

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANA  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE QUÍMICA E BIOLOGIA  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM PROCESSOS AMBIENTAIS

WILLIAN RYUICHI MIKAMI

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE UM SISTEMA BIOLÓGICO PARA  
TRATAMENTO DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2011

WILLIAN RYUICHI MIKAMI

## **AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE UM SISTEMA BIOLÓGICO PARA TRATAMENTO DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso Superior de Tecnologia em Processos Ambientais do Departamento Acadêmico de Química e Biologia – DAQBI – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo.

Orientador: Profº Dr. Marcelo Real Prado

Co-orientador: Anderson Cardoso Sakuma

CURITIBA

2011

# **TERMO DE APROVAÇÃO**

**WILLIAN RYUICHI MIKAMI**

## **AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE UM SISTEMA BIOLÓGICO PARA TRATAMENTO DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do grau de TECNÓLOGO EM PROCESSOS AMBIENTAIS do Departamento Acadêmico de Química e Biologia (DAQBI) do Câmpus Curitiba da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR e **APROVADO** pela seguinte banca examinadora:

**Membro 1** – PROF<sup>a</sup>. DR<sup>a</sup>. MARLENE SOARES  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)  
Departamento Acadêmico de Química e Biologia

**Membro 2** – PROF. DR. THOMAZ AURÉLIO PAGIORO  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)  
Departamento Acadêmico de Química e Biologia

**Orientador** – PROF. DR. MARCELO REAL PRADO  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)  
Departamento Acadêmico de Química e Biologia

**Coordenadora de Curso** – PROF<sup>a</sup>. DR<sup>a</sup>. VALMA MARTINS BARBOSA

Curitiba, 30 de novembro de 2011.

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer, primeiramente, a Deus pela força dada a mim para realização deste trabalho e conclusão do mesmo.

Entre todas as pessoas que ajudaram na realização deste trabalho, gostaria de agradecer em especial,

Ao professor Dr. Marcelo Real Prado e ao Anderson Cardoso Sakuma, pela orientação e co-orientação, respectivamente, além da confiança depositada até a conclusão deste.

À Camilla Lucas Sprung que, apesar da não participação até o final, teve substancial importância para que o trabalho fosse realizado, principalmente na concepção da ideia e montagem inicial em laboratório.

Ao Alexandre Akira Takamatsu pela grande ajuda no início do trabalho, também na concepção de todo o projeto, e por acreditar em todos os momentos que este daria certo.

À Aline Bescrovaine Pereira e à Rafaela Check e ao Gabriel, da Divisão de Tecnologias Sociais do TECPAR, pela grande ajuda na realização de alguns dos testes em laboratório.

Ao Instituto de Tecnologia do Paraná por ceder o espaço físico e muitos dos materiais utilizados, em especial à Divisão de Manutenção, pela paciência e pela concessão de ferramentas;

À professora Dra. Marlene Soares pela grande ajuda e dicas em todos os momentos necessários.

Ao professor Dr. Thomaz Aurelio Pagioro pelas correções e ideias dadas ao trabalho.

A todos que de alguma maneira contribuíram pela realização deste trabalho.

## RESUMO

MIKAMI, R. W., Avaliação da eficiência de um sistema biológico para tratamento de emissões atmosféricas. 2011. 62 p. Trabalho de Conclusão de Curso do curso de Tecnologia em Processos Ambientais da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

A poluição atmosférica tem se tornado um dos maiores problemas ambientais após a revolução industrial. Com esta, além dos problemas do aquecimento global e de problemas respiratórios ainda encontram-se os relacionados ao odor produzidos por compostos voláteis. Para tentar sanar o odor e diminuir o aquecimento global provindo das emissões, este trabalho reproduz em escala laboratorial um reator biológico baseado em microalgas e bactérias. As primeiras trabalham absorvendo o CO<sub>2</sub> para ser utilizado em seus processos metabólicos pelo processo de fotossíntese, liberando, assim, oxigênio para o meio ambiente. As segundas utilizam os compostos orgânicos voláteis como fonte de energia, diminuindo, assim, o odor da emissão. O trabalho foi realizado em uma churrascaria central de Curitiba – PR que sofre diariamente com os problemas sociais causados pela chaminé e tem como objetivo avaliar a eficiência e obter parâmetros para a construção de um projeto piloto. Para quantificação das microalgas foram realizadas diariamente medições de clorofila com o intuito de calcular a biomassa presente e relacioná-la com a absorção de CO<sub>2</sub>. Como reatores de bancada utilizaram-se quatro erlenmeyers de 500 mL cada, um para o branco do teste (só ar atmosférico sendo injetado) e, os outros três, com injeção de fumaça coletada durante os horários de funcionamento da churrascaria. O teor de clorofila foi analisado através de testes de absorbância em espectrofotômetro e os dados plotados em gráficos. Para a quantificação das bactérias presentes foram realizadas contagens pelo laboratório de microbiologia do Instituto de Tecnologia do Paraná. Essas análises foram feitas nos primeiros e últimos dias de cada batelada para posterior comparação da quantidade de bactérias inicial e final. Para o teste de odor, foi utilizada a percepção sensorial de cinco diferentes técnicos diariamente. As microalgas, comparando-se o crescimento no branco e nos cultivos, cresceram cerca de 10% a mais no segundo em relação ao primeiro. As bactérias mantiveram-se estáveis variando de 10<sup>4</sup> a 10<sup>5</sup> UFC/mL. Os resultados obtidos alcançaram números satisfatórios em relação a depuração do odor, 72% dos cultivos não apresentaram o característico cheiro da fumaça. Com esses dados foi possível obter os parâmetros para o projeto piloto. O trabalho apresentou-se viável tanto tecnicamente quanto ambientalmente, porém ainda são necessárias pesquisas visando uma melhora econômica para construção deste projeto pensando em uma escala industrial.

**Palavras Chave: Poluição Atmosférica. Controle de Odor. Aquecimento Global. Microalgas. Bioreator.**

## ABSTRACT

MIKAMI, R. W., Evaluation of the efficiency of a biological system for treating air emissions. 2011. 62 p. Completion of Course Work Course, Technology in Environmental Processes, Federal Technological University of Parana, Curitiba, 2011.

Air pollution has become one of the biggest environmental problems after the industrial revolution. With this, beyond the problems of global warming and respiratory problems are also related to the odor produced by volatile compounds. To try to remedy the odor and reduce global warming emissions coming from this work reproduced in a laboratory scale biological reactor based on microalgae and bacteria. The first work by absorbing CO<sub>2</sub> for use in their metabolic processes by the process of photosynthesis, thus freeing oxygen to the environment. The second use volatile organic compounds as an energy source, thus reducing odor emissions. The work was carried out at a steakhouse downtown Curitiba - PR suffering daily with the social problems caused by the chimney and aims to evaluate the efficiency and gain parameters for the construction of a pilot project. For quantification of microalgae were performed daily measurements of chlorophyll in order to calculate the biomass present and relate it to the absorption of CO<sub>2</sub>. As a batch reactor was used four flasks of 500 mL each, one for white test (only atmospheric air being injected), and the other three, with injection of smoke collected during the hours of operation from the grill. The chlorophyll content was analyzed by testing absorbance in a spectrophotometer and the data plotted in the graph. To quantify the bacteria counts were performed by the microbiology laboratory of the Institute of Technology of Paraná. Analyses were made in the first and last day of each batch for later comparison of the amount of bacteria start and end. To test the odor, sensory perception was used five different technicians daily. Microalgae, comparing the growth in the white crops and grew about 10% more in the second over the first. The bacteria remained stable ranging from 10<sup>4</sup> to 10<sup>5</sup> CFU / mL. The numbers achieved satisfactory results in relation to clearance of smell, 72% of the crops did not show the characteristic smell of smoke. With these data it was possible to obtain the parameters for the pilot project. The work presented is both technically and environmentally feasible, but further studies are necessary to build a better economic thinking of this project on an industrial scale.

**Keywords: Air Pollution. Odor Control. Global Warming. Microalgae. Bioreactor**

## SUMÁRIO

|   |    |
|---|----|
| 1 INTRODUÇÃO .....  | 7  |
| 2 JUSTIFICATIVA .....   | 9  |
| 3 OBJETIVOS .....   | 10 |
| 3.1 OBJETIVO GERAL .....  | 10 |
| 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....   | 10 |
| 4 REVISAO BIBLIOGRAFICA .....   | 11 |
| 4.1 POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA .....  | 11 |
| 4.2 MICROALGAS .....  | 14 |
| 4.2.1 Clorófitas ou Algas Verdes .....  | 15 |
| 4.2.2 Fotossíntese .....  | 16 |
| 4.2.3 Biomassa e Produtividade Primária .....   | 16 |
| 4.2.4 Aspectos Limnológicos que Influenciam o Desenvolvimento das Microalgas ..                   | 17 |
| 4.3 BACTÉRIAS .....   | 18 |
| 4.4 TECNOLOGIAS PARA TRATAMENTO DE GASES .....  | 19 |
| 4.4.1 Biofiltração .....  | 20 |
| 4.4.2 Biolavadores .....  | 22 |
| 4.4.3 Vantagens e Desvatagens entre as técnicas biotecnológicas para tratamento<br>de gases ..... | 23 |
| 4.4.4 Lavadores de Gases .....  | 24 |
| 4.4.5 Condensação .....   | 25 |
| 4.4.6 Adsorção .....  | 25 |
| 4.4.7 Oxidação .....  | 26 |
| 5 MATERIAIS E METODOS .....   | 27 |
| 5.1 MATERIAIS .....   | 27 |
| 5.2 COLETA DAS MICROALGAS .....   | 27 |
| 5.3 COLETA E CARACTERIZAÇÃO DA EMISSÃO GASOSA .....   | 28 |
| 5.3.1 Construção do Condensador e Coleta do Condensado .....                                      | 29 |
| 5.4 CULTIVO DO INÓCULO .....  | 30 |
| 5.4.1 Obtenção do inoculo em escala de bancada .....  | 30 |
| 5.4.2 Iluminação .....  | 32 |
| 5.4.3 Temperatura e pH .....  | 32 |
| 5.4.4 Aeração .....   | 33 |
| 5.4.4.1 Controle da vazão .....   | 33 |
| 5.4.5 Cultivo das Amostras de Microrganismos .....  | 35 |
| 5.4.5.1 Avaliação do Crescimento Microalgal .....   | 36 |

|  |    |
|--|----|
| 5.4.5.2 Avaliação da depuração do odor da emissão atmosférica .....    | 38 |
| 5.4.5.3 Avaliação do Crescimento de Bactérias e Fungos .....           | 39 |
| 5.4.6 Determinação dos Parâmetros Iniciais Para o Projeto Piloto ..... | 40 |
| 6 RESULTADOS E DISCUSSAO.....  | 41 |
| 6.1 CARACTERIZAÇÃO DA EMISSÃO ATMOSFÉRICA .....                        | 41 |
| 6.1.1 Caracterização Orgânica.....                                     | 41 |
| 6.1.2 Caracterização Inorgânica.....                                   | 42 |
| 6.2 VAZÃO .....  | 43 |
| 6.2.1 Controle da Vazão.....   | 45 |
| 6.3 AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO MICROALGAL.....                           | 46 |
| 6.4 AVALIAÇÃO DA DEPURAÇÃO DO ODOR .....                               | 49 |
| 6.5 AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO BACTERIANO .....                          | 51 |
| 6.6 PROJETO PILOTO .....   | 52 |
| 6.7 DIRECIONAMENTO PARA TRABALHOS FUTUROS.....                         | 54 |
| 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....   | 55 |
| REFERÊNCIAS.....   | 56 |
| ANEXO A .....  | 60 |

## 1 INTRODUÇÃO

As microalgas são organismos que contêm clorofila, e que englobam um grande grupo de organismos os quais podem se apresentar individualmente ou em colônias, encontrados em todo o mundo (GUIRY, 2010).

Como organismos fotossintéticos elas estão sendo muito utilizadas em projetos de mitigação de GEE (gases de efeito estufa), e, nos últimos anos, têm se apresentado como um organismo potencialmente útil às indústrias em vários ramos. Isto ocorre devido à necessidade das microalgas, assim como todos os organismos, de nutrientes básicos para se desenvolver, como carbono, nitrogênio e fósforo, além de outros de mesma importância, como hidrogênio e oxigênio (AGRAWAL, 1999).

As fontes de carbono e nitrogênio para o cultivo das microalgas têm grande importância, pois são elementos essenciais para o crescimento destes microrganismos. A obtenção destes nutrientes tem relativo peso nos custos de projetos (MORAIS; COSTA, 2007). Desta forma, a utilização de fontes alternativas destes nutrientes, tais como CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) e NO<sub>x</sub> (óxidos de nitrogênio) emitidos pela queima de combustíveis ricos em carbono, apresenta vantagens em dois sentidos: redução de CO<sub>2</sub> emitido para a atmosfera e redução dos custos no cultivo de microalgas.

As bactérias, por sua vez podem atuar utilizando os COVs (compostos orgânicos voláteis) como fonte de nutrientes para seus processos metabólicos, diminuindo, assim, o odor de emissões gasosas (SOARES, 2006) da churrascaria em questão.

Existe uma série de tecnologias disponíveis para o tratamento do odor de emissões atmosféricas, as quais podem ser físicas (condensação, absorção e adsorção), químicas (oxidação térmica e catalítica, ozonização, lavador de gás) e bioquímicas (biofiltros, lodos ativados, biolavadores) (BURGESS, 2001), porém muitas destas tecnologias ainda são caras.

Em grandes centros urbanos, encontram-se fontes pontuais de emissões atmosféricas. Essas fontes provem de pontos comerciais e industriais que necessitam da queima de matéria prima rica em carbono para fabricar seus produtos. Estes locais enfrentam problemas de ordem ambiental e social e são poucas as tecnologias aplicadas no mercado para solucionar esses problemas.

O trabalho descrito a seguir apresenta, em escala laboratorial, metodologia e resultados para análise de viabilidade técnica e econômica de um projeto, baseado no cultivo de microalgas e bactérias, para sanar o problema do odor e do CO<sub>2</sub>, da emissão atmosférica de uma churrascaria da região central de Curitiba – PR.

## 2 JUSTIFICATIVA

Considerando a necessidade de tecnologias para o tratamento simultâneo dos principais componentes de emissões gasosas, tanto COVs quanto CIVs (compostos inorgânicos voláteis), este trabalho visa o estudo de uma proposta de um sistema unificado que tem como finalidade a redução dos problemas associados aos vários compostos liberados por chaminés localizados em regiões urbanas e suburbanas. Sendo este um projeto para fins comerciais e que satisfaça a demanda de tratamento dos gases em fontes pontuais, é necessário avaliar a eficiência do sistema para que ele possa ser aplicado em escala real.

Neste sistema serão utilizados principalmente dois grupos de microrganismos: bactérias heterotróficas e microalgas. As bactérias heterotróficas têm como função a redução dos COVs e, conseqüentemente, do odor associados a estes compostos; e as microalgas realizarão a captura dos CIVs presentes na emissão atmosférica, contribuindo assim para redução dos gases do efeito estufa emitidos em pequenas fontes.

### 3 OBJETIVOS

#### 3.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a eficiência de um sistema biológico em escala laboratorial, baseado no cultivo de microalgas e bactérias, para o tratamento das emissões atmosféricas de uma churrascaria.

#### 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Coletar microrganismos no lago do passeio público em Curitiba – PR;
- Coletar amostras gasosas da fonte em estudo;
- Caracterizar os principais componentes orgânicos e inorgânicos da emissão atmosférica;
- Montar um bioreator em escala laboratorial;
- Obter inóculo de microalgas e bactérias heterotróficas para etapa laboratorial;
- Avaliar a eficiência do tratamento da emissão atmosférica;
- Realizar análises laboratoriais de controle do processo como: biomassa, olfatometria e plaqueamento;
- Determinar parâmetros para a operação do projeto em escala piloto;

## 4 REVISAO BIBLIOGRAFICA

### 4.1 POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

Segundo definição da CETESB (2010):

Poluente atmosférico é toda e qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos em legislação, e que tornem ou possam tornar o ar impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e à flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade.

Alterações na composição do ar atmosférico podem ser originárias tanto de fontes naturais quanto de fontes antropogênicas. As fontes antropogênicas estão relacionadas com atividades humanas e industriais e podem ser classificadas como estacionárias ou móveis. Dentre as fontes estacionárias incluem-se as fontes domésticas, principalmente sistemas de aquecimento, e as industriais que liberam, geralmente por processos de combustão, gases residuais de seus processos (KNNES; VEIGA, 2001).

O ser humano tem interferido, e muito, para a emissão de poluentes para a atmosfera, muitas vezes sem nem conhecer as conseqüências. O ponto inicial dessa interferência, em grande escala, foi a Revolução Industrial que culminou com a queima de combustíveis fósseis, gerando os processos de combustão em grande escala, o que permite dizer que o problema é recente, comparado ao início da vida na Terra (ROCHA, ROSA, CARDOSO 2009).

O ar atmosférico é composto, aproximadamente, de 78% de N<sub>2</sub> (Nitrogênio), 21% de O<sub>2</sub> (Oxigênio), e o 1% restante é formado por outros gases, todos minoritários como os 0,03% de CO<sub>2</sub>. Porém, esses gases estão em constante troca e muitos, pelos processos de combustão, aumentam sua concentração gerando problemas como a chuva ácida, a poluição fotoquímica e o efeito estufa. Destes, o efeito estufa é causado em grande parte pelo CO<sub>2</sub> emitido pelas fontes antropogênicas e, este gás, possui um tempo de residência na atmosfera de cerca de quatro anos. Isso significa dizer que, quando emitido em qualquer ponto da Terra, ele pode espalhar-se por toda a atmosfera em um período de quatro anos. O NO<sub>2</sub> (Dióxido de Nitrogênio), por exemplo, tem um tempo de residência de vinte e quatro

horas, ou seja, consegue espalhar-se por quilômetros apenas, quando emitido (ROCHA, ROSA, CARDOSO, 2009).

A tabela 1 mostra alguns gases na atmosfera e seu tempo de residência médio:

| <b>Tabela 1 – Tempo de Residência médio dos principais gases presentes na atmosfera</b> |  |   |
|---|--|---|
| <b>Compostos</b>  | <b>Tempo de Residência (a:anos; d:dias; h:horas)</b> | <b>Composição (ppb: parte por bilhão em volume)</b> |
| CO <sub>2</sub>   | 4 a  | 360.000   |
| CO  | 0,1 a  | 100   |
| CH <sub>4</sub>   | 8 a  | 1.600   |
| HCOH  | 1 d  | 1-01  |
| N <sub>2</sub> O  | 85 a   | 310   |
| NO <sub>2</sub>   | 1 d  | 0,3   |
| SO <sub>2</sub>   | 1-4 d  | 0,01-0,1  |
| CS <sub>2</sub>   | 40 d   | 0,02  |
| HCl   | 4 d  | 0,001   |

**Adaptado (ROCHA, ROSA, CARDOSO 2009)**

Alguns dos principais contaminantes atmosféricos são os CIVs, tais como NO<sub>x</sub> e SO<sub>x</sub> (óxidos de enxofre), e os COVs, sendo uma grande parte proveniente das queimas nas indústrias (SHAREEFDEEN; SINGH, 2005). Dentre essas substâncias, os COVs são um dos maiores causadores de odores nessas emissões e isso causa desconforto nas comunidades que moram perto de qualquer estabelecimento que emita algum tipo de gás odorante (SCHIRMER; LISBOA; MUNIZ, 2005). A nível mundial, as reclamações que remetem ao problema do odor chegam a cerca de 50% das denúncias ambientais encaminhadas aos respectivos órgãos de controle ambiental (KAYE; JIANG, 2000 apud SCHIRMER; LISBOA; MUNIZ, 2005).

Os COVs compreendem todos os compostos de carbono que podem ser encontrados na fase de vapor na atmosfera, exceção feita ao CO (monóxido de carbono) e CO<sub>2</sub>. Esses compostos são emitidos naturalmente, mas, assim como o CO<sub>2</sub>, a concentração deles na atmosfera vem sendo maximizada graças às várias ações antropogênicas em vários pontos da superfície terrestre (ROCHA, ROSA, CARDOSO, 2009). Em Curitiba o problema da poluição começou, realmente, a ser considerado, na década de 80, quando a taxa de crescimento populacional atingiu

cerca de 5,8% ao ano na região metropolitana (BAKONYI, OLIVEIRA, MARTINS, BRAGA, 2004).

Além de todos os problemas que esses poluentes causam à natureza, à camada de ozônio e ao ar atmosférico, observa-se também um sério problema relacionado à saúde da população mundial. Os maiores problemas de saúde ocorrem, geralmente, no inverno. Neste, têm-se uma grande perda de calor do solo e as temperaturas próximas a ele ficam muito baixas, impedindo o ar de elevar-se, concentrando os poluentes em uma camada muito perigosa à população. Os poluentes ficam estacionados e esse fenômeno é chamado de inversão térmica. É nessa época que ocorrem os picos de problemas respiratórios em postos de saúde e hospitais, principalmente em crianças e idosos, o que ocasiona, em muitos casos, o óbito dos pacientes (ARBEX, 2001).

Além da inversão térmica, podem ser considerados sérios problemas, maximizados pela poluição atmosférica, o chamado smog fotoquímico, a chuva ácida e o efeito estufa. Em se tratando do primeiro, os grandes responsáveis são os compostos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ) e os oxidantes atmosféricos. Geralmente esse fenômeno ocorre em dias de calor e de pouco vento, e, os raios solares, são fundamentais para ativar essas reações. Nessas reações para formar-se o smog, acumula-se ozônio na atmosfera através de reações com  $\text{NO}_x$  e de substâncias formadas a partir de COVs (ROCHA, ROSA, CARDOSO, 2009). Os poluentes  $\text{NO}_x$  também são os grandes vilões de outro fenômeno preocupante à população, a chuva ácida. Neste além dos  $\text{NO}_x$  incluem-se, os  $\text{SO}_x$ , principalmente o  $\text{SO}_2$  (Dióxido de enxofre) que provém dos processos de combustão. Para que a chuva ácida ocorra, também é necessária a presença de radiação solar. Quando da presença desta, com água de chuva e os poluentes, formam-se ácidos nítrico e sulfúrico, diminuindo o pH (potencial hidrogenionico) da água prejudicando, assim, a qualidade dos solos, das águas e das vegetações (MIRLEAN, VANZ, BAISCH, 2000).

De todos os problemas que a poluição atmosférica causa, o mais discutido atualmente é o efeito estufa. Esse efeito é natural e necessitamos dele para que haja vida na Terra, porém as ações antropogênicas vêm maximizando-o de forma descontrolada, o que causa fenômenos como: furacões mais intensos, mudança da rota de chuvas, derretimento de geleiras e desaparecimento de algumas ilhas, ou seja, fenômenos que são naturais mas que deveriam ocorrer em milhões de anos,

ocorrem em um período muito mais curto pela ação do homem na superfície terrestre, principalmente com a queima de combustíveis (CARDOSO, 2006).

São emitidos cerca de 9 bilhões de toneladas de carbono por ano na atmosfera da Terra e destas, apenas cerca de 6 bilhões conseguem ser absorvidas pela natureza. Graças a esses 3 bilhões restantes que se acumulam na atmosfera, os países começaram a se preocupar com os problemas causados. Foram criados, então, os MDL (Mecanismos de Desenvolvimento Limpo) que são tecnologias projetadas à diminuição das emissões de gases de efeito estufa para a atmosfera. Essas novas tecnologias, permitem que países subdesenvolvidos vendam seus créditos de carbono, ou seja, emitem menos e vendem suas cotas para os países desenvolvidos (CARDOSO, 2006).

## 4.2 MICROALGAS

As microalgas são organismos fotossintéticos, ou seja, providos de clorofila que tem a capacidade de absorver o  $\text{CO}_2$  e liberar o  $\text{O}_2$  para o meio ambiente através do processo de fotossíntese. Consideram-se microalgas as que podem ser observadas com ajuda de lupa ou microscópio com tamanhos que podem ser de até 0,001 milímetros de diâmetro.

Algumas microalgas fazem parte da comunidade fitoplantônica de qualquer região lacustre e são distribuídas tanto vertical quanto horizontalmente na coluna d'água. Em lagos brasileiros uma das principais espécies encontrada são os vários tipos de *Anaeba*. (ESTEVEES, 1998)

Para que as microalgas consigam se reproduzir alguns fatores são essenciais como luminosidade e temperatura além da composição química do meio no qual elas estão inseridas. Essa composição torna-se importante porque disponibiliza os nutrientes necessários à reprodução, alguns deles são: P (Fósforo), N (Nitrogênio), C (Carbono), Ca (Cálcio), Mg (Magnésio). Outro fator importante é a concentração de oxigênio dissolvido, que está diretamente relacionada à temperatura. Quanto maior a temperatura, menor a quantidade de oxigênio dissolvido e, é por isso, que, geralmente, as algas se concentram na faixa chamada de epilíminio que é a camada superior, aeróbica e que recebe a maior incidência de raios solares. É ali que elas encontram um maior equilíbrio para sobrevivência. (ESTEVEES, 1998)

São organismos caracteristicamente fotoautotróficos, ou seja, precisam de luz para seus processos metabólicos. Podem ser unicelulares ou formarem colônias de células, através de filamentos. Sua reprodução pode ser tanto assexuada como sexuada, depende das condições, favoráveis ou não, do meio em que elas estão inseridas. Além desses fatores, as algas são grandes responsáveis pela conversão de CO<sub>2</sub> em carbono orgânico (produtividade primária), e essenciais no ciclo do oxigênio. Estima-se que cerca de 50% do oxigênio liberado para a atmosfera provém do processo de fotossíntese das algas. (KETCHUM, 1988)

As microalgas vêm crescendo no mercado e em estudos biotecnológicos. Suas aplicações atingem vários mercados, assim como está descrito no quadro 1:

| <b>Indústria</b> | <b>Produtos extraídos das microalgas</b>  |
|------------------|---|
| Alimentícia      | Proteínas suplementares.  |
| Agricultura      | Proteínas, vitaminas.   |
| Pigmentos        | Beta-caroteno, xantofilas, ficobilinas.   |
| Química fina     | Glicerol, ácidos graxos, lipídeos, esteróis, ceras, hidrocarbonetos, aminoácidos, polissacarídeos, enzimas, vitamina C e E, outros. |
| Combustíveis     | Óleo diesel, hidrogênio, biogás.  |
| Farmacêuticos    | Hormônios, suplementos alimentares, terapêuticos.   |
| Outros           | Biofertilizantes, tratamento de efluentes.  |

**Quadro 1 – Possíveis Utilizações das microalgas nas indústrias**

**Fonte: Adaptado Becker, (1994)**

#### 4.2.1 Clorófitas ou Algas Verdes

São encontradas em grande número nos ambientes aquáticos, tornando-se, assim, um dos principais componentes do fitoplâncton. São também as principais produtoras de O<sub>2</sub> do planeta a partir do processo de fotossíntese, além de ter a capacidade de armazenar amido como fonte de reserva e possuir os pigmentos de clorofila “a” e “b”, e é por causa desses pigmentos que a teoria de que essas algas são as ancestrais das plantas é sustentada, pois, as plantas têm esses mesmos tipos de pigmentos em sua constituição. (VIDOTTI, ROLLEMBERG, 2004)

Existem cerca de 17.000 espécies desse tipo de alga, e 90% delas vive em água doce (MACEDO, 2002). Na maioria das vezes, as microalgas verdes

conseguem reproduzir-se rapidamente. Pesquisa mostra que a absorção de CO<sub>2</sub> no escuro com posterior iluminação leva apenas 60 segundos, isso mostra a eficiência dessas algas em termos fotossintéticos e de reprodução. (UEHARA, VIDAL, 1989)

#### 4.2.2 Fotossíntese

Através da energia luminosa disponível na Terra os organismos fotossintéticos realizam o processo chamado de fotossíntese. Estes captam a energia luminosa disponível e transformam essa energia em energia química, esta, por sua vez, fica armazenada em compostos orgânicos formados a partir de CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O (Água). (SOUSA, ALMEIDA, 2005)

A equação abaixo apresenta a equação global da fotossíntese:



O processo de fotossíntese pode ser dividido em duas grandes fases, a primeira totalmente dependente de energia luminosa e a segunda independente. Na primeira é onde ocorre a absorção de luz e a transformação desta em energia química, além da liberação de O<sub>2</sub> para a atmosfera através da quebra de uma molécula de H<sub>2</sub>O. Já na segunda, é onde ocorre a fixação do carbono e a formação dos compostos orgânicos.

Em se tratando do desenvolvimento das microalgas, e para a liberação de O<sub>2</sub>, a fotossíntese ocorre, apenas, nas camadas superficiais dos lagos que recebem luz, pois nessas camadas a produção de oxigênio excede a quantidade necessária à respiração das algas. Já nas regiões onde a luz é mais escassa as algas conseguem produzir o que consomem, e isso acaba por dificultar o seu crescimento. (BARSANTI; GUALTIERI, 2005)

#### 4.2.3 Biomassa e Produtividade Primária

Segundo definição de Esteves (1998), biomassa é o peso total de todos os indivíduos de uma população ou comunidade por unidade de área ou de volume num dado tempo. Essa biomassa pode ser calculada em número de indivíduos, pigmentos, peso fresco, carbono orgânico, nitrogênio orgânico e energia em joules e

ATP (Adenosina Trifosfato). Destes métodos para se estimar a biomassa, nos últimos anos, a técnica de pigmentos vem sendo bastante empregada. Ela mede a quantidade de biomassa através da clorofila e dos feopigmentos (feoftina), utilizando-se de instrumentos como espectrofotômetros e fluorímetros.

A produtividade primária pode ser definida como o rendimento da transformação de energia solar em substâncias orgânicas. Existem dois tipos de produtividade primária, a bruta e a líquida. A primeira é o total de energia solar que é convertido em biomassa, já a segunda é a taxa de matéria orgânica que fica armazenada nos tecidos, ou seja, que não é utilizada para nenhum processo natural da microalga e fica como reserva. (AGRAWAL, 1999)

As microalgas têm papel fundamental na produtividade primária de um corpo hídrico. Este é um processo que envolve tanto fatores abióticos como luminosidade, temperatura e nutrientes, como também, fatores bióticos como taxa de reprodução e herbivoria. (ESTEVES, 1998)

#### 4.2.4 Aspectos Limnológicos que Influenciam o Desenvolvimento das Microalgas

São vários os fatores que influenciam na comunidade fitoplantônica de um sistema lacustre, dentre eles os principais são: luz, calor, oxigênio dissolvido, CO<sub>2</sub> e nutrientes. A luz, por exemplo, ocorre com muito mais intensidade nas zonas chamadas eplíminios (camada superior), isso significa dizer que é na camada superior que ocorre a fotossíntese e a liberação de O<sub>2</sub> com maior intensidade.

Segundo Bernardo (1995) em se tratando do calor, aproximadamente 53% da energia radiante que penetra na água fica retida na forma de calor até cerca de um metro de profundidade e, com os ventos, o calor se dissipa por diferentes profundidades.

O oxigênio dissolvido é um fator que depende da quantidade desse gás existente na atmosfera e da temperatura desta. Com temperaturas menores a quantidade de oxigênio dissolvido é maior e vice-versa. O fitoplâncton exerce papel fundamental na quantidade de oxigênio, pois, os processos de respiração e decomposição de matéria orgânica consomem uma parcela grande desse gás, restringindo, muitas vezes, a vida de plâncton no hipolíminio. (ESTEVES, 1998)

O  $\text{CO}_2$  é outro gás que influencia muito as condições limnológicas de um lago. A solubilidade deste é muito grande na água, facilitando sua dissolução, além de ser assimilado pelas algas no processo de fotossíntese. Reagindo com a água o  $\text{CO}_2$  forma ácido carbônico, carbonatos e bicarbonatos, e, essas reações em muitos lagos atua como tampão, mantendo o pH em uma faixa de 6 a 8. (BERNARDO, 1995)

#### 4.3 BACTÉRIAS

As Bactérias, geralmente, são consideradas pelo ser humano como um grupo de microrganismos potencialmente perigosos à saúde e ao bem estar. Porém, muitas delas não causam nenhum tipo de doença e podem ser importantes para várias áreas de estudo, como o meio ambiente.

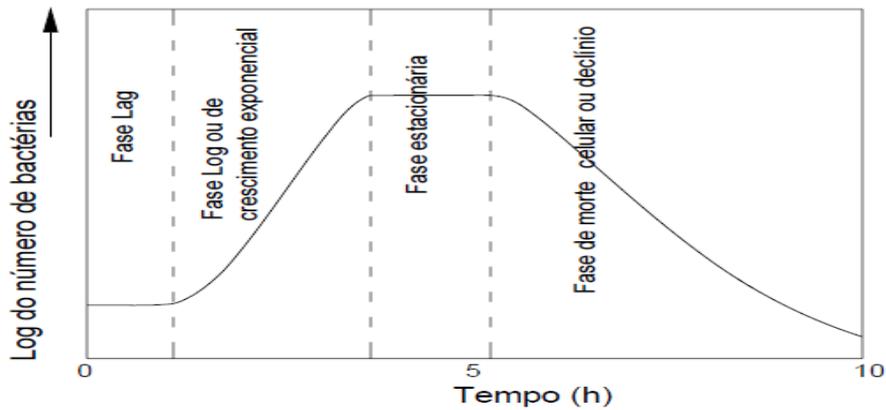
Existem vários tipos de bactérias que podem ser divididos em aeróbicas, anaeróbicas, aeróbicas facultativas e anaeróbicas facultativas. As aeróbias necessitam de  $\text{O}_2$  para o seu desenvolvimento, já as anaeróbicas não.

Elas podem existir em variados lugares no planeta e em condições físicas excelentes ou péssimas, sua capacidade de adaptação às diferentes quantidades de  $\text{O}_2$ , luz, nutrientes, temperatura e acidez ou alcalinidade é impressionante. Além do que são essenciais aos ciclos do carbono e do nitrogênio. (TORTORA, FUNK, CASE, 2005).

Na natureza, porém, é difícil encontrar esse microrganismo, ou qualquer outro vivendo sozinhos, geralmente eles são encontrados vivendo em comunidades com algas, fungos, protozoários e essas comunidades são denominadas biofilmes. Dentro desses biofilmes, as bactérias organizam-se de maneira coordenada e funcional. Um exemplo de biofilme são os flocos formados no tratamento de águas residuárias, dentro deste as bactérias estão protegidas de alguns fatores que podem prejudicá-las e ainda compartilham seus nutrientes.

Seu crescimento é, basicamente, determinado por 4 fases denominadas como: lag, log, estacionária e de declínio. Na fase lag ocorre a adaptação das bactérias o meio em que elas estão inseridas, na log um crescimento abundante destes microrganismos fase de maior disponibilidade de nutrientes, na fase estacionária elas acabam produzindo o que consomem e, por isso, se mantém em um mesmo número e por último, na fase de declínio é quando começam a faltar os

nutrientes necessários ao seu desenvolvimento e elas começam a morrer, diminuindo seu número no ambiente. (TORTORA, FUNK, CASE, 2005) A Figura 1 apresenta essas fases de crescimento bacteriano:



**Figura 1 – Fases do Crescimento Bacteriano**

**Fonte: Tortora, Funk, Case (2005)**

São variados os tipos de tecnologias ecológicas que se utilizam desse tipo de microrganismo para tratar algum tipo de contaminante ou poluente. Algumas delas são o tratamento de águas residuárias a partir de lodos ativados, lagoas de estabilização, o tratamento de gases em biofiltros e biolavadores, a biorremediação de solos contaminados com compostos orgânicos, entre outras.

Estas tecnologias se aproveitam da capacidade dos microrganismos heterotróficos em degradar compostos orgânicos, pois elas precisam de fontes de carbono para seu crescimento e desenvolvimento. Esse tratamento ocorre através de duas reações, basicamente. A primeira delas atua para o crescimento de novas células, reações de síntese, ou seja, unir dois ou mais átomos, e a segunda atua para promover fonte de energia para respiração desses organismos e é chamada de reação de decomposição. (ALVES, 2005)

As reações também podem ser chamadas de anabolismo para a síntese e catabolismo para a degradação. E estas ocorrem através da ação de enzimas. (TORTORA, FUNK, CASE, 2005).

#### 4.4 TECNOLOGIAS PARA TRATAMENTO DE GASES

Existem algumas tecnologias disponíveis, hoje, para o tratamento de gases, das quais as principais são os biofiltros, os biolavadores, a adsorção, os lavadores de gases a oxidação e a condensação, além de outras técnicas ainda emergentes no mercado. Todas estas, apresentam suas vantagens e desvantagens tanto econômicas quanto para o meio ambiente, e, a escolha de qual tecnologia é mais aplicável ao sistema, além dos custos, depende das características químicas do contaminante, das concentrações e de características físicas operacionais como temperatura, vazão e pressão. (WU et al, 2006)

#### 4.4.1 Biofiltração

A biofiltração é uma técnica utilizada para controle de poluentes atmosféricos, tanto COVs quanto CIVs, que vem sendo bastante estudada, pois, comparada com outras técnicas, tem um custo operacional menor e é mais simples de ser empregada. Esse custo operacional menor deve-se ao fato de que a destruição do contaminante ocorre a temperatura ambiente, ou seja, economiza-se energia no processo de degradação. (PARK e JUNG, 2006)

Segundo Soccol *et al* (2003), esta é uma tecnologia que torna-se economicamente competitiva para poluentes com concentração de até 5 g/m<sup>3</sup> (Grama/Metro cúbico). Vazões de até 200 mil m<sup>3</sup>/h (Metro cúbico/hora) podem ser tratadas por biofiltros (VAN GROENESTIJN e HESSELINK, 1993)

Geralmente, esta tecnologia é utilizada para processos que se utilizam de tintas, solventes, combustíveis, ou produtos químicos que possam ser tóxicos ou possuir um forte odor. Além do que, os tipos de poluentes liberados por esses processos contribuem para aumentar o efeito de fenômenos como o smog fotoquímico, a chuva ácida e o efeito estufa. (SOUZA, 2004)

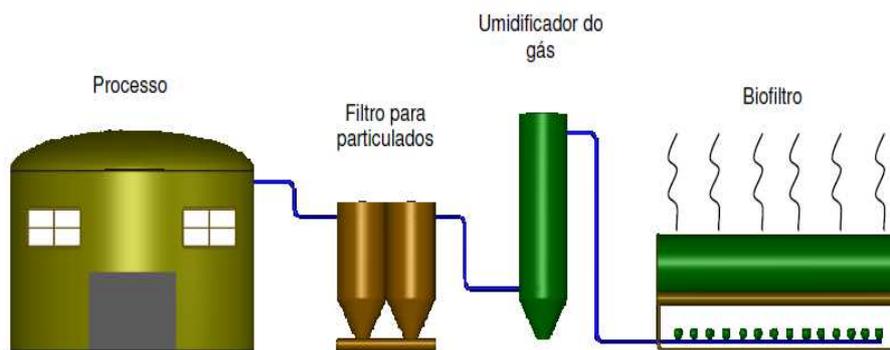
Nos biofiltros, o gás é forçado a passar por um suporte onde os microrganismos formam um biofilme, e é nesse biofilme que o gás é tratado sendo oxidado pelos microrganismos ali presentes. A umidificação desse sistema, fator essencial para o metabolismo do biofilme, é realizada por aspersão de água, ou pela saturação de gás no início do sistema. (SOARES, 2006)

Muitas vezes é necessário adicionar uma quantidade de carbono, nitrogênio e fósforo ao sistema, favorecendo, assim, o crescimento bacteriano. O processo de biofiltração, portanto, é baseado na adsorção dos COVs em meio sólido com

posterior degradação desses compostos por bactérias aeróbicas transformando-os em substâncias mais simples, e menos agressivas ao meio ambiente. (ALVES, 2005)

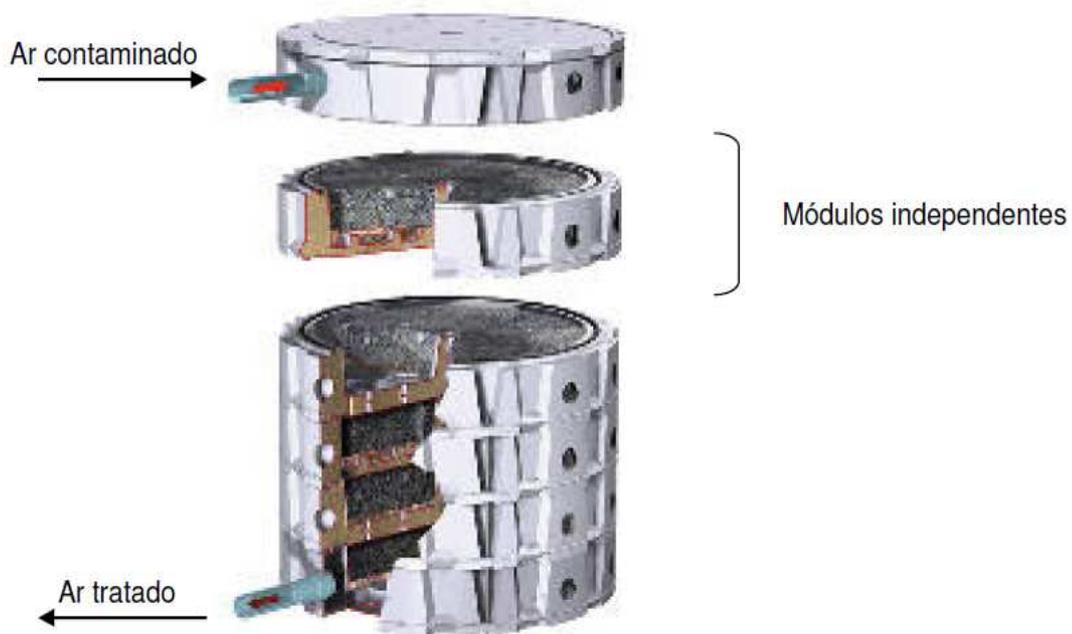
Os biofiltros podem ser tanto abertos quanto fechados. Os abertos são bastante empregados no tratamento de odor dos COVs e são formados, geralmente, por terra ou cascas de árvore. Possuem até um metro de profundidade, porém, como é um sistema aberto, tem como desvantagem depender das condições meteorológicas como a chuva para o seu funcionamento. Já os biofiltros fechados são divididos em módulos e podem trabalhar tanto separados como em série. Esta característica permite ao sistema se adaptar a diferentes concentrações do contaminante e aumentar, assim, a eficiência da remoção dos gases. (SOARES, 2006)

As Figuras 2 e 3 apresentam o esquema dos biofiltros aberto e fechado, respectivamente.



**Figura 2 – Biofiltro Aberto**

Fonte: [www.ambientebrasil.com.br](http://www.ambientebrasil.com.br)



**Figura 3 – Biofiltro Fechado**

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

A biofiltração começou a ser empregada já em 1920, portanto é uma técnica antiga e começou a ser utilizada na comunidade europeia no tratamento de odores da criação de animais. Já para o tratamento de COVs ela começou a ser empregada em 1985, também na comunidade europeia, para o tratamento de gases industriais que em 1997 possuiria cerca de 500 biofiltros instalados e em operação nas indústrias. (IKEMOTO, JENNINGS e SKUBAL, 2006 apud SOARES, 2006)

A aplicação de biofiltros em restaurantes foi realizada por Miao, Zheng e Guo (2005) com uma eficiência de remoção de 95% para fumaça e odores de óleo em uma concentração de  $120 \text{ mg/m}^3$  (miligrama/metro cúbico) e um tempo de residência no biofiltro de 18 segundos.

O custo médio de um biofiltro aberto pode variar de 300 a mil dólares, já de um biofiltro fechado pode variar de 3,8 mil dólares a 5,7 mil dólares, com as despesas podendo aumentar segundo fatores como a biodegradabilidade do composto a ser tratado, a concentração deste, ou falta de espaço próximo ao local de emissão. (CONVERTI e ZILLI, 1999)

#### 4.4.2 Biolavadores

Os biolavadores, também conhecidos como *bioscrubbers*, fazem a transferência do contaminante para o meio líquido através da contra-lavagem e este líquido carregado de contaminantes é encaminhado para bioreatores contendo os microrganismos em solução aquosa com nutrientes e condições favoráveis para o crescimento dos microrganismos degradadores dos contaminantes (KNNES; VEIGA, 2001). A microbiota dos sistemas de biolavação é geralmente constituída por bactérias, fungos, protozoários e invertebrados (SOCCOL *et al*, 2003 apud SOARES, 2006).

È também uma tecnologia que visa o tratamento de odor dos gases contaminantes como os COVs e é um pouco parecida com os biofiltros.

A figura 4 representa um biolavador industrial:



**Figura 4 – Biolavador Industrial**

**Fonte: <http://odor.net/images/Biofilters.pdf>**

Existem ainda como lavadores biológicos para tratar os gases, os filtros biológicos de gotejamento que se diferenciam dos bioscrubbers graças a sua degradação que ocorre na coluna do filtro e na fase líquida que está circulando graças aos microrganismos em suspensão. (MORETTI e MUKHOPADHYAY, 1993 apud ALVES, 2005)

#### 4.4.3 Vantagens e Desvantagens entre as técnicas biotecnológicas para tratamento de gases

As três tecnologias biotecnológicas mais empregadas para o tratamento de gases apresentam tanto suas vantagens como suas desvantagens. Na Figura 5 são apresentadas essas características:

|              | BIOFILTROS  | LAVADORES BIOLÓGICOS DE GASES   | FILTROS BIOLÓGICOS DE GOTEJAMENTO   |
|--------------|---|---|---|
|              | Biomassa imobilizada<br>Fase aquosa estática<br>Um reator   | Biomassa suspensa<br>Fase aquosa móvel<br>Dois reatores   | Biomassa imobilizada<br>Fase aquosa móvel<br>Um reator  |
| VANTAGENS    | Grande área superficial<br>Fácil operação e <i>start-up</i><br>Baixos custos operacionais   | Melhor controle das condições de reação<br>Equipamento compacto<br>Menor perda de carga   | Melhor retenção para microrganismos de crescimento lento  |
| DESvantagens | Condições de controle operacional limitadas<br><br>Adaptação lenta a variações na concentração dos gases<br><br>Grande requerimento de área | Baixa superfície para a transferência de massa<br><br>Desfavorável para microrganismos de crescimento lento<br><br>Necessidade de disposição do excesso de lodo<br><br>Dificuldade nos procedimentos de <i>start-up</i><br><br>Para altas taxas de degradação um suprimento extra de oxigênio pode ser requerido<br><br>Investimento, custos operacionais e de manutenção altos | Baixa superfície para a transferência de massa<br><br>Necessidade de disposição do excesso de lodo<br><br>Dificuldade nos procedimentos de <i>start-up</i><br><br>Custos operacionais altos |

**Figura 5 – Vantagens e Desvantagens das principais tecnologias biológicas para tratamento de gases**

**Fonte: Soccol et al., (2003) apud Soares (2006)**

#### 4.4.4 Lavadores de Gases

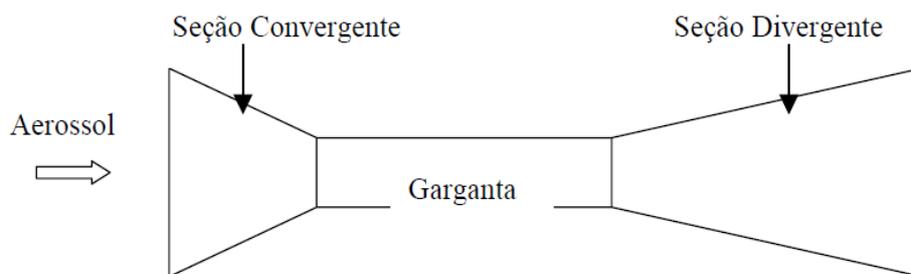
Essa técnica envolve, basicamente, uma contra lavagem para que o gás emitido entre em contato com o líquido e consiga tanto absorver partículas solúveis, quanto remover partículas corrosivas, ou explosivas. Existem vários tipos de lavadores de gases que se diferem por seu princípio de funcionamento, alguns deles são: Lavador Venturi, Lavador Ciclônico, Lavador de Filtro úmido, de bandeja e pratos, de leite empacotado, de leite móvel e spray, e destes um dos mais utilizados é o Venturi. (PILAT, NOLL, 2000)

Nos lavadores Venturi, o gás entra e é acelerado através de uma diminuição no diâmetro do equipamento, e logo após é desacelerado novamente. O líquido de lavagem, geralmente, é inserido na fase acelerada do processo. Formam-se então, gotículas com velocidades menores que a do gás e, após um período de injeção,

essas gotículas atingem concentrações uniformes, diminuindo, assim, a concentração de gás através de diluição. (GONÇALVES, 2000)

Os lavadores de gases em geral apresentam como vantagem, possuir um custo inicial para implantação baixo, opera em altas velocidades do gás, podem remover tanto particulados quanto gasosos, além de poder remover explosivos com segurança. Já como desvantagens pode-se citar que estes lavadores possuem um custo operacional alto devido ao grande gasto de energia para seu funcionamento, pode ter problemas de corrosão, e, a destinação do efluente líquido ainda é um problema após o tratamento. (MEILI, 2006)

A figura 6 representa esquematicamente um lavador Venturi:



**Figura 6 – Lavador Venturi**

**Fonte: MEILI (2006)**

#### 4.4.5 Condensação

Os condensadores trabalham liquefazendo os contaminantes com baixas temperaturas, ou seja, removem os contaminantes da fase gasosa e os passam para fase líquida. Porém, torna-se efetivo para compostos que possuam alto ponto de ebulição, ou seja, para alguns compostos restritos. É por isso que a condensação não é uma técnica considerada das mais eficientes para o tratamento de poluentes atmosféricos. (HUNTER e OYAMA, 2000)

#### 4.4.6 Adsorção

A adsorção ocorre quando a fase gás de contaminante acopla-se a um adsorvente sólido. É um método bastante utilizado quando: o poluente pode ter valor

se recuperado, a concentração deste é pequena, para gases radioativos por não poder ser oxidado ou quando o ar contaminado encontra-se em espaço confinado. Esse material adsorvente pode ser tanto o carvão ativado quanto qualquer outro que possua alta porosidade e retenha os contaminantes através de forças intermoleculares.

Esta técnica apresenta algumas vantagens em relação às outras como, por exemplo, poder recuperar o poluente e reutilizá-lo, essa vantagem é importante quando se trata de um solvente muito caro. A eficiência de remoção desta técnica de remoção pode chegar a cerca de 99%. (MARTINS, 2004)

#### 4.4.7 Oxidação

Nos processos de oxidação pode-se utilizar a luz ultravioleta para degradar os compostos orgânicos reproduzindo o mesmo processo que ocorre na atmosfera. O Comprimento de onda da luz depende do tipo de COV a ser degradado. Em um sistema de oxidação por ultravioleta encontra-se, primeiro, um filtro para remoção de partículas e logo após o gás é encaminhado a uma câmara onde a reação vai ocorrer.

Como processo de oxidação também existe a tecnologia por oxidação fotocatalítica que possui como principal diferença possuir um catalisador para a reação.

Existe ainda a oxidação catalítica com ozônio que vêm sendo amplamente melhorada e mais comercializada nos últimos tempos, esta pode ser utilizada com altas ou baixas concentrações de COVs para grandes vazões de gás. (HUNTER e OYAMA, 2000)

## 5 MATERIAIS E METODOS

### 5.1 MATERIAIS

Para a realização do trabalho foi utilizada como matéria prima uma cultura mista de bactérias e microalgas coletada no lago do Passeio Público em Curitiba – PR, estas foram coletadas através de uma rede de plâncton com modelo seguido pela CETESB (Companhia Estadual de Tecnologia e Saneamento).

Para coleta da emissão gasosa foram utilizados dois cilindros de gás de cozinha e uma bomba de compressão com vazão de 19 L/min (Litros/Minuto), além de um condensador construído em laboratório para caracterização da fração orgânica da fumaça.

Em Laboratório, foram utilizados materiais como Erlenmeyers para cultivo dos microrganismos, e outros como phgmetro e filtro para as análises propriamente ditas. Foram também utilizadas bombas de aquário para aeração constante dos cultivos e controladores de vazão construídos também em laboratório pelo princípio de Bernoulli. Para a análise das microalgas ainda foi utilizada uma centrífuga e um espectrofotômetro para medir a absorbância das amostras.

### 5.2 COLETA DAS MICROALGAS

O lago do Passeio Público, localizado na região central de Curitiba – PR e com uma eutrofização freqüente, foi o local escolhido para a coleta de microrganismos.

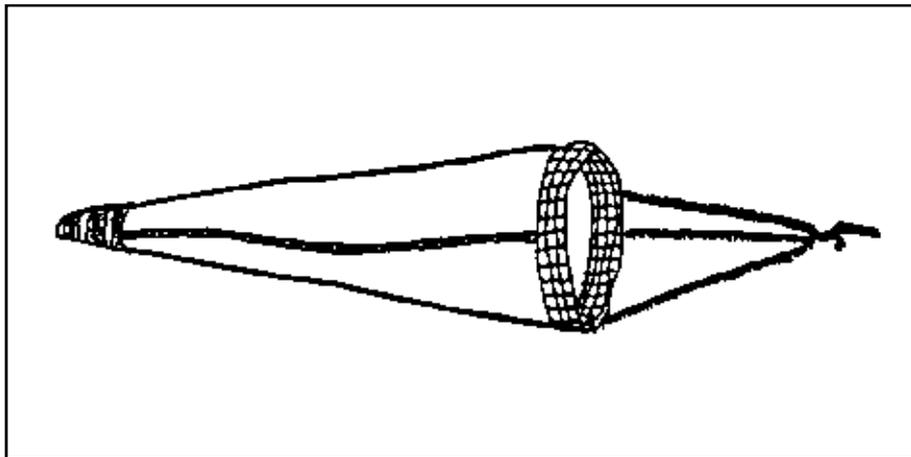
A coleta foi realizada com uma rede de plâncton de malha de 60  $\mu\text{m}$  (micrometros), de diâmetro de boca de 38 cm (centímetros) e comprimento 100 cm, da marca sulpesca, através do arraste horizontal na superfície do lago, de forma a deixar metade do diâmetro da rede imersa no lago. Desta forma, pode-se concentrar o maior número de microalgas e bactérias em um menor volume de líquido do próprio lago. O material coletado foi acondicionado em garrafas PET (Polietileno Tereftalato) de dois litros, transparente.

Logo após a coleta, a amostra foi encaminhada para laboratório para que as células não sofressem estresse devido ao confinamento em ambiente inadequado à sobrevivência. Foram observadas as condições de pH e temperatura, através de

pHgâmetro, que as amostras apresentavam ao chegar no laboratório e também o estado fisiológico de suas células com auxílio de microscópio ótico.

Foram realizadas 4 coletas, uma por mês, de Outubro de 2010 à Janeiro de 2011.

A figura 7 representa o modelo da rede de plâncton utilizada.



**Figura 7 – Modelo de Rede de Plâncton**

**Fonte: CETESB (1991)**

### 5.3 COLETA E CARACTERIZAÇÃO DA EMISSÃO GASOSA

A emissão gasosa para tratamento foi fornecida por uma churrascaria, localizada na região central de Curitiba – PR.

O gás foi acondicionado em dois cilindros de GLP (Gás Liquefeito de Petróleo) previamente higienizados com ar atmosférico através de uma bomba que injetava o ar por pressão. As coletas de gás foram realizadas todas as terças e sextas feiras por um período de um mês. O sistema ficava sem a injeção de fumaça, nas segundas feiras, reproduzindo o que ocorre na churrascaria, pois neste dia da semana, não há expediente e, conseqüentemente, não há emissão atmosférica.

Essa coleta, além dos cilindros de GLP, também necessitou de uma bomba de compressão que trabalha em uma vazão de 19 L/min, comprimindo cerca de 7 bar de gás em cada cilindro. Cada cilindro fornecia amostra gasosa para cerca de 1,5 dia, considerando a injeção de gás no bioreator duas vezes ao dia, cada cilindro durava 3 períodos.

Para a caracterização da emissão gasosa quanto aos constituintes orgânicos e inorgânicos, foram solicitadas análises dos laboratórios de Química Ambiental do TECPAR (Instituto de Tecnologia do Paraná) e da empresa SENAI (Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial), respectivamente.

Para a análise da fração orgânica, foi necessária a coleta de um condensado do gás, cerca de 20 mL (mililitros), através de um condensador confeccionado em laboratório, para concentrar as moléculas orgânicas em uma pequena parte de líquido. Após pré-tratamento necessário para a retirada de materiais particulados, o líquido foi injetado em um cromatógrafo líquido de alta eficiência da marca *Agilent 1100 Series*, acoplado a espectrômetro de massas triploquadrupolar API 4000<sup>TM</sup> e os resultados obtidos foram fornecidos em cromatogramas, analisados juntamente com a biblioteca de dados no laboratório.

A análise da fração inorgânica foi de total responsabilidade da empresa SENAI, desde a coleta até o fornecimento dos dados.

### 5.3.1 Construção do Condensador e Coleta do Condensado

Para a coleta de condensado e posterior análise em cromatógrafo gasoso foi construído em laboratório um condensador.

Este foi constituído de um tubo de PVC (policloreto de vinila) com abertura nas duas extremidades, uma mola de 1,5 metros de fio de cobre 60 mm (milímetros) e gelo e está representado na figura 8.

Na extremidade superior a abertura era maior e possuía uma tampa para facilitar a entrada do gelo no equipamento, já na extremidade inferior a abertura era exatamente o diâmetro de 61 mm para permitir a passagem do fio de cobre.

Na coleta o gás foi succionado pela bomba de compressão até o fio de cobre na extremidade superior, e atravessou o condensador entrando em contato com o gelo sendo coletado cerca de 20 mL na extremidade inferior por um béquer de 50 mL, previamente higienizado.



**Figura 8 – Condensador produzido em laboratório**

**Fonte: O autor**

## 5.4 CULTIVO DO INÓCULO

### 5.4.1 Obtenção do inoculo em escala de bancada

Ao chegar ao laboratório, a amostra com microrganismos foi novamente filtrada com a rede de plânctons para a retirada de detritos. O líquido filtrado, com microalgas, bactérias e outros organismos, foi diluído na proporção de 1:1 em meio de cultivo CHU (quadro 2) (KNIE, LOPES, 2004) e separado em erlenmeyers de 500 mL.

Os erlenmeyers com as misturas foram acondicionados em aparato laboratorial, figura 9, e expostos à luminosidade artificial controlada por interruptor horário com ciclo claro/escuro 17h/7h (KNIE, LOPES, 2004) e aeração constante, fornecida por bombas de aquário.



**Figura 9 – Bioreator em escala laboratorial**

**Fonte: O autor**

Após sete dias, observou-se a adaptação da cultura às condições de diluição, iluminação e aeração impostas. A partir desta cultura adaptada foram realizados repiques sucessivos a fim de promover o escalonamento do inóculo.

O meio de cultivo escolhido para o repique das amostras e para a realização dos experimentos foi o meio CHU, de composição descrita no quadro 2. O meio de cultivo tem a função de fornecer nutrientes para os microrganismos poderem se desenvolver e multiplicar (KNIE, LOPES, 2004)

| Solução | Reagente                            | Fórmula  | Massa.L <sup>-1</sup> |
|---------|-------------------------------------|--|-----------------------|
| 1       | Nitrato de sódio                    | NaNO <sub>3</sub>  | 25 g                  |
| 2       | Cloreto de cálcio di-hidratado      | CaCl <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O   | 2,5 g                 |
| 3       | Sulfato de magnésio hepta-hidratado | MgSO <sub>4</sub> . 7H <sub>2</sub> O  | 7,5 g                 |
| 4       | Fosfato de potássio dibásico        | K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>  | 7,5 g                 |
| 5       | Fosfato de magnésio monobásico      | KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>  | 17,5 g                |
| 6       | Cloreto de sódio                    | NaCl   | 2,5 g                 |
| 7       | Titriplex III                       | C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> N <sub>2</sub> Na <sub>2</sub> O <sub>8</sub> .2H <sub>2</sub> O | 50 g                  |
|         | Hidróxido de potássio               | KOH  | 31 g                  |
| 8       | Sulfato ferroso hepta-hidratado     | FeSO <sub>4</sub> . 7H <sub>2</sub> O  | 4,98 g                |
| 9       | Ácido bórico                        | H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>   | 11,42 g               |
| 10      | Sulfato de zinco hepta-hidratado    | ZnSO <sub>4</sub> . 7H <sub>2</sub> O  | 8,82 mg               |
|         | Cloreto de manganês tetra-hidratado | MnCl <sub>2</sub> . 4H <sub>2</sub> O  | 1,44 mg               |

|  |                                   |  |         |
|--|-----------------------------------|--|---------|
|  | Óxido de molibdênio               | MoO <sub>3</sub>                                       | 0,71 mg |
|  | Sulfato de cobre penta-hidratado  | CuSO <sub>4</sub> . 5H <sub>2</sub> O                  | 1,57 mg |
|  | Nitrato de cobalto hexa-hidratado | Co (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> . 6H <sub>2</sub> O | 0,49 mg |

**Quadro 2 – Soluções preparadas para o Meio CHU;**

**Fonte: Knie, Lopes (2004)**

A partir das soluções indicadas no quadro 2, é preparado o meio CHU, diluindo-se 10 ml das soluções 1 a 6 e 1 ml das soluções 7 a 10 para um litro de água deionizada. Esta solução final é misturada com o inóculo de microalgas em proporções definidas e postas em cultivo (sob aeração e iluminação controladas), a fim de provocar o crescimento da biomassa.

Quando o crescimento em torno de 5 a 7 dias de cultivo de biomassa era atingido, o repique era feito novamente na proporção de 1:1 para manutenção da biomassa ativa.

#### 5.4.2 Iluminação

Durante os cultivos para adaptação e cultivo de biomassa, o reator era mantido, sob iluminação de 12 lâmpadas de 20 W (watts) cada uma fornecendo às culturas uma iluminação de cerca de 4000 a 5000 lux. Essa iluminação foi disponibilizada de acordo com a iluminação presente no telhado da churrascaria em questão, medida com um luxímetro.

Foram medidas as iluminações tanto em dias mais claros como em dias mais escuros e destas foi feita a média de iluminação presente no local. Respeitou-se, também, um ciclo claro/escuro de 17/7h (KNIE, LOPES, 2004).

#### 5.4.3 Temperatura e pH

Tanto a temperatura como o pH das amostras foram medidos diariamente, em peagâmetro Denver Instrument, antes de todos os testes a fim de um controle maior do sistema e de maior quantidade de dados para determinação dos parâmetros iniciais para o projeto piloto.

#### 5.4.4 Aeração

Para a obtenção do inóculo a aeração foi controlada de maneira visual, nem muito forte e nem muito fraca tendo como princípio evitar a morte celular. Caso a aeração fosse insuficiente, poderia ocorrer o acúmulo de oxigênio do meio devido a produção deste pela fotossíntese e provocar a oxidação das células ou ainda, se a amostra apresentar turbidez elevada, a morte pela falta de iluminação, visto que a aeração promove a circulação da amostra em todo o recipiente. Se a aeração for intensa, pode haver o cisalhamento das células.

Já para o experimento, a aeração foi controlada em uma vazão de 25 L/h para a emissão atmosférica, disponibilizada pelo cilindro de GLP, e 20 L/h para o ar atmosférico provindo da bomba de aquário, totalizando uma vazão para cada erlenmeyer de 45 Litros de ar por hora. Essa vazão foi controlada através de um controlador construído em laboratório.

##### 5.4.4.1 Controle da vazão

Para o controle da vazão do experimento foi construído um controlador de acordo com o princípio e equação de Bernoulli. Essa equação tem aplicação importante nos medidores de vazão de tubulações circulares.

O princípio desses medidores é controlar a vazão através de uma restrição imposta ao fluido diminuindo, assim, a pressão deste, que é medida e, aliada ao princípio de conservação de massas fornece uma boa quantificação da vazão. Utiliza-se para esse princípio um manômetro que mede a diferença de pressão através da diferença de altura ( $\Delta H$ ) após a passagem do fluido (ROMA, 2003).

A equação abaixo apresenta o cálculo da vazão teórica pela equação de Bernoulli:

$$Q = cte \text{ RAIZ } (\Delta H) \quad (2)$$

Em laboratório, o controlador foi construído tanto para o ar atmosférico com quatro controladores como para a emissão atmosférica com três controladores.

Para sua construção foram utilizados 2 apoios de madeira para fixação, 16 tubos em T de latão para conectar válvula, manômetro e pipeta, 10 metros de

silicone para conexões, 4 válvulas de plástico e três válvulas agulhas para abrir e fechar, 4 pipetas de 1 mL para restringir a passagem do fluido, papel milimetrado para medir a diferença de altura, e silicone para evitar qualquer tipo de vazamento de gás.

Após a construção foram medidas 10 vazões em 10 tempos diferentes e após, os dados foram plotados em um gráfico para calcular a vazão teórica e quantos centímetros seriam necessários de diferença para obter-se a vazão desejada de 20 e 25 L/h.

A Figura 10 apresenta o controlador de vazão construído já no experimento:



**Figura 10 - Controlador de vazão em funcionamento**

**Fonte: O autor**

Após a vazão inicial definida em 45 L/h, foi necessária a construção de um equipamento que conseguisse controlar essa vazão. Para o cálculo destes pontos foi utilizada uma técnica simples e direta de contagem de bolhas que consistiu em borbulhar determinado volume de ar (bomba de aquário) que consumisse 150 mL de água acondicionada em uma proveta em determinado tempo. As alturas eram definidas no papel milimetrado e os dados de alturas e vazões encontradas são apresentados na tabela 4:

**Tabela 2 – Dados para o controle da vazão**

|    | <i>Vazão (mL/s)</i> | <i>Vazão (L/h)</i> | <i>Altura (cm)</i> | <i>RaizAltura (cm)</i> |
|----|---------------------|--------------------|--------------------|------------------------|
| 1  | 1.56641604          | 5.63909774         | 1                  | 1                      |
| 2  | 2.500833611         | 9.003001           | 2                  | 1.414213562            |
| 3  | 2.771106595         | 9.97598374         | 3                  | 1.732050808            |
| 4  | 4.721435316         | 16.9971671         | 4.3                | 2.073644135            |
| 5  | 5.592841163         | 20.1342282         | 5                  | 2.236067977            |
| 6  | 6.313131313         | 22.7272727         | 5.9                | 2.42899156             |
| 7  | 7.342143906         | 26.4317181         | 7                  | 2.645751311            |
| 8  | 8.547008547         | 30.7692308         | 8                  | 2.828427125            |
| 9  | 9.900990099         | 35.6435644         | 9                  | 3                      |
| 10 | 10.71428571         | 38.5714286         | 10                 | 3.16227766             |

#### 5.4.5 Cultivo das Amostras de Microrganismos

A partir do inóculo adaptado às condições laboratoriais, começaram a ser realizados os testes propriamente ditos. E para a realização destes foram cultivados 4 erlenmeyers de 500 mL cada com uma proporção de 10% de microrganismos para 90% de meio de cultura (CHU), ou seja, eram retiradas alíquotas de 50 mL de inóculo misturadas com 450 mL de meio CHU para cada erlenmeyer.

Em um dos frascos ocorreu a injeção apenas de ar atmosférico provindo da bomba de aquário, os outros três recebiam a injeção da mistura tanto de ar da bomba como da fumaça da churrascaria, com este último sendo injetado em horários controlados de acordo com a demanda da churrascaria, ou seja, 2 vezes ao dia a primeira das 11:30 da manhã às 14:00 horas e a segunda das 19:00 às 21:30. As injeções eram controladas por interruptor horário.

Os cultivos ocorreram durante 1 mês ininterrupto sendo que foram cultivados em 3 bateladas, a primeira e a segunda de 1 semana, e a terceira de 2 semanas, esta última ocorreu a fim de se testar um maior tempo para que ocorra a manutenção no projeto piloto.

Ao final de cada batelada 10% dos microrganismos já cultivados era incorporada à nova batelada e a outra parte era descartada. As bateladas tiveram início sempre às sextas feiras e término as quintas, completando-se assim, 7 dias de cultivo, com a última completando 14 dias.

#### 5.4.5.1 Avaliação do Crescimento Microalgal

Como a única variável imposta aos cultivos é a presença/ausência da emissão atmosférica, a avaliação do aproveitamento de CO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub> pelo sistema foi realizada de forma indireta, através da diferença do incremento de biomassa entre as culturas, visto que a disponibilidade de carbono e nitrogênio interferem no crescimento das microalgas. Desta forma, a diferença de biomassa indica o consumo do carbono e nitrogênio presente na emissão atmosférica.

Para estimar a biomassa, foi realizada a estimativa indireta pela clorofila-a, pois, segundo a metodologia proposta no Standard Methods of Examination Of Water and Wastewater (APHA, 2005), a qual generaliza que a clorofila-a constitui aproximadamente 1,5% do peso seco microalgal. Assim, a biomassa total foi estimada multiplicando o valor da clorofila-a por 67, valor este constante na norma para estimar a biomassa (equação 3):

$$\text{Biomassa (mg.L}^{-1}\text{)} = \text{Clorofila-a}(\mu\text{g.L}^{-1}\text{)}.67.0,001 \quad (3)$$

Para quantificar a clorofila-a presente, foi utilizada a metodologia proposta na norma L5.306 (CETESB, 1990), a qual é específica para quantificação de clorofila. Para tornar a avaliação mais precisa, em relação às células vivas, fez-se, também, a mensuração da quantidade de feofitina-a (produto da degradação da clorofila-a) a fim de diferenciar células vivas de células mortas. Esta análise foi realizada uma vez ao dia, durante os 28 dias do experimento, excluindo-se os finais de semana.

A concentração de clorofila-a e de feofitina-a foi determinada através de leituras espectrofotométricas em densidades ópticas 750nm (nanômetros), 664nm e 665nm, respectivamente. A leitura na densidade óptica 750nm é necessária para a

correção da turbidez das amostras; desta forma, subtrai-se o valor desta densidade dos valores lidos nas outras densidades ópticas (664nm e 665nm).

Para fazer o teste, foi necessário separar uma amostra de cultura de 20 mL para posterior filtração (figura 11) em membranas de celulose Millipore de 0,45 $\mu$ m e 47 mm de diâmetro. Este processo foi realizado na ausência de luz por conta da possível fotodegradação da clorofila. O filtrado foi extraído com 10 mL acetona 90% durante 24 h em temperatura 0°C. É importante salientar que as amostras retiradas na proporção de 20 mL eram repostas por meio CHU para manter-se sempre o mesmo volume de 500 mL nos erlenmeyers.



**Figura 11 - Câmara de filtração do experimento**

**Fonte: O autor**

Após essas 24 h em temperatura 0°Celsius, as amostras eram levadas até uma centrífuga Excelsa modelo 206BL e centrifugadas em uma velocidade de 2000 RPM por 30 min, e o sobrenadante era acondicionado em cubeta de vidro para posterior análise óptica.

As leituras ópticas foram realizadas com espectrofotômetro da marca Aguamate, para os três comprimentos de onda sendo que, para a leitura no comprimento de 665nm, foi necessária a acidificação da amostra com duas gotas de ácido clorídrico 0,1N. Os resultados obtidos foram aplicados em equações (4 e 5) que convertem os valores para  $\mu$ g/L, que podem ser estimados para o volume total do sistema. As amostragens de clorofila-a e feofitina-a, foram realizadas diariamente de sexta à quinta feira, excluindo-se os finais de semana.

$$\text{Clorofila - a } (\mu\text{g/L}) = 26,73 (D_{664} - D_{665}) \cdot (v) / V \cdot L \quad (4)$$

$$\text{Feofitina - a } (\mu\text{g/L}) = 26,73 (1,7D_{665} - D_{664}) \cdot (v) / V \cdot L \quad (5)$$

Em que:

V = volume, em litros, de amostra filtrada para extração.

v = volume, em mL, da acetona 90% usada.

L = caminho óptico, em cm, da cubeta espectrofotométrica.

D<sub>664</sub> = densidade óptica a 664 nm com turbidez corrigida.

D<sub>665</sub> = densidade óptica a 665 nm com turbidez corrigida e acidificada.

#### 5.4.5.2 Avaliação da depuração do odor da emissão atmosférica

O teste para avaliar a depuração do odor, foi realizado para comprovar a eficácia do bioreator em relação a essa variável e para auxiliar no estabelecimento da vazão inicial do projeto piloto.

O teste, em laboratório, foi realizado baseando-se na norma do *Standard Methods for examination of water and wastewater* - 20th edition sobre odor (2150).

Para determinação da vazão inicial de fumaça injetada no sistema foram feitos padrões de concentração para comparar gradativamente a percepção do odor pelos técnicos. Foram acondicionados em 7 frascos âmbar 1 litro de água deionizada para cada um, e nestes, através de uma bomba de compressão com vazão controlada de 2 L/min, foram injetados volumes diferentes da emissão com 7 concentrações diferentes, foram elas: 0 vvh, 15 vvh, 30 vvh, 45 vvh, 60 vvh, 75 vvh e 90 vvh, com vvh sendo volume de gás por volume de água por hora. Portanto para essa bomba de 2 L/min, foram determinados tempos de borbulhamento de gás como descrito no quadro 3:

| Amostra | VVH | Tempo (s) |
|---------|-----|-----------|
| 1       | 0   | 0         |
| 2       | 15  | 8         |
| 3       | 30  | 15        |
| 4       | 45  | 23        |

|   |    |    |
|---|----|----|
| 5 | 60 | 30 |
| 6 | 75 | 38 |
| 7 | 90 | 45 |

**Quadro 3: tempo de borbulhamento de gás**

**Fonte: O autor**

Esses frascos com a fumaça borbulhada foram encaminhados ao laboratório e as análises com os técnicos foram realizadas para determinar a vazão inicial de fumaça a ser injetada no sistema. Determinou-se, assim, uma vazão inicial de 25 L/h para fumaça. E de 20 L/h para o ar atmosférico.

Em todos os dias de cultivo, excluindo-se os finais de semana, 5 técnicos da equipe do laboratório de divisão de tecnologias sociais do TECPAR, direcionavam-se até o laboratório e faziam o teste de odor nos 4 erlenmeyers cultivados. O frasco com ar atmosférico serviu como o branco, e os outros 3 para o teste em triplicata. As respostas eram direcionadas a sim e não, com alguma observação imposta por eles. É importante dizer que os testes eram realizados sempre às 11h30min da manhã, antes do almoço como a norma do *Standard Methods* recomenda.

#### 5.4.5.3 Avaliação do Crescimento de Bactérias e Fungos

A fim de avaliar a relação entre as bactérias e a depuração do odor no sistema, foram realizados plaqueamentos do estado inicial e final dos cultivos de microrganismos em cada batelada. Desta forma, tentou-se relacionar a influência da emissão gasosa no crescimento bacteriano do sistema biológico.

Para a coleta das amostras a serem levadas ao laboratório de microbiologia, todas as sextas (início do experimento) e quintas (final do experimento), alíquotas de 30 mL eram retiradas através de uma seringa previamente higienizada e colocadas em frascos de coleta esterilizados e cedidos pelo laboratório. As amostras eram então fechadas e identificadas como Cultivo Branco, Cultivo 01, Cultivo 02, Cultivo 03, e encaminhadas ao laboratório para análise no mesmo dia tanto de bactérias como de bolores e leveduras.

Para a contagem de Bactérias Heterotróficas foi usada a técnica “pour plate” em Agar PCA segundo a instrução de ensaio IE LAMT 013, do Laboratório de Microbiologia e Toxicologia do TECPAR. Esta metodologia segue-se inoculando 1 ml

da amostra, diluída ou não, na placa de Petri previamente esterilizada e a adição do meio de cultura seguindo as recomendações necessárias. Após a homogeneização do meio de cultura com a amostra, o material é incubado a 36°C durante 48 horas.

Já para a contagem de Bolores e Leveduras foi utilizada a técnica de “spread plate” que consiste em inocular, também, 1 mL de amostra já no meio de cultura produzido e apenas raspá-la, espalhando-a, assim, por toda a placa de Petri. Após o espalhamento, o material é incubado, também a 36°C durante 48 horas.

Após a incubação, foi realizada a contagem das amostras, com o auxílio de um contador de colônias. Os resultados foram expressos em Unidades Formadoras de Colônias por mililitro (UFC/mL). Tanto as análises de bactérias heterotróficas como as de bolores e leveduras foram realizadas pelo Laboratório de Microbiologia e Toxicologia do TECPAR.

#### 5.4.6 Determinação dos Parâmetros Iniciais Para o Projeto Piloto

A partir dos resultados obtidos nos testes laboratoriais, o projeto piloto começou a ser dimensionado partindo-se de dois reatores de capacidade útil de 500 litros. Assim, o sistema de aeração, proporção microalgas/meio de cultura, controle de temperatura, pH e iluminação foi determinado pelo sucesso da etapa laboratorial, buscando-se reproduzir em escala real o que foi trabalhado em laboratório.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 CARACTERIZAÇÃO DA EMISSÃO ATMOSFÉRICA

#### 6.1.1 Caracterização Orgânica

Através de um cromatograma (ANEXO A), foram determinados os principais constituintes da fração orgânica da fumaça. Estes, apareceram em 9 picos principais representando os componentes do condensado. É importante salientar que os resultados do cromatograma são apresentados no anexo por não ser possível reduzi-lo e colocá-lo no corpo do trabalho, se isso fosse feito o cromatograma tornar-se-ia ilegível.

Para o pico número 1, tem-se como principais componentes os compostos, nitroisometano, etanol, 2-etoximetilamina, propanol, ácido fórmico e butanona.

Para o pico número 2, têm-se os compostos, ciclohexeno e tioetilciclano, este último baseado em enxofre.

Já para o pico número 3, observam-se a presença de alguns hidrocarbonetos, e alguns alcoóis como 4-metil-ciclohexanol.

Para o pico de concentração número 4, 5 e 6, 7 observam-se a presença de aldeídos na composição do condensado. Para o pico 4 incluem-se as variáveis do composto hexanal. Para o 5, as do heptanal, para o 6 as variáveis dos compostos octanal, e por fim, para o 7 as do composto nonanal.

E, por último, divididos em dois picos, aparecem os HCs, hidrocarbonetos com mais de 10 carbonos, como, por exemplo, o 1-pentadeceno.

Alguns picos apresentados que podem ser considerados como interferências na análise. Esta interferência pode ter ocorrido tanto por algum problema contaminação do cromatógrafo, como alguma fuligem ou algum interferente presente na fumaça condensada.

Percebe-se, portanto, após análise orgânica, a presença maciça dos compostos de aldeído. Há ainda em menor escala compostos como butanona, 2-etoximetilamina, ácido fórmico, e tioetilciclano. Todos estes podem estar contribuindo diretamente para o odor encontrado na fumaça, porém, pela concentração encontrada, os aldeídos, nesse caso, são os maiores responsáveis pelo odor provindo da chaminé da churrasqueira em questão.

### 6.1.2 Caracterização Inorgânica

Os dados sobre a caracterização inorgânica (gases) da emissão atmosférica são apresentados na tabela 3:

| <b>Gases</b>                         | <b>Concentração</b> |
|--------------------------------------|---------------------|
| O <sub>2</sub> (%)                   | 19,7 %              |
| CO (mg/m <sup>3</sup> )              | 1669,1              |
| CO <sub>2</sub> (%)                  | 0,6 %               |
| NO (mg/m <sup>3</sup> )              | 6,9                 |
| NO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> ) | 3,9                 |
| NO <sub>x</sub> (mg/m <sup>3</sup> ) | 10,9                |
| SO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> ) | 0,0                 |

Alguns outros dados importantes, apresentados nos resultados da empresa SENAI, são apresentados na tabela 4:

| <b>Parâmetro</b>                            | <b>Resultado</b> |
|---|------------------|
| Material Particulado (mg/m <sup>3</sup> )   | 51,23            |
| Vazão de gás da chaminé (m <sup>3</sup> /h) | 1292,00          |
| Temperatura de Combustão (C)                | 97,8             |
| Velocidade (m/s)                            | 2,9              |
| Umidade (%)                                 | 5,4              |
| Tipo de Combustível                         | Carvão           |
| Consumo de combustível diário (kg)          | 100 a 150        |

Todos os valores das tabelas estão corrigidos tendo como base o O<sub>2</sub>.

Após realização dos testes da fração inorgânica da fumaça, foi possível observar uma grande concentração de CO na emissão. Isso se deve à queima incompleta do combustível (carvão) na churrasqueira.

Outros dois gases encontrados foram os NO<sub>x</sub>, na forma de NO e NO<sub>2</sub>, em uma concentração bem abaixo da encontrada para o CO, apresentando-se em 10,9 mg/m<sup>3</sup> de gás. Considerando que a vazão da chaminé é de 1292 m<sup>3</sup>/h em uma hora serão desprendidos à atmosfera 14,82 gramas de NO<sub>x</sub>. Já para o CO, serão desprendidas 2195,2 gramas, um valor extremamente elevado.

Para o trabalho desenvolvido, o que realmente interessou foram os valores de NOx e CO<sub>2</sub>, em função do aproveitamento que as algas podem ter utilizando os NOx como nutrientes e o CO<sub>2</sub> para o processo de fotossíntese. Para este último, a concentração na emissão atmosférica não se apresentou tão elevada, porém, e mais uma vez levando em conta a vazão da chaminé, 0,6% de CO<sub>2</sub>, durante o período de um dia de funcionamento, acabaria por se tornar uma concentração elevada na atmosfera. Como mencionado por Rocha, Rosa, Cardoso (2009), comparando-se o tempo de residência na atmosfera para os três gases encontrados, exceto o oxigênio, a concentração de CO<sub>2</sub> e CO na emissão, poderia até se equivaler, pois, o CO<sub>2</sub> possui um tempo de residência de 4 anos, já o CO de 0,1 ano, isto permite dizer que a concentração de CO<sub>2</sub>, considerando a vazão e o tempo de residência deste gás na atmosfera, apesar de ser baixa em porcentagem, torna-se elevada e em níveis preocupantes analisando-se um período maior de tempo.

Os NOx, que possuem um tempo de residência de um dia, e uma concentração também mais baixa, foram considerados no trabalho para o aproveitamento pelas microalgas, apenas como nutrientes.

Níveis de SO<sub>2</sub> não foram encontrados nos resultados apresentados pela empresa SENAI.

## 6.2 VAZÃO

Após os testes realizados em laboratório, e para o odor, verificou-se que a vazão inicial do experimento seria de 25 L/h de ar atmosférico e 20 L/h de fumaça, exceto para o cultivo do branco, que, como não possuía fumaça injetada em sua composição, obedeceu a uma média calculada para que sua vazão diária de ar atmosférico fosse equivalente a dos outros cultivos.

O Resultado do teste de odor é apresentado no quadro 4:

| <b>Técnico/<br/>Amostra</b> | <b>1 – 0</b> | <b>2 – 15</b> | <b>3 - 30</b> | <b>4 - 45</b> | <b>5 – 60</b> | <b>6 - 75</b> | <b>7 – 90</b> |
|-----------------------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| <b>Gabriel</b>              | -            | -             | +             | +             | +             | +             | +             |
| <b>Thiago</b>               | -            | -             | +             | +             | +             | +             | +             |
| <b>Kelen</b>                | -            | -             | -             | +             | +             | +             | +             |
| <b>Camilla</b>              | -            | -             | -             | +             | +             | +             | +             |
| <b>Sakuma</b>               | -            | -             | -             | +             | +             | +             | +             |
| <b>Aline</b>                | -            | -             | -             | +             | +             | +             | +             |
| <b>Rafaela</b>              | -            | -             | -             | +             | +             | +             | +             |
| <b>Akira</b>                | -            | -             | +             | +             | +             | +             | +             |
| <b>Roberta</b>              | -            | -             | -             | +             | +             | +             | +             |
| <b>Marcelo</b>              | -            | -             | -             | +             | +             | +             | +             |

**Quadro 4: Resultados para odor na água**

Os símbolos (-) representam a não percepção de odor, e os símbolos (+) a percepção deste.

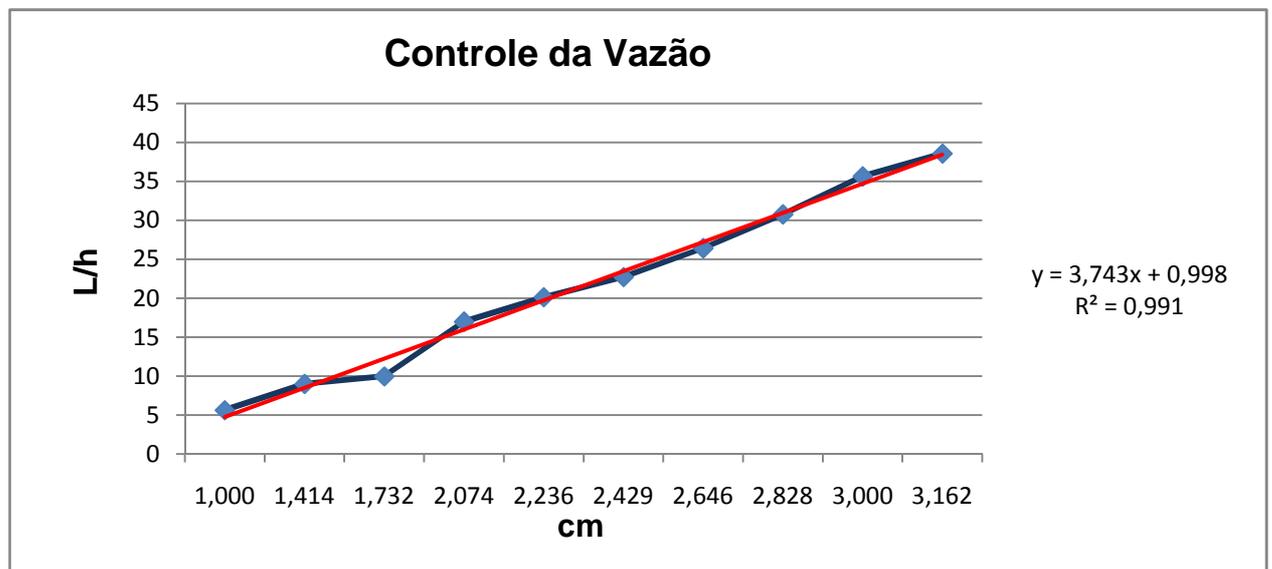
Analisando-se os dados apresentados na tabela, percebe-se que 3 dos técnicos participantes da análise, sentiram cheiro de fumaça com uma vazão de 30 L/h, e,

apesar da maioria não ter sentido, foi a partir daí que a vazão de emissão foi controlada utilizando-se um meio termo de 25 L/h. A vazão total do experimento foi, portanto, de 25 L/h para a emissão atmosférica e 20 L/h de ar atmosférico. Esta vazão foi considerada, segundo a percepção de todos os técnicos para 45 L/h.

Para o branco, portanto, a vazão foi constante e de 25,2 L/h. Esta vazão é considerada pelas 5 horas por dia em que são injetadas fumaça nos outros 3 cultivos. Assim, são injetadas em todos os cultivos e no branco 605 litros de ar/emissão por dia.

### 6.2.1 Controle da Vazão

Com os dados da Tabela 2, foi gerado o gráfico 1, abaixo, sendo o eixo x a raiz da altura em centímetros, e o eixo y a vazão em litros por hora. Com este, foi possível a determinação de quantos centímetros seriam necessários de diferença no controlador de vazão para obter-se as vazões estipuladas.



----- Vazão

----- Linha de Tendência

**Gráfico 1 – Vazão x Raiz Quadrada da Altura**

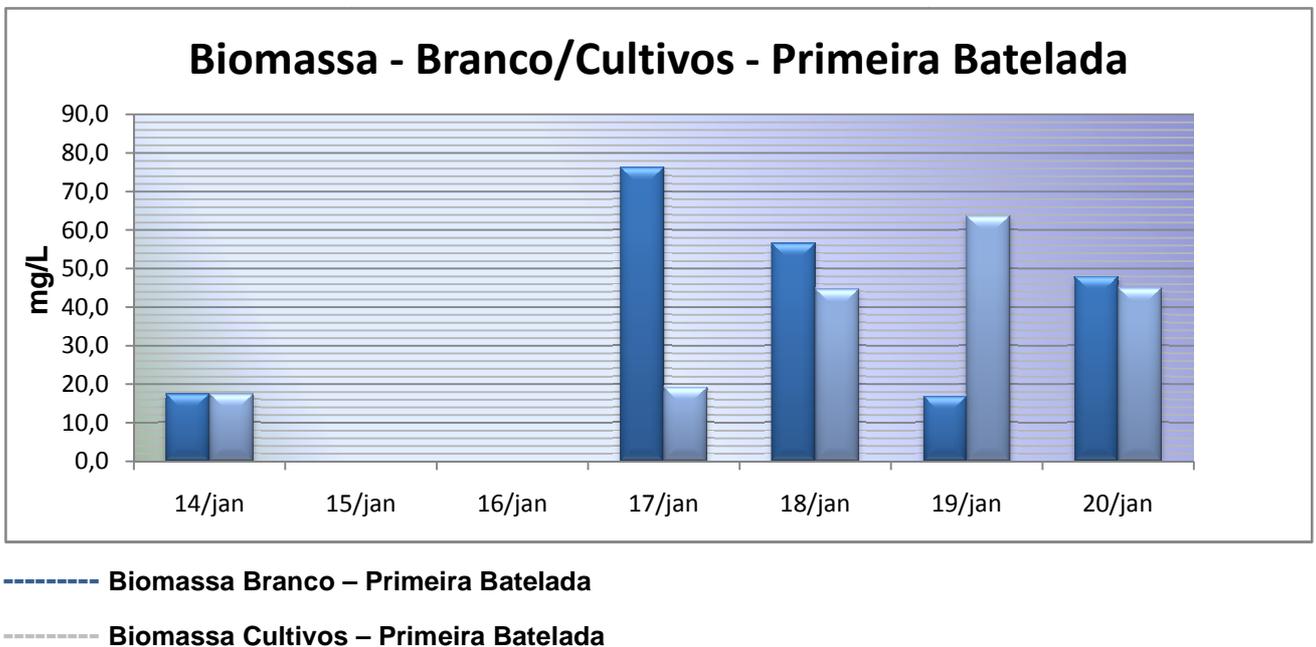
A partir do gráfico a equação para o cálculo da vazão apresentou-se como  $y = 3,7439x + 0,998$ . Portanto, para uma vazão de 20 L/h, foi necessária uma diferença

de altura de 5,07 centímetros, já para a vazão de 25 L/h, uma diferença de altura de 6,41 centímetros foi equacionada.

### 6.3 AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO MICROALGAL

Após as bateladas de cultivo os resultados foram plotados e analisados nos gráficos 2, 3 e 4.

#### 1° Batelada:



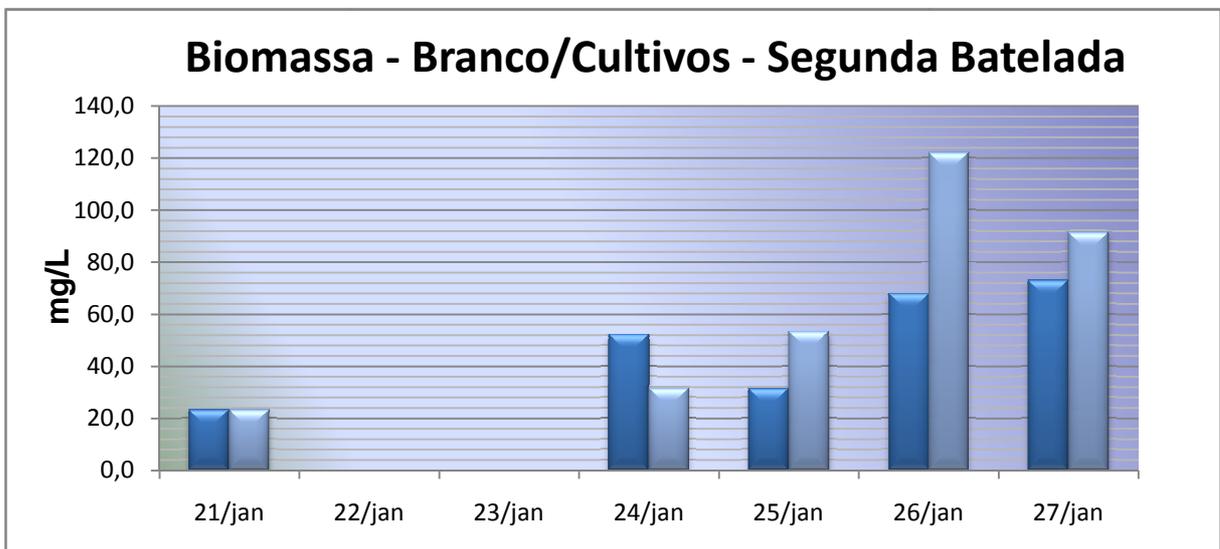
**Gráfico 2 – Biomassa x Dias de Análise - 1° Batelada**

Analisando o gráfico da primeira batelada (gráfico 2), tanto para o branco como para os cultivos, verifica-se um pico de biomassa, em valores, maior para o branco do que para os cultivos. Para o branco o crescimento máximo chegou em torno de 76 mg/L enquanto que para os cultivos chegou a 64 +/- 8 mg/L. Sendo assim, esta primeira batelada não demonstrou grande aproveitamento de CO<sub>2</sub> provindo da fumaça da churrasqueira. Isto pode ser devido a uma fase de adaptação das microalgas às condições e constituintes da fumaça. Nesta primeira batelada, e com essa fase de adaptação, os níveis de feofitina para os cultivos apresentaram-se bem maiores em relação aos apresentados pela amostra do branco, a primeira com valores que chegaram a 2.457 µg/L, e o segundo com valores que não

ultrapassaram 1.203  $\mu\text{g/L}$ . Ou seja, a quantidade de células mortas nos cultivos era bem maior, diminuindo, assim, os valores de biomassa.

Como não havia sido injetado em nenhum momento antes dos cultivos a fumaça no inóculo, os constituintes da emissão podem ter agido de maneira tóxica nas microalgas, impedindo um maior crescimento e aumentando sua mortalidade. Mesmo assim, o odor nesta primeira batelada foi pouco sentido pelos técnicos, pois, mesmo sem um grande crescimento microalgal o número de bactérias manteve-se estável.

## 2° Batelada:



----- Biomassa Branco – Segunda Batelada

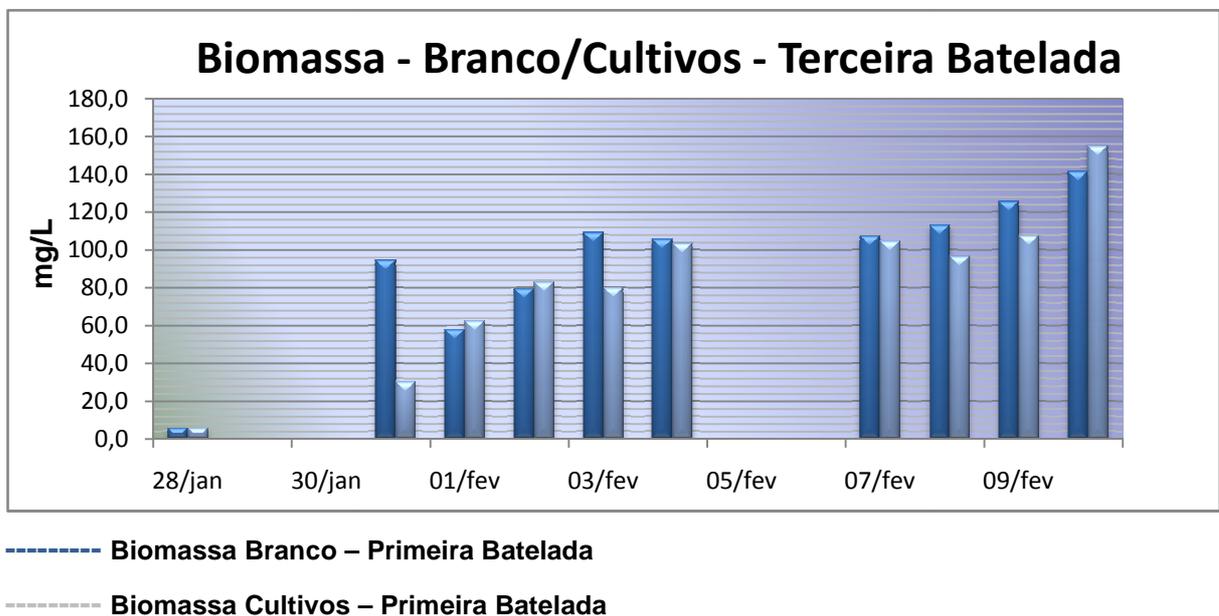
----- Biomassa Cultivos – Segunda Batelada

**Gráfico 3 – Biomassa x Dias de Análise - 2° Batelada**

Para a segunda semana de cultivos (gráfico 3), observou-se um pico de crescimento bem maior para os cultivos com fumaça. Este chegou a 122 +/- 12 mg/L enquanto que para o branco os valores não ultrapassaram 73 mg/L de biomassa. E, além disso, ao longo dos dias a biomassa nos cultivos se manteve maior do que no branco com valores no sétimo dia de cultivo que ficaram em torno de 91 mg/L, enquanto que para o branco o valor foi de 73 mg/L, ou seja, comparando-se o pico máximo do branco, dois valores nos cultivos com fumaça apresentaram-se maiores. Isso mostra um melhor aproveitamento do  $\text{CO}_2$  dos cultivos já melhor adaptados às condições da fumaça. Essa melhor adaptação deve-se ao fato de que no inóculo da

segunda batelada já havia uma proporção de algas adaptadas ao cultivo com fumaça, pois, ao final de cada batelada, uma parte dos cultivos era misturada ao inoculo a fim de se obter uma cultura adaptada às condições impostas. Para a segunda semana de análises os níveis de feofitina apresentaram-se bem mais baixos em relação à primeira batelada. Para os cultivos, os valores não ultrapassaram 1.622  $\mu\text{g/L}$ , enquanto que para o branco os valores aumentaram, chegando a 1.891  $\mu\text{g/L}$ .

### 3° Batelada:



**Gráfico 4 – Biomassa x Dias de análise - 3° Batelada**

Para a terceira batelada (gráfico 4), foram analisados 10 dias e, assim como na segunda, os picos de biomassa apresentaram-se maiores em relação ao branco. O pico máximo de ambos, foi alcançado no 14° dia de cultivo apresentando uma biomassa de 141 mg/L para o branco e de 154 +/- 9 mg/L para os cultivos. Os níveis de feofitina para o branco chegaram a 2.438  $\mu\text{g/L}$ , enquanto que para os cultivos chegou a 2.700  $\mu\text{g/L}$ , porém, no geral os níveis de feofitina dos cultivos se mantiveram menores do que no branco. Isso mostra, novamente, a adaptação dos cultivos em relação à primeira semana de análises.

Para todas as semanas, o primeiro pico de crescimento para o branco foi no 4° dia de cultivo, e para os cultivos com fumaça no 5° dia. Este dado torna-se

relevante para o projeto piloto, pois, quanto maior for o tempo para manutenção, melhor será a viabilidade em termos de custos. O primeiro pico que se apresentou junto foi apenas no 14º dia de cultivo da 3ª batelada.

#### 6.4 AVALIAÇÃO DA DEPURAÇÃO DO ODOR

Para a primeira batelada, ou primeira semana de cultivos, foram realizados testes com 5 pessoas por dia em 5 dias diferentes, ou seja, 25 amostras. Destas 25 amostras apenas em 7 delas foi sentida a presença de odor nos cultivos. Calculando-se em porcentagem, isso dá um total de 28%, ou seja, em 72% dos cultivos não foi sentida a presença de odor.

Para a segunda batelada também, 5 pessoas por dia, totalizando 25 amostras. Destas, também foram em 7 amostras, detectadas a presença de odor, totalizando 28% dos cultivos com cheiro de fumaça.

Já para a terceira batelada, somando-se a 3ª e a 4ª semana de análises, foram totalizadas 50 amostras analisadas, das quais 16 apresentaram odor da fumaça da churrasqueira. Isto em porcentagem representa 32%, ou seja, 68% das amostras analisadas não apresentaram odor.

Para todas as bateladas, o quarto dia de cultivo apresentou-se como sendo o ponto crítico de análise, pois neste foi quando a maioria das amostras apresentaram cheiro, 3 das 5 pessoas participantes do teste sentiram a presença de odor. Isso se deve, provavelmente, à adaptação das bactérias para conseguir degradar os compostos odoríferos constituintes da fumaça.

É importante salientar que nos testes qualquer cheiro por mais imperceptível que fosse era computado como presença de odor. Muitas vezes as pessoas participantes sentiam apenas um desconforto ou um leve cheiro que nem se compara ao real odor emitido pela churrasqueira. Mesmo assim, os dados eram colocados em tabelas como sim e consideradas amostras com presença de odor.

A terceira batelada foi a mais importante para se considerar a avaliação da depuração do odor, pois nesta, o inoculo inicial já estava mais bem adaptado às condições, foram realizados 14 dias de cultivo e conseguiu-se estabelecer um melhor parâmetro para o projeto piloto. A tabela 5 apresenta os resultados obtidos na última batelada de cultivos (3ª e 4ª semanas):

**3º Batelada - 3º e 4º Semanas:**

| <b>Tabela 5 – Teste de odor para última semana de cultivos</b> |                                |                                |
|--|--------------------------------|--------------------------------|
| <b>Data de cultivo</b>   | <b>Nº de amostras com odor</b> | <b>Nº de Amostras sem odor</b> |
| 28/01  | 0                              | 5                              |
| 31/01  | 3                              | 2                              |
| 01/02  | 1                              | 4                              |
| 02/02  | 3                              | 2                              |
| 03/02  | 1                              | 4                              |
| 04/02  | 1                              | 4                              |
| 07/02  | 1                              | 4                              |
| 08/02  | 0                              | 5                              |
| 09/02  | 2                              | 3                              |
| 10/02  | 4                              | 1                              |

Nestas últimas semanas de cultivo, a cultura inicial apresentou-se como todas às outras, com um ponto crítico no 4º dia. Neste, as observações de quem sentiu o cheiro eram de um cheiro forte característico da chaminé. O que se mostrou interessante foi a segunda semana desta última batelada, nela o odor foi sentido nos 6 primeiros dias em apenas 4 amostras, sendo que no 5º dia de cultivos nenhuma amostra se apresentou odorante. Isso mostra uma adaptação das culturas de bactérias à presença de fumaça, facilitando, assim, sua depuração. E, desta última

batelada, foi o 7º dia, 14 de cultivo seguido, que apresentou o ponto crítico, 4 das 5 pessoas sentiram odor característico da churrascaria. Este fato pode ser decorrente de um início de declínio das bactérias, diminuindo a capacidade do sistema de tratar os COVs constituintes da fumaça.

## 6.5 AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO BACTERIANO

Para avaliar o crescimento bacteriano, como já descrito, foram realizados testes de contagem de bactérias heterotróficas e leveduras pelo laboratório de microbiologia do TECPAR. Os testes foram realizados para o primeiro e último dia de cada semana e os resultados são descritos na tabela 6.

| <b>Data de cultivo</b> | <b>Branco (UFC/mL)</b> | <b>Cultivos (UFC/mL)</b> |
|------------------------|------------------------|--------------------------|
| 14/01                  | $4,6 \times 10^4$      | $1,2 \times 10^5$        |
| 20/01                  | $4,6 \times 10^4$      | $1,1 \times 10^5$        |
| 21/01                  | $2,5 \times 10^5$      | $3,0 \times 10^5$        |
| 27/01                  | $5,5 \times 10^4$      | $3,0 \times 10^5$        |
| 28/01                  | $3,3 \times 10^5$      | $3,6 \times 10^5$        |
| 03/02                  | $3,5 \times 10^4$      | $8,0 \times 10^4$        |
| 04/02                  | $7,1 \times 10^4$      | $7,1 \times 10^4$        |
| 10/02                  | $6,7 \times 10^4$      | $3,0 \times 10^4$        |

Como se pode perceber, a diferença entre a quantidade de bactérias tanto na primeira batelada como na segunda, manteve-se praticamente a mesma tanto para o branco como para os cultivos. E aumentou tanto no branco quanto nos cultivos na segunda batelada. Isso mostra que as bactérias também precisam de um tempo de adaptação para chegar ao seu máximo que, nesse caso, foi na penúltima semana de testes chegando a  $3,6 \times 10^5$  UFC/mL.

Pode-se observar também, uma relação direta do crescimento bacteriano com a presença de odor no experimento. Enquanto o número de bactérias se manteve estável, a presença de odor foi sentida por poucas pessoas tanto na primeira batelada como na segunda. Na última, que totalizaram os 10 dias de análises, o odor foi muito sentido no último dia, quando o número de bactérias foi o menor encontrado, ou seja, começou a haver um declínio na presença das bactérias nos cultivos e o seu poder de depuração diminuiu substancialmente.

O número de leveduras se manteve estável entre  $10^1$  e  $10^2$  UFC/mL tanto para o branco quanto para os cultivos em todas as bateladas, não representando grande significância para algo conclusivo das análises.

## 6.6 PROJETO PILOTO

Considerando todos os resultados obtidos nas análises de crescimento microalgal, da depuração do odor e do crescimento bacteriano, o piloto foi projetado, inicialmente, para 2 reatores com volume útil de 500 litros cada um, trabalhando em série, isso ocorreu para facilitar a manutenção do projeto e não pará-lo completamente em nenhum momento. A figura 12 mostra os dois reatores já prontos na churrascaria.



**Figura 12 – Reatores do Projeto Piloto**

**Fonte: O autor**

Estes começarão recebendo uma vazão de  $45 \text{ m}^3/\text{h}$ , que é a mesma testada para o início de sentido de presença de odor na água ( $45 \text{ L/h}$ ) para um volume de 0,5 litros. E esta vazão poderá ser aumentada conforme os resultados de novos testes realizados em campo.

O controle de fatores como o pH, temperatura, da própria vazão, luminosidade e outros fatores importantes para o crescimento microalgal será automatizado tendo seu controle a ser realizado na própria churrascaria com equipamento instalado e um técnico preparado para realizar o monitoramento diário do cultivo. A luminosidade manter-se-á de 4000 a 9000 lux, e a temperatura de 20 a  $27^\circ\text{Celsius}$ , estes foram os valores observados ideais no experimento laboratorial para um bom andamento das análises.

A relação entre microrganismos/meio de cultura será, inicialmente de 10:100, ou seja, os reatores serão constituídos de 50 litros de algas e 450 litros de meio CHU como testado em laboratório.

Em relação à viabilidade econômica o projeto ficou caro, comparado às tecnologias já existentes, porém é bom salientar, novamente, que essas outras tecnologias como biofiltros e biolavadores já são antigas e muitas melhorias nestas já foram estudadas e realizadas. O custo do projeto como um todo até aqui (escala laboratorial e piloto) custou cerca de 50.000 mil reais, comparado a um biofiltro (cerca de 7 mil reais), torna-se ineficaz financeiramente. Porém, tecnologias como os

biofiltros, por exemplo, já têm muitas pesquisas e melhorias desde que este começou a ser produzido, e foram nos últimos anos que ele começou a ser utilizado em escala industrial o que diminuiu, inclusive, seu custo.

Dois dos fatores que tornaram o piloto caro foram sua automatização completa para análises como pH e temperatura e controle de vazão, por exemplo, e o cultivo das microalgas com meio CHU. Percebe-se, portanto, uma complexidade e um controle maior em relação às outras tecnologias biológicas disponíveis já citadas. O meio CHU torna-se um fator limitante de manutenção do projeto, pois este é caro, e pelo resultado laboratorial seria necessária a produção de 900 litros aproximadamente de meio CHU mensais.

Por fim, a manutenção do equipamento, ou seja, a limpeza e início de uma nova batelada serão realizados, inicialmente, de 14 em 14 dias obedecendo ao ciclo do crescimento bacteriano observado, e à depuração do odor. Além do que, foi onde o pico microalgal de crescimento foi alcançado, sendo ideal sua retirada para utilização em outras pesquisas como, por exemplo, a produção de biodiesel.

## 6.7 DIRECIONAMENTO PARA TRABALHOS FUTUROS

É necessário que outras pesquisas sejam realizadas e este trabalho continue sendo feito em busca de possíveis materiais a serem utilizados para a construção do projeto em escala real, materiais estes que viabilizem o projeto economicamente para que este possa competir com as outras tecnologias já existentes no mercado.

Outra necessidade é procurar alternativas à nutrição das algas nos cultivos que não seja o meio CHU. Fontes estas que possam ser, resíduos ou outra fonte de algum processo rico em nutