 600.000m<sup>2</sup>. O aterro tem uma capacidade total de 18.000.000m<sup>3</sup> e recebe aproximadamente 850.000 toneladas de resíduos domésticos por ano. O conteúdo atual de resíduos orgânicos é de aproximadamente 65 %.

Os limites geográficos do Aterro Sanitário Metropolitano Centro definem uma área de 72 hectares ocupados pela Battre, bem como uma área adicional de 178 hectares para garantir a expansão do aterro nas fases subseqüentes descritas no contrato de concessão assinado entre a empresa e o governo municipal de Salvador, Bahia. A concessão estará em vigor por 20 anos. A figura 12 mostra uma foto de satélite da área de aterro, obtida do Google Earth.



Figura 12 – Foto de satélite da área ocupada pelo aterro Aterro Sanitário Metropolitano Centro (ASMC) obtida do Google Earth

O Aterro Sanitário Metropolitano Centro iniciou as operações em 1997, tendo sido implantado e operado pela Companhia de Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia (CONDER) até 1998, quando foi transferido para a Prefeitura de Salvador. Em Janeiro de 2000, a Battre iniciou sua operação por meio de um contrato de concessão de 20 anos, sendo a concessionária responsável por todos os serviços realizados no empreendimento (implantação, operação, tratamento do chorume, tratamento do biogás e manutenção). Em 2007, a Battre aterrou 870 mil toneladas de resíduos, tratou 268 mil toneladas de chorume e transportou 580 mil toneladas de resíduos. Desta forma, a empresa é responsável por garantir a disposição final dos resíduos sólidos urbanos

dentro de critérios de engenharia civil/sanitária e procedimentos técnicos operacionais que definem cuidados para o controle da poluição ambiental e proteção à saúde pública.

A área ocupada pela Battre é muito bem cuidada, não existindo exalação de mau odor exceto no local de descarga do lixo recolhido a ser enterrado e na bacia de contenção do chorume tratado. Praticamente todo o metano produzido pela decomposição da matéria orgânica aterrada é captado por tubulações e comercializado, e o restante queimado.

Embora a localização do aterro seja em uma área de baixa densidade em termos urbanos, existe ocupação residencial a partir de 1.100m de distância do centro do aterro. Essas residências se encontram a montante da direção de prevalência dos ventos, que provêm do quadrante leste, mas existem queixas recorrentes de mau cheiro por parte dos moradores, principalmente em épocas que se seguem a chuvas. A figura 13 mostra por meio de foto de satélite do Google Earth, os bairros residenciais mais próximos.

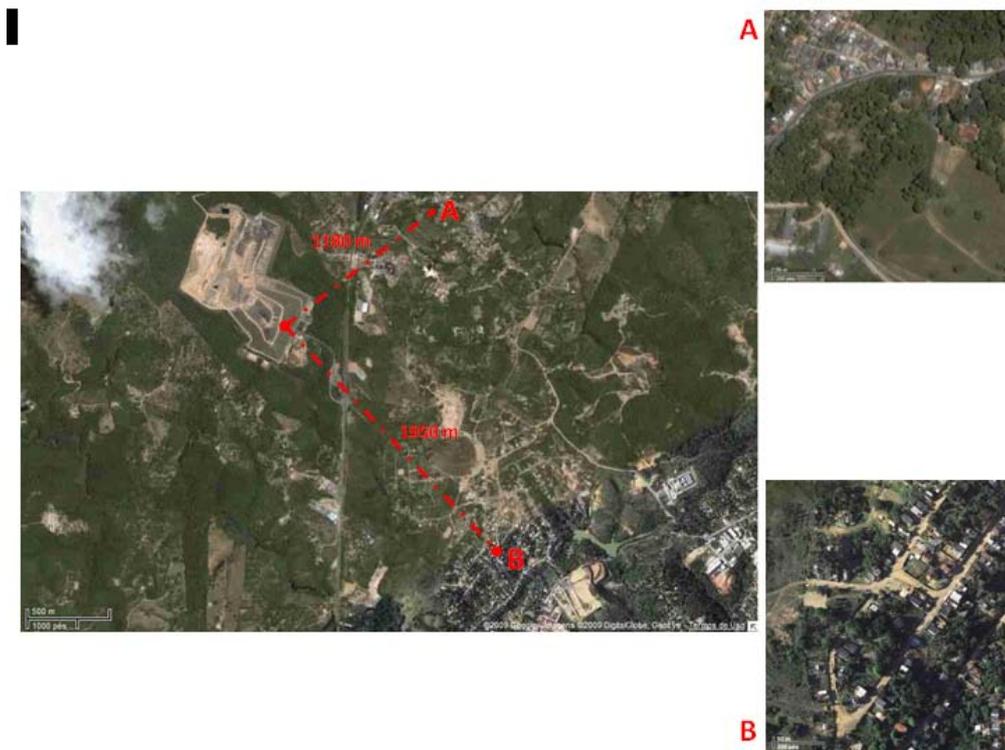
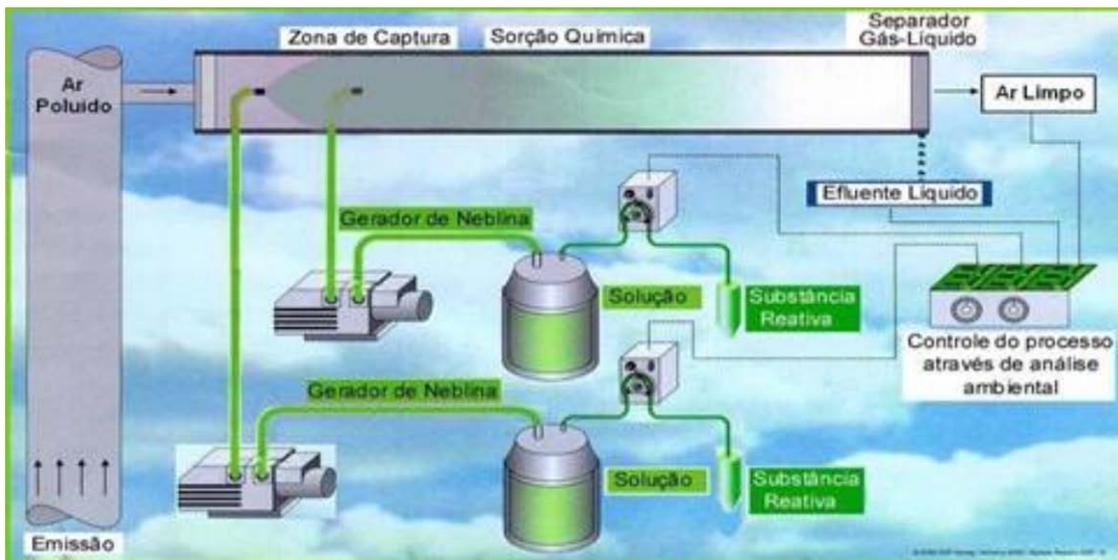


Figura 13 – Foto de satélite do Google Earth mostrando a localização da Battre e as áreas residenciais mais próximas

## V.2 Metodologia

### V.2.2 Técnica neblina ativada

O sistema de abatimento de bioaerossóis utilizado consistiu em um reator de PVC de 5m de comprimento, um gerador de neblina com dois aspersores e um aspirador do gás a ser limpo. A figura 14 apresenta o esquema da montagem do sistema.



Fonte: Centro de Pesquisas Ambientais da Universidade de Frankfurt - Alemanha (ZUF), cedido pelos autores

Figura 14 – Esquema do sistema de neblina utilizado para abatimento de bioaerossol na bacia de acumulação do chorume do Aterro Sanitário Metropolitano Centro de Salvador

O gerador de neblina é composto por uma bomba que leva a solução de limpeza até o aspersor, responsável pela formação da neblina com partículas de 0,2 - 20 $\mu$ m e situado na entrada do reator. Um segundo aspersor, idêntico ao primeiro, foi utilizado para aumentar a eficiência do sistema, formando uma neblina mais densa. Na extremidade de saída do reator é colocado um desnebulizador em forma de tela de aço inox com trama especial, que permite somente a passagem do ar limpo, retendo a solução a ser descartada ou direcionada para o sistema de esgotamento sanitário. Diversos parâmetros foram otimizados de forma a obter-se o custo/benefício de abatimento mais favorável. As figuras 15 e 16 mostram fotos de testes do sistema piloto de campo da neblina sendo utilizado no Aterro Metropolitano Centro de Salvador.



Figura 15 – Teste de redução de bioaerossóis com o sistema de neblina ativada na bacia de acumulação de chorume do Aterro Sanitário Metropolitano Centro de Salvador (visão a partir da lagoa de acumulação do chorume).



Figura 16 - Teste de redução de bioaerossóis com o sistema de neblina ativada na bacia de acumulação de chorume do Aterro Sanitário Metropolitano Centro de Salvador (visão lateral).

### V.2.2. Desenho amostral

A bacia de acumulação de chorume do ASMC é coberta com uma lona plastificada para redução das emanações de odor. Para redução da pressão embaixo da lona de plástico, aumentada pela produção dos gases resultantes da decomposição anaeróbica, existe um respiradouro, que é um orifício na cobertura da lona. Introduzindo-se um tubo com aspiração, os bioaerossóis presentes no ar que sai do respiradouro podem ser coletados para a determinação da concentração “inicial” ou canalizados para o sistema de neblina ativada e amostrados na sua saída para determinar a concentração “final”, ou seja, o valor após o abatimento.

Cada teste consistiu de amostragem antes e depois da passagem pelo sistema de neblina. Os testes foram feitos em quadruplicata, em dias diferentes, para retratar a abrangência em diferentes situações. Para cada replicada de teste foram feitas duas amostragens distintas. Cada teste foi feito separadamente para bactérias e para fungos, de forma que cada teste resultou em 32 amostras: 8 para valor antes do sistema (inicial) de bactérias, 8 para o valor depois da passagem no sistema (final) para bactérias, 8 para valores de fungos antes de passagem no sistema (inicial) e 8 para fungos após passagem pelo sistema (final).

Dois sistemas de neblina foram testados, neblina sem ativação e neblina ativada com 1% de uma mistura de tensoativos (patente alemã). Ao todo foram obtidas 64 amostras do ar emanado pela da bacia de acumulação de chorume do aterro sanitário, 50% sem passar no sistema e 50% passado pelo sistema.

A seleção da técnica de coleta levou em conta os tamanhos das bactérias e fungos, ou seja, foi escolhida uma técnica capaz de coletar o menor microrganismo que fosse possível. Os diâmetros dos fungos variam de 0,5 a 50 $\mu$ m enquanto as bactérias têm diâmetro na faixa de 0,2 a 2 $\mu$ m aproximadamente, conforme ilustrado na figura 17. Além do tamanho das partículas, a escolha da técnica de coleta considerou os possíveis artefatos de coleta, quer por perdas ou por interferência de outras partículas presentes. O mecanismo selecionado foi o de impactação, um dos mais citados na literatura científica e disponível no LAQUAM.

O sistema disponível era o impactador de cascata Andersen com oito estágios, ou seja, onde é possível o fracionamento de partículas em seis faixas diferentes de diâmetro de partícula. Tratando-se este trabalho do primeiro estudo de viabilidade da utilização

do sistema de neblina ativada para abatimento de bioaerossóis, optou-se por não proceder ao fracionamento por tamanho e selecionar o estágio que coletasse a maior parcela de bactérias e fungos, ou seja, o último estágio do impactador que coleta partículas de diâmetro aerodinâmico igual ou maior do que  $0,4\mu\text{m}$ .

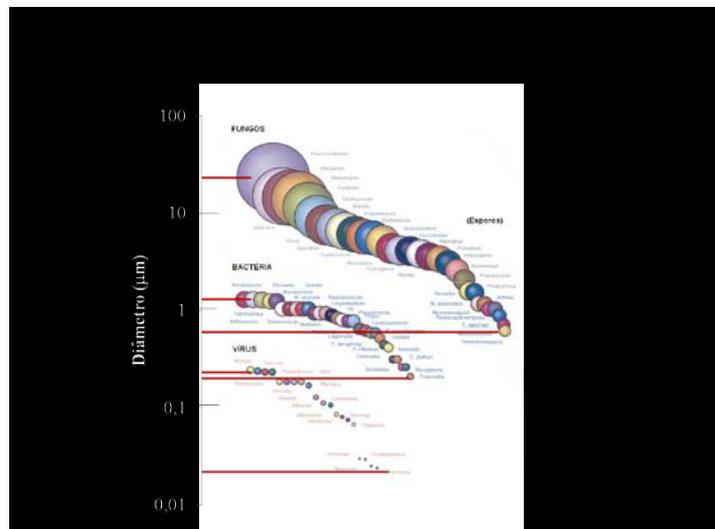


Figura 17 – Representação do tamanho de partículas de bioaerossóis

A figura 18 apresenta as faixas de tamanho de partículas amostradas pelo sistema utilizado e a faixa de concentração captada pelo sistema de neblina ativada. A tarja azul mostra a faixa de tamanho de partículas teórica capturada pela neblina ativada e a cinza-marron mostra a faixa teórica amostrada no impactador.

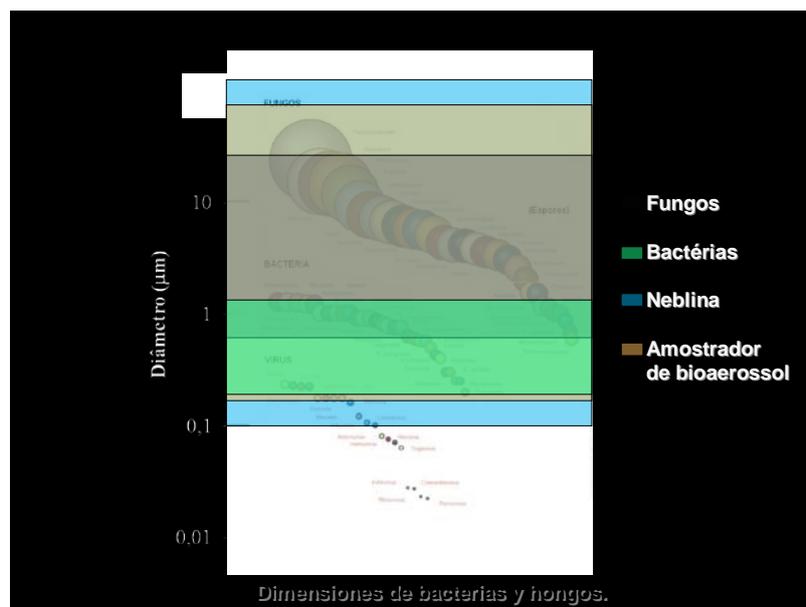


Figura 18 – Faixa de diâmetro aerodinâmico de partículas teoricamente amostradas pelo impactador e captadas pela neblina ativada.

### V.2.3. Técnica de amostragem das bactérias e fungos

O ar foi amostrado com o impactador de cascata Andersen operado apenas com o estágio 8 com fluxo constante de ar aspirado de  $28,3 \text{ L min}^{-1}$  coletando as partículas acima de diâmetro aerodinâmico de corte  $0,4\mu\text{m}$ . Um sistema de pressão para vedação do sistema utilizado dessa forma foi desenhado e construído especialmente em oficina mecânica local. A figura 19 mostra o impactador Andersen montado com apenas um estágio. O fluxo constante foi obtido com uma bomba de vácuo de regime contínuo, provida com uma válvula de controle ajustável. A vazão, antes e depois de cada amostragem, foi medida com um rotâmetro marca Rota de fabricação alemã, previamente calibrado.



Figura 19 – Impactador Andersen montado para amostragem com um estágio

O meio de coleta foi filtro de membrana de ésteres mistos de celulose hidrofílicos, poro  $0,45\mu\text{m}$ , diâmetro 80mm, GN6 – MetriceL da Pall, que minimiza artefatos, quais sejam, a inibição ou o estímulo indevido de desenvolvimento de culturas que se seguirão. Estando a umidade relativa do ar alta, tornou-se desnecessário o uso de umedecimento prévio da membrana para evitar repique das partículas ou dessecação e morte das bactérias. O tempo de coleta de cada amostra foi de 5 a 15 minutos num total de volume amostrado de 140 a 283L. Logo após a coleta no campo os filtros foram colocados no meio de cultura e guardados em caixas de plástico, que por sua vez eram acondicionadas em caixas de papelão e mantidas à temperatura ambiente em local fresco e à sombra até serem levados para o laboratório da Fundação Osvaldo Cruz - Fiocruz no fim do dia para incubação e contagem.

#### V.2.4. Determinação de bactérias e fungos

Após a amostragem, os filtros foram colocados em contato com as placas Petrifilm contendo as culturas, respectivamente, de bactérias e fungos, previamente umedecidas com 1mL de água esterilizada por micro filtração, e mantidos a temperatura ambiente no campo. Após a amostragem, os filtros foram colocados em contato com os meios de cultura adequados:

O meio de cultura para bactérias foi ágar padrão com incubação posterior à chegada ao laboratório da Fiocruz era incubadas a  $35^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  por  $48\text{h} \pm 3\text{h}$ ;

O meio de cultura para fungos foi ágar Sabouraud, com incubação posterior à chegada ao laboratório durante 5 dias entre  $20\text{-}25^{\circ}\text{C}$ ;

As contagens das colônias desenvolvidas foram feitas visualmente e quando necessário, com um contador composto de uma lupa e uma lâmpada.

A concentração total de microrganismos cultiváveis foi calculada dividindo-se o número total de colônias observadas em todas as placas pelo volume do ar amostrado. Concentrações de bioaerossóis cultiváveis são relatadas normalmente como unidades de formação de colônias (UFC), que é o número de colônias que se replica de células de bactérias individuais ou em grupos, endosporos ou esporos fúngicos, por unidade de volume do ar ( $\text{m}^3$ ). O volume de ar é dado pela vazão de amostragem multiplicada pelo tempo decorrido da amostragem:

$$V = \frac{Q \cdot t}{1000}, \text{ onde } V \text{ é volume (m}^3\text{), } Q \text{ é vazão (L min}^{-1}\text{) e } t \text{ é tempo (min).}$$

Para verificar se existe diferença entre as concentrações de bioaerossóis determinadas antes e após a intervenção foi utilizado o teste t de Student, que é teste de hipótese para comparação de médias de pequenas amostras dependentes. E a eficiência do sistema foi calculada com base na percentagem referente a concentração de microrganismos obtidos após a intervenção, relacionados com as concentrações determinadas antes da intervenção com o sistema proposto.

$$\eta = \frac{C_{\text{inicial}} - C_{\text{final}}}{C_{\text{inicial}}} \cdot 100$$

## VI. RESULTADOS

O sistema de neblina ativada foi testado em duas condições: neblina sem e com a mistura de tensoativos 1%, tanto para bactérias quanto para fungos. Os resultados em unidades de formação de colônias por metro cúbico de ar (UFC m<sup>-3</sup>) obtidos do ar sem nenhum tratamento, denominado de inicial, e do ar saindo do sistema de tratamento com a neblina ativada, denominado de final, foram reportados para cada microrganismo.

Os dados obtidos para bactérias podem ser vistos na Tabela 3. Cada valor constante da tabela é a média aritmética de medidas em duplicata. Os dados originais podem ser encontrados no Anexo 1 (página 66).

Tabela 3 – Concentração de bactérias (UFC m<sup>-3</sup>) no ar emanado do respiradouro da bacia de acumulação do chorume do Aterro Sanitário Metropolitano Centro de Salvador, sem (Inicial) e com (Final) a utilização do sistema de neblina ativada, Outubro de 2008.

Ativação da neblina	BACTÉRIA (UFC m <sup>-3</sup> )		REDUÇÃO
	<i>Inicial</i>	<i>Final</i>	%
Mistura tensoativa, 1%	3590	267	92,6
	969	63	93,5
	210	32	84,8
Água (sem ativação química)	905	262	71,0
	625	194	69,0
	320	78	75,6

Comparando-se os valores de UFC m<sup>-3</sup> saindo do respiradouro da bacia de chorume (coluna denominada Inicial) e os valores equivalentes saindo do sistema de neblina (coluna denominada final) nota-se que a ação da neblina sem ativação química consegue reduzir em média 71,9% das bactérias presentes e com a ativação resultante da presença da mistura tensoativa a 1%, a redução alcança 93,5%. Esses dados são ilustrados na figura 20.

Os valores das concentrações foram obtidos em dias e horários diferentes foram tratados estatisticamente para indicação da dispersão dos resultados, utilizando-se o Box plot que está apresentado na figura 21. A primeira barra (a esquerda) refere-se às

medidas anteriores ao tratamento com a neblina ativada, o segundo plot refere-se aos dados do ar saindo do sistema de neblina ativada após o tratamento.

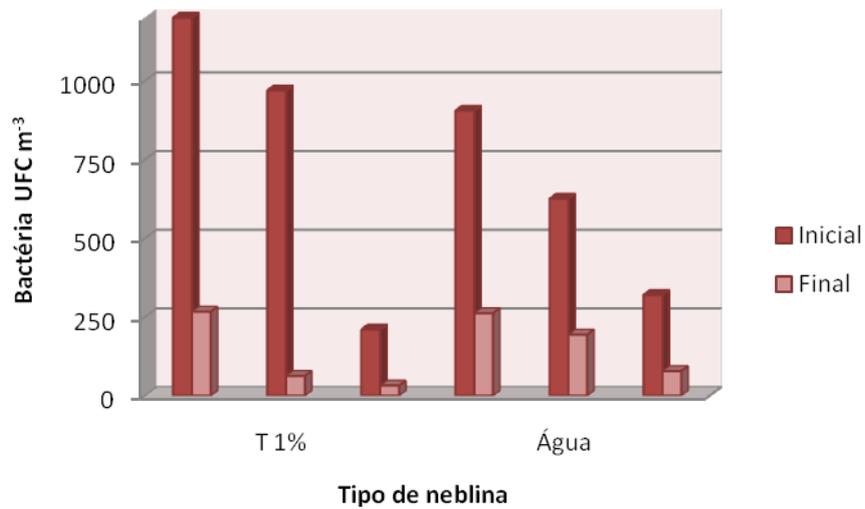


Figura 20 – Concentração de bactérias (UFC m<sup>-3</sup>) no ar emanado do respiradouro da bacia de acumulação do chorume do Aterro Sanitário Metropolitano Centro de Salvador, sem (Inicial) e com (Final) a utilização do sistema de neblina ativada, Outubro de 2008.

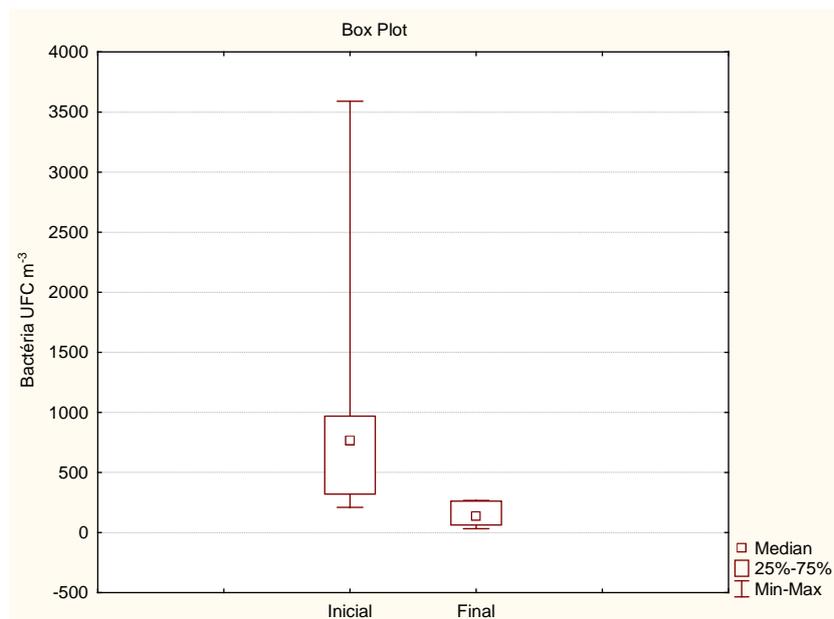


Figura 21 - Box Plot das concentrações de bactérias (UFC m<sup>-3</sup>) no ar emanado do respiradouro da bacia de acumulação do chorume do Aterro Sanitário Metropolitano Centro de Salvador, sem (Inicial) e com (Final) a utilização do sistema de neblina ativada, Outubro de 2008.

O teste t foi aplicado ao conjunto de dados do sistema antes e depois dos tratamentos com neblina (água e tensoativo) e os resultados podem ser visto na tabela 4, demonstrando a alta significância da redução nos dois casos.

Tabela 4 - Teste t pareado das concentrações de bactérias com amostras de anteriores e posteriores a aplicação do sistema de neblina ativada no ar emanado do respiradouro da bacia de contenção do chorume do aterro sanitário de Salvador, Outubro de 2008.

	<i>Variável 1</i>	<i>Variável 2</i>
Média	605,8	125,8
Variância	115035,7	9557,2
Observações	5	5
Correlação de Pearson	0,528077	
Hipótese da diferença de média	0	
Gl	4	
Stat t	3,586216	
P(T<=t) uni-caudal	0,01152	
t crítico uni-caudal	2,131847	
P(T<=t) bi-caudal	0,023039	
t crítico bi-caudal	2,776445	

H<sub>0</sub>: A concentração de bactérias no ar não difere significativamente, antes e depois da utilização do sistema.

H<sub>1</sub>: A concentração de bactérias no ar difere significativamente, antes e depois da utilização do sistema.

Como o valor calculado (Stat t = 3,586216) é maior que o valor crítico bi-caudal (t crítico bi-caudal=2,77645), rejeita-se a hipótese H<sub>0</sub> de que a concentração de bactérias no ar não difere significativamente, antes e depois da utilização do sistema.

Pode-se chegar à mesma conclusão comparando o valor do p-value (P(T<=t) bi-caudal) = 0,023039 com o nível de significância adotado  $\alpha = 0,05$ . Como  $\alpha > p$  -value, rejeita-se a hipótese H<sub>0</sub>. Caso o valor de  $\alpha$  fosse menor do que o p-value, seria aceita a hipótese H<sub>0</sub>.

Desta forma, é possível dizer que a concentração de bactérias no ar antes da utilização do sistema é significativamente diferente da concentração após a aplicação da neblina.

Os dados obtidos para fungos podem ser vistos na Tabela 5 onde cada valor representa a média aritmética de medidas em duplicata. Os dados originais podem ser encontrados no Anexo 1.

Tabela 5 - Concentração de fungos (UFC m<sup>-3</sup>) no ar emanado do respiradouro da bacia de acumulação do chorume do Aterro Sanitário Metropolitano Centro de Salvador, sem (Inicial) e com (Final) a utilização do sistema de neblina ativada, Outubro de 2008.

	FUNGOS (UFC m <sup>-3</sup> )		REDUÇÃO
	<i>Inicial</i>	<i>Final</i>	%
<b>Tensoativo 1%</b>	761	50	93,4
	526	50	90,5
	503	36	92,8
<b>Água</b>	746	185	75,2
	241	57	76,3
	142	50	64,8

Examinando-se os dados de formação de colônias de fungos emitidos através do respiradouro da bacia de contenção (coluna denominada Inicial), verifica-se que há uma baixa flutuação no número de fungos presentes no ar saindo da bacia de chorume para um mesmo período do ano com condições meteorológicas estáveis.

Comparando-se os valores de UFC m<sup>-3</sup> de fungos saindo do respiradouro da bacia de chorume (coluna denominada Inicial) e os valores equivalentes saindo do sistema de neblina (coluna denominada final) vê-se que a ação da neblina sem ativação química consegue reduzir em média 72,1% dos fungos presentes, de forma semelhante ao ocorrido com a redução de bactérias. Com a ativação tensoativa a redução alcança 93,4%, também semelhante a redução de bactérias. Esses dados são ilustrados na figura 22.

Os valores das concentrações de fungos obtidos em dias e horários diferentes foram tratados estatisticamente para indicação da dispersão dos resultados, utilizando-se o Box plot que está apresentado na figura 23. A primeira barra (a esquerda) refere-se às medidas anteriores ao tratamento com a neblina ativada, o segundo plot refere-se aos dados do ar saindo do sistema de neblina ativada após o tratamento.

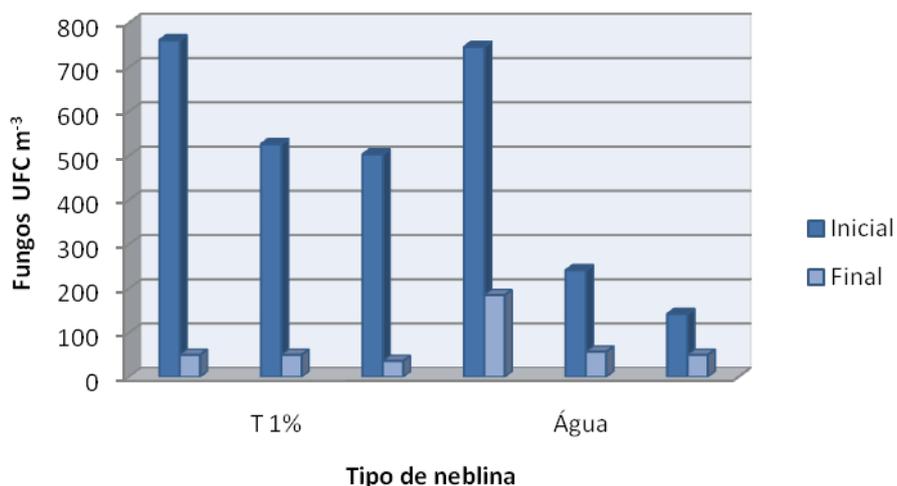


Figura 22 – Concentração de fungos (UFC m<sup>-3</sup>) no ar emanado do respiradouro da bacia de acumulação do chorume do Aterro Sanitário Metropolitano Centro de Salvador, sem (Inicial) e com (Final) a utilização do sistema de neblina ativada, Outubro de 2008.

O teste t foi aplicado ao conjunto de dados do sistema antes e depois dos tratamentos com neblina (água e tensoativo) e os resultados podem ser visto na tabela 6, demonstrando a alta significância da redução nos dois casos.

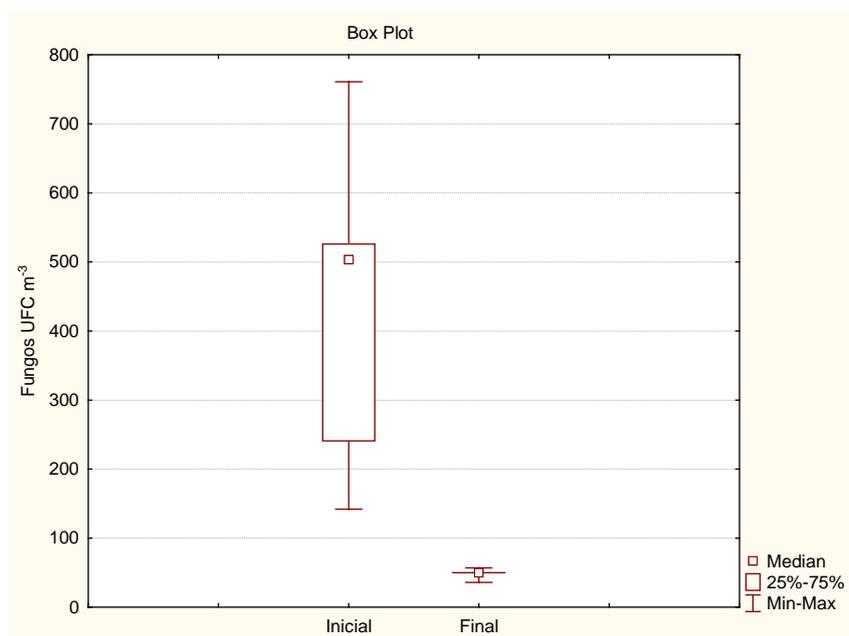


Figura 23 - Gráfica de Box Plot das concentrações de fungos (UFC m<sup>-3</sup>) no ar emanado do respiradouro da bacia de acumulação do chorume do Aterro Sanitário Metropolitano Centro de Salvador, sem e com a utilização do sistema de neblina ativada, Outubro de 2008.

Tabela 6 - Teste t pareado das concentrações de fungos com amostras de anteriores e posteriores a aplicação do sistema de neblina ativada no ar emanado do respiradouro da bacia de acumulação do chorume do Aterro Sanitário Metropolitano Centro de Salvador, Outubro de 2008.

	<i>Variável 1</i>	<i>Variável 2</i>
Média	486,5	71,33333333
Variância	64694,7	3147,866667
Observações	6	6
Correlação de Pearson	0,463652242	
Hipótese da diferença de média	0	
Gl	5	
Stat t	4,351755956	
P(T<=t) uni-caudal	0,003673521	
t crítico uni-caudal	2,015048372	
P(T<=t) bi-caudal	0,007347042	
t crítico bi-caudal	2,570581835	

$H_0$ : A concentração de fungos no ar não difere significativamente, antes e depois da utilização do sistema.

$H_1$ : A concentração de fungos no ar difere significativamente, antes e depois da utilização do sistema.

Como o valor calculado (Stat t = 4,351755956) é maior que o valor crítico bi-caudal (t crítico bi-caudal = 2,570581835), rejeita-se a hipótese  $H_0$  de que a concentração de fungos no ar não difere significativamente, antes e depois da utilização do sistema.

Pode-se chegar à mesma conclusão acima, comparando-se o valor de  $p$  (P (T<=t) bi-caudal) = 0,007347042 com o nível de significância adotado de  $\alpha = 0,05$ . Como  $\alpha > p$ , rejeita-se a hipótese  $H_0$ . Caso o valor de  $\alpha$  fosse menor do que o p-value, seria aceita a hipótese  $H_0$ .

Desta forma é possível dizer que a concentração de fungos no ar antes da utilização do sistema é significativamente diferente da concentração após a aplicação da neblina.

## VII. DISCUSSÃO

Os dados resultantes da aplicação do sistema de neblina ativada sugerem que as especificações do equipamento construído pelo ZUF e pertencente ao LAQUAM e a ativação química utilizados, reduz em até 93% as bactérias e fungos do ar nas emissões de bioaerossóis de uma lagoa de chorume de um aterro sanitário.

Em condições semelhantes esse sistema reduziu em até 98% a emissão de gases com mau odor dessa mesma bacia de contenção de chorume (Tavares et al., dados não publicados). A eficiência na redução de gases e bioaerossóis dependem, além da composição e da concentração da mistura de tensoativos e outros compostos químicos para cada caso, de vários outros fatores da engenharia do equipamento, tais como a faixa de tamanho de gotículas da neblina produzida pelo aspersor e especificações de construção do reator. Para uma aplicabilidade em grande escala no país, vários desses aspectos têm que ser estudados e otimizados caso a caso pelo LAQUAM.

Examinando-se os dados de formação de colônias de bactérias emitidos através do respiradouro da bacia de contenção (coluna denominada Inicial), verifica-se que há uma grande variação no número de bactérias presentes no ar da bacia de chorume para um mesmo período do ano com condições meteorológicas estáveis. Durante o período de coleta o tempo se manteve estável, com temperaturas acima de 25,5 °C e com dois eventos chuvosos de curta duração e baixo valor de precipitação. Não foi encontrada nenhuma correlação entre os valores mais altos de bactérias no respiradouro do aterro e os eventos chuvosos.

Técnicas baseadas em diferentes princípios já foram testadas em estação de compostagem, estações de tratamento de resíduos sólidos e estações de tratamento biológico com o objetivo de reduzir exposição ocupacional a bioaerossóis e suas emissões em áreas próximas através de uma combinação de controles de engenharia

Em 2001, Kühner utilizou membranas semipermeáveis para reduzir a emissão de bactérias de uma estação de compostagem através de pilhas (A e B) (figura 24). Ao utilizar membranas em pilhas estáticas, as emissões bioaerosol ao longo de todo o processo da estação de compostagem podem ser reduzidas em 83% em relação a pilha C sem membrana, independentemente das espécies microrganismos.

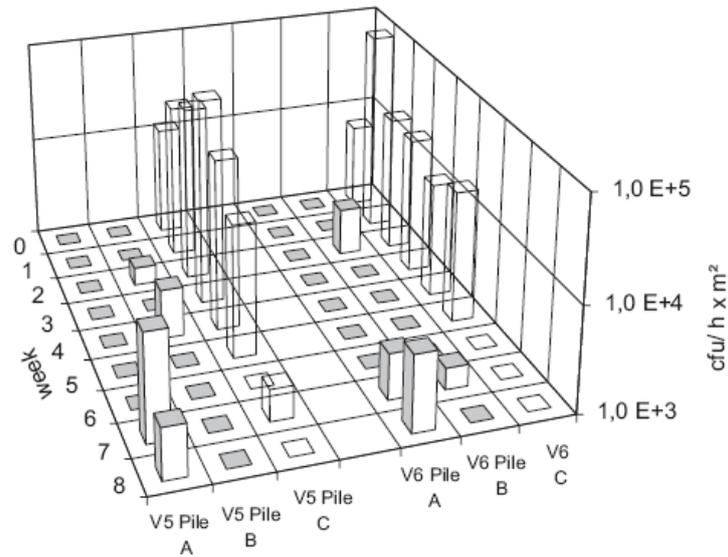


Figura 24 - Redução de bactéria total em uma estação de compostagem com presença de membranas semipermeáveis nas pilhas A e B e ausência na pilha C. (Kühner, 2001)

Em 2003, Schilling mostrou resultados de redução na concentração de *Aspergillus fumigatus* na entrada e saída de ar em biofiltros instalados em estações de tratamento de resíduos. Os dados medidos confirmam que os *Aspergillus fumigatus* foram retidos por um biofiltro operado adequadamente, embora com diferentes eficiências. As concentrações mínima e máxima de microrganismos termotolerantes na saída do ar foram até duas ordens de grandeza inferiores às da concentração inicial (Figura 25).

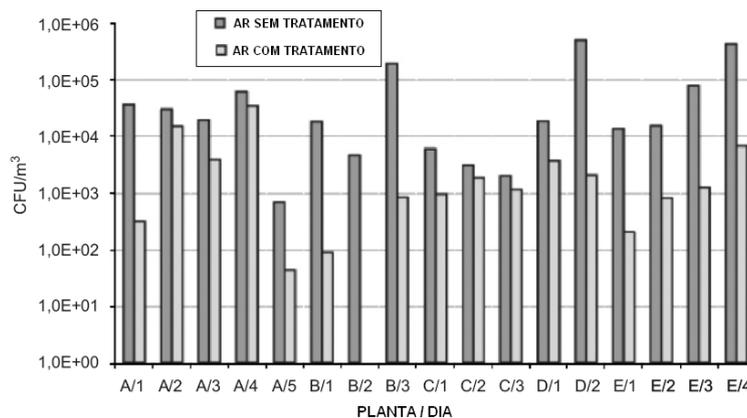


Figura 25 - Concentrações de *Aspergillus fumigatus* no ar que entrada e saída dos biofiltros. ( Schilling, 2003)

Em 2003, Kummer e colaboradores alcançaram eficiência de 96,3% até 98,5% na redução de actinomicetos termotolerantes e bactéria total, utilizando a oxidação térmica em uma estação de tratamento biológico de resíduos (Figura 26).

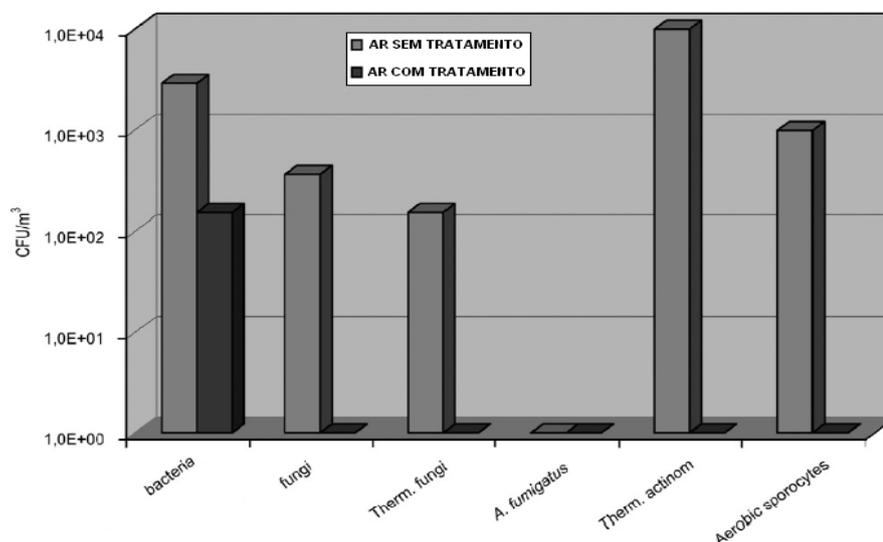


Figura 26 - Concentrações de bioaerossóis antes e depois da oxidação térmica. (Kummer, 2003)

Uma serie de trabalhos mostram que as altas concentrações de bioaerossóis não se restringem a interior dessas atividades, mas também à exposição de pessoas no interior expostas às emissões de tais estações. Essa situação não tem recebido atenção científica e política devida, apesar do potencial comprometimento da saúde dos indivíduos expostos aos bioaerossóis emitidos. A maior parte da literatura relevante sobre esse tema é recente e foi publicada a partir de 2000.

Em 2004, Herr e colaboradores realizaram um estudo epidemiológico do tipo transversal com 356 indivíduos de uma área residencial próxima uma estação de compostagem com o objetivo de relacionar possíveis efeitos sobre a saúde devido à exposição a bioaerossóis. Medidas de bioaerossóis ao ar livre na área residencial (bactérias totais, fungos e actinomicetos termófilos) encontraram concentrações maiores que  $10^5$  UFC  $m^{-3}$ . Estas concentrações reduziam ao longo de 550 metros da estação de compostagem. Os dados foram analisados por regressão logística e a *odds ratio* (OR) mostrou uma influência relevante da distância entre a casa e a site de compostagem com sintomas de irritação respiratória e queixas de saúde em geral. No entanto não foi observada maior prevalência de casos de alergias ou doenças infecciosas específicas em

residentes expostos aos bioaerossóis. Herr e seus colaboradores concluíram que os efeitos observados sobre a saúde em associação com a exposição do bioaerosol ambiental pode ser classificado como uma irritação das membranas da mucosa, recomendando que em próximas pesquisas sobre esse tema fosse necessário um foco na função pulmonar e em anticorpos específicos contra fungos.

Em outro trabalho realizado no ano de 2004, Herr e colaboradores demonstraram uma associação entre poluição por bioaerossóis em áreas residenciais e queixas de irritação das vias aéreas, bem como uma excessiva fadiga e tremores que são sintomas reportados em trabalhadores de das estações de compostagem. Estas áreas residenciais distantes 200 m das estações de compostagem apresentaram níveis de actinomicetos termófilos, bactérias total e fungos similares as exposições ocupacionais nessas estações.

Em 2006, Bunger e colaboradores compararam trabalhadores de estações de compostagem aos controles em 41 estações de compostagem alemãs (mistura de resíduos biodegradáveis domésticos acrescidas de resíduos estaleiros). As medidas revelaram concentrações elevadas de fungos e actinomicetos. Os trabalhadores apresentaram uma prevalência significativamente maior de irritação da mucosa dos olhos e das vias aéreas superiores como bem como mais conjuntivite e além de um declínio significativo na capacidade vital foi medido. Os resultados diferem dos trabalhadores expostos a poeiras orgânicas em outras instalações, talvez devido à termotolerantes fungos e bactérias em plantas. Bunger e colaboradores concluíram que a exposição à poeira orgânica em de locais de trabalho de estações de compostagem está associada com efeitos respiratórios crônicos e agudos.

Em 2006, Muller e colaboradores verificaram que 17 jovens saudáveis que foram expostos a uma estação de compostagem por duas horas fazendo atividades moderadas apresentaram alterações na contagem de células brancas do sangue, um aumento de neutrófilos e uma diminuição da eosinófilos. Eles concluíram que as exposições de curto prazo de jovens saudáveis produzem leves alterações sistêmicas.

O Conselho Ambiental Alemão acredita que os poucos trabalhos sobre a relação entre exposição à bioaerossóis e efeitos na saúde já são suficientes para justificar a recomendação de medidas de proteção.

## VIII. CONCLUSÃO

1. O sistema de neblina ativada mostrou-se viável para o abatimento de bactérias e fungos do ar nas condições do Aterro Sanitário Metropolitano Centro de Salvador.
2. As gotículas de água da neblina na faixa de tamanho de 0,2 – 20 $\mu$ m de diâmetro de partícula são as maiores responsáveis pela redução de bactérias e fungos, mas a adição de uma mistura de substâncias tenso-ativas e outras substâncias aumenta a eficiência do abatimento e torna a técnica competitiva com as outras existentes no mercado.
3. A eficiência de abatimento do sistema é igual para bactérias e para fungos, ou seja, de aproximadamente 65% com água apenas e 93% com uso dessa mistura específica contendo tensoativos.
4. Considerando-se o baixo custo do investimento e da operação do sistema aliada à eficiência comprovada, é viável o uso desse sistema para abatimento de bactérias e fungos no ar, que reduzindo essas emissões para meio ambiente, garantiriam a ausência de exposição e danos associados à saúde e ao bem-estar dos trabalhadores e da população adjacente a estas estações.
5. Além da eficiência para o abatimento de fungos e bactérias comprovada neste trabalho, a técnica da neblina ativada comprovou em trabalhos anteriormente uma elevada eficiência no abatimento de substâncias químicas, como os compostos reduzidos de enxofre e amônia, responsáveis pelo mau odor de decomposição de matéria orgânica nas mesmas condições desse trabalho. Esse fato torna essa técnica recomendável para aplicação a aterros sanitários e outras operações envolvendo decomposição de matéria orgânica.

Os estudos desenvolvidos nesse trabalho foram limitados pelo tempo, recursos humanos e financeiros, o que possibilitou apenas a verificação da viabilidade da técnica no abatimento de bactérias e fungos nas condições do Aterro Sanitário Metropolitano

Centro de Salvador. Com base nos registros de estudos prévios desenvolvidos pela equipe alemã e a equipe do LAQUAM e pelos resultados aqui registrados, sugere-se os seguintes estudos adicionais:

1. Repetir o presente estudo com identificação das bactérias e fungos, visando outras aplicabilidades voltadas para a proteção da saúde humana,.
2. Testar outras misturas tensoativas e com outras concentrações visando aumentar a eficiência do sistema.
3. Realizar um estudo de identificação e quantificação da composição da mistura tensoativa utilizada de forma a substituir por equivalentes nacionais.
4. Proceder um estudo de tamanho de gotículas de neblinas produzidas por aspersores disponíveis no mercado brasileiro, visando a substituição dos aspersores hoje adquiridos no exterior.
5. Estender a aplicação a outras situações, tais purificação de ar hospitalar e ambientes fechados, plantas de tratamento de esgotamento sanitário, compostagem, unidades de separação de lixo – inclusive utilizado pelos catadores -, tratamento biológico de efluentes industriais, abatimento de poeira em minerações e metalurgias, plantas de papel celulose, entre outros devido ao potencial do sistema de abater gases e partículas.

## IX. SUMMARY

*[The use of activated fog for reduction of bioaerosols emissions from a landfill]*

Atmospheric microbiological contamination presents a serious threat to the population because it can cause infectious and respiratory diseases and allergies. Therefore, several procedures and methodologies have been developed to eliminate microorganisms in the air, aiming to solve this problem. Actually, technologies based on filtration, pressure control, ultraviolet irradiation and others, are already used for indoors environments. However, such kind of contamination is not restricted to indoors environments and it can reach distant points in open air, whenever the source results from anthropic processes that involves bacterial decomposition, as it happens in the activities related to composting, wastewater and sewage treatment plants. People working or living near to these plants are at risk of contamination and this fact raises the necessity to discuss the reduction of microorganisms emissions from these plants. Objective: To evaluate the reduction of bioaerosols - bacteria and fungi - present in the air, by using the activated fog system. Material and Methods: The activated fog system was strategically set as a reactor in the mouth of the leachate basin of the municipal landfill of Salvador City, State of Bahia, Brazil. The chemical system effectiveness was evaluated in real-time conditions, tests being performed with and without it. Bioaerosols were sampled with an impactor with cut-off particle diameter of 0.4  $\mu\text{m}$  during 5-10 minutes on GN6-Metricel cellulose ester membrane, from Pall. After sampling, membranes were transferred and cultivated in different media: Agar Saboroud at 20-25 °C for fungi and standard agar at 35°C  $\pm$  1°C for 48h  $\pm$  3h for bacteria. Fungi and bacteria were quantified according to Colonies Formation Units by cubic meter, and the results statistically analysed by using t-tests. Results: Bioaerosols concentrations were reduced in 72%, with activated fog produced with pure water, and 93%, by using of a 1% tensoactive admixture. Conclusion: The activated fog system is viable for the propose situation.

Key-words: Bioaerosol, Activated Fog, Landfill, Public Health

## X. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albrecht A, Guido Fischer G, Brunnemann-Stubbe G, Jäckel U, Kämpfer P. Recommendations for study design and sampling strategies for airborne microorganisms, MVOC and odours in the surrounding of composting facilities. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 211(1-2): 121-131, 2008.
- Afonso MSM, Tipple AFV, Souza ACS, Prado MA, Anders PSA. Qualidade do Ar em Ambientes Hospitalares Climatizados e sua Influência na Ocorrência de Infecções. *Revista Eletrônica de Enfermagem*, 06(2): 181-188, 2004.
- Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA/BRASIL. Resolução RE nº 176 de 24 de outubro de 2000. Diário Oficial da União Brasil 29 de outubro de 2000.
- Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA/BRASIL. Resolução RE nº 9 de 16 de janeiro de 2003. Diário Oficial da União 20 de janeiro de 2003.
- Brickus LSR, Aquino Neto FRA. Qualidade do Ar de Interiores e a Química. *Quimica Nova*, 22: 65-74, 1999.
- Bunger J, Schappler-Scheele B, Hilgers R, Hallier E. A 5-Year Follow-Up Study on Respiratory Disorders and Lung Function in Workers Exposed to Organic Dust from Composting Plants. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 80(4): 306-312, 2006.
- Bushnell A, Cooper JR, Dunn J, Leo F, May R. Pulsed light sterilization tunnels and sterile-passthroughs. *Pharmaceutical Engineering*, 18: 48-58, 1998.
- Costa M. F. B., Costa M. A. F. A Qualidade do Ar de Interiores e a Saúde Humana. *INTERFACEHS - Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente*, 1 (2): 1-3, 2006.
- Crook B, Bardos RP, Lacey J. Domestic waste composting plants as sources of airborne micro-organisms. The Aerosol Society Second Conference “Aerosols Their Generation Behaviour and Applications” Bournemouth UK 22-24 March 1988.

- Douwes J, Thorne P, Pearce N, Heederik D. Bioaerosol Health Effects and Exposure Assessment: Progress and Prospects. *Annals of Occupational Hygiene*. 47(3): 187-200, 2003.
- Fabian MP, Miller SL, Reponen T, Hernandez MT. Ambient bioaerosol indices for indoor air quality assessments of flood reclamation. *Journal of Aerosol Science*, 36: 763–783, 2005.
- Fanger PO. Indoor Air Quality in the 21st Century: Search for Excellence. *Indoor Air* 10(2): 68-73, 2000.
- Fischer G, Müller T, Schwalbe R, Ostrowski R, Dott W. Exposure to airborne fungi MVOC and mycotoxins in biowaste-handling facilities. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 203(2): 97-104 2000.
- Fischer G, Albrecht A, Jäckel U, Kämpfer P. Analysis of airborne microorganisms MVOC and odour in the surrounding of composting facilities and implications for future investigations. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 211(1-2): 132-142, 2008.
- Frank WG. Size and Characteristics of Airborne Solids. *American Air Filter Company* 1937.
- Gioda A, Aquino Neto FR. Considerações sobre Estudos de Ambientes Industriais e não Industriais no Brasil: Uma Abordagem Comparativa. *Caderno de Saúde Pública* 19(5):1389-1397, 2003.
- Goelzer BIF. A Contribuição da Higiene Ocupacional para Redução e Eliminação da Nocividade do Trabalho. In: Mendes R (ed.) *Patologia do Trabalho*. 2. ed. Atheneu: São Paulo 44 1741-1766, 2005.
- Herr CEW, Nieden A, Seitz H, Harpel S, Stinner D, Stilianakis NI, Eikmann TF. Bioaerosols in Outdoor air - Statement of Environmental Medical Assessment Criteria on the Basis of an Epidemiological Cross Sectional Study. *Gefahrstoffe Reinhaltung Der Luft*, 64(4): 143-152, 2004.

- Herr CEW, Nieden A, Stilianakis NI, Eikmann TF. Health Effects Associated With Exposure to Residential Organic Dust. *American Journal of Industrial Medicine*, 46:381-385, 2004.
- IEC – Indoor Environment Center/Pennsylvania State University. Disponível em: <<http://www.engr.psu.edu/ae/iec/abe/index.asp>>. Acessado em: 2 de junho de 2007.
- Jaeschke W, Schunn H, Salkowski T, Dippell J, Sitals R, Nunes LS, Campos VP, Tavares TM. Measurements of Atmospheric Reduced Sulfur Compounds Around the All Saints Bay Area Brazil. Proceedings of the WMO-IGAC Conference on the Measurements and Assessment of Atmospheric Composition Change. Beijing China 134-138p., 1995.
- Jaeschke W, Dierssen JP, Güntheher A, Schickedanz U, Wolf A, Ricci L, Arends BG. Massfluxes and chemical pathways during a fog event. *Contributions to Atmospheric Physics*. 71: 145-157, 1998a.
- Jaeschke W, Dierssen JP, Günther A, Schumann M. Phase partitioning of ammonia and ammonium in a multiphase system studied using a new vertical wet denuder technique. *Atmospheric Environment*, 32(3): 365-371, 1998b.
- Jones AP. Indoor Air Quality and Health. *Atmospheric Environment*, 33: 4535-4564, 1999.
- Kalogerakis N, Paschali D, Lekaditis V, Pantidou A, Eleftheriadis K, Lazaridis M. Indoor Air Quality - Bioaerosol Measurements in Domestic and Office Premises *Journal of Aerosol Science*, 36: 751-761, 2005.
- Kowalski WJ, Bahnfleth W. Airborne Respiratory Diseases and Mechanical Systems for Control of Microbes. *HPAC Heating/Piping/Air Conditioning* 1: 34-48, 1998.
- Kühner M. Kompostierung unter semipermeablen Membranen. *Stuttgarter Berichte zur Abfallwirtschaft*. 78, 2001.

- Kummer V, Haumacher R, Philipp W, Böhm R. Untersuchungen zum Abscheideverhalten von Abluftreinigungsanlagen im Hinblick auf Bioaerosole. *Gefahrstoffe-Reinhalung der Luft* 63: 368–372, 2003.
- Lim KS, Lee SH, Park HS. Prediction for particle removal efficiency of a reverse jet scrubber. *Aerosol Science* 37: 1826-1839, 2006.
- Millner P. Bioaerosols and composting. *BioCycle*, 36(1): 48–54, 1995.
- Ministério da Saúde – MS/BRASIL. Portaria nº 3523 de 28 de agosto de 1998. Diário Oficial da União Brasil 31 de agosto de 1998.
- Mohr AJ. Microorganisms fate and transport. In: Hurst C. J., Crawford R. L., Knudsen G., McInerney M., Stetzenbach L. D. *Manual of Environmental Microbiology*. 2. ed ASM Press. Washington DC, 76: 827-838, 2002.
- Muller T, Jorres RA, Scharrer EM, Hessel H, Nowak D, Radon K. Acute Blood Neutrophilia Induced by Short-Term Compost Dust Exposure in Previously Unexposed Healthy Individuals. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 79: 477-482, 2006.
- NIOSH - National Institute For Occupational Safety And Health. *Guidance for indoor air quality investigations*. Cincinnati Ohio 1987.
- Nunes LSS. Adequação de um Monitor Automático Contínuo de H<sub>2</sub>S Atmosférico para Regiões Tropicais e Análise de sua Aplicação no Recôncavo Baiano e em Cubatão-SP. Bahia, Dissertação de Mestrado. Instituto de Química Universidade Federal da Bahia, 1995.
- Nunes LSS. Quantificação dos Compostos Reduzidos de Enxofre Emitidos para a Atmosfera por Fontes Naturais e Antropogênicas no Recôncavo Baiano. Bahia. Tese de Doutorado em Química UFBA, 2000.
- Recer GM, Browne ML, Horn E, Hill K, Boehler W. Ambient air levels of *Aspergillus fumigatus* and thermophilic actinomycetes in a residential neighbourhood near a yard waste composting facility. *Aerobiologia* 17: 99–108, 2001.

- Ricci L, Fuzzi S, Laj P, Lazzari A, Orsi G, Berner A . Günther A., Jaeschke W., Wendisch M., Arends B. G. Gas-Liquid Equilibria in Polluted Fog. Contributions to Atmospheric Physics, 71: 159-170, 1998.
- Stetzenbach LD, Buttner MP, Cruz P. Detection and enumeration of airborne biocontaminants. *Environmental biotechnology* 15: 170–174, 2004.
- Schilling B. Emissionsminderung für Bioaerosole durch Biofilter. In: *Mikroorganismen in der Umgebung von Abfallbehandlungsanlagen Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie*. 2003.
- Schumann M. Nutzungsmöglichkeiten der Chemisorption mit Nebeltropfen zur Minderung der Emission Von Ammoniak Schwefelwasserstoff und organischen Gasen aus Industriebetrieben. Enthalten im Sonderforschungsbericht 233. ZUF - Dynamik und Chemie der Hydrometeore Zentrum für Umweltforschung 2000.
- Tavares, T.M.; Campos, V.P.; Alves, E.M.; Oliveira, A.S.; Haunold, W.; Jaeschke, W.; Otimização de sistema químico de neblina temperada para abatimento de emissões atmosféricas de substâncias odoríferas de um aterro sanitário. Dados não publicados.
- Tavares TM, Rocha VC, Nogueira EM, Van Grieken R, Klockow D. The Influence of Seaspray on the Atmospheric Chemistry on the Reconcavo of Bahia Brazil *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 9: 50-66, 1993.
- WHO - World Health Organization. *Indoor air pollutants: exposure and health effects assessment*. Copenhagen 1982.
- WHO - World Health Organization. *Indoor air quality: biological contaminants*. Rautavara 1998.
- WHO - World Health Organization. *The Right to Health Indoor Air*. Bilthoven 2000.

**Anexo 1** - Dados das coletas unitárias para determinação das concentrações de bactérias (UFC m<sup>-3</sup>) no ar emanado do respiradouro da bacia de contenção do chorume do aterro sanitário de Salvador, sem e com a utilização do sistema de neblina ativada, outubro de 2008.

<b>BACTERIA</b>					
<b>DIA</b>	<b>SISTEMA</b>	<b>HORÁRIO</b>	<b>UFC m<sup>-3</sup></b>	<b>° C</b>	<b>Precipitação(mm)</b>
1/10/2008	Sem	10:00	358	26,65	0,6
	Sem	10:10	282		
	Com Agua	10:20	61		
	Com Agua	10:30	94		
	Sem	10:40	237		
	Sem	10:50	183		
	Com T1,0%	11:00	28		
	Com T1,0%	11:10	36		
13/10/2008	Sem	10:30	808	25,85	1,2
	Sem	10:40	1001		
	Com Agua	10:50	209		
	Com Agua	11:00	314		
	Sem	11:10	859		
	Sem	11:20	1079		
	Com T1,0%	11:30	52		
	Com T1,0%	11:40	74		
	Sem	13:00	3100		
	Sem	13:10	4080		
	Com T1,0%	13:20	227		
	Com T1,0%	13:30	306		
29/10/2008	Sem	10:30	555	27,2	0
	Sem	10:40	694		
	Com Agua	11:50	164		
	Com Agua	11:00	223		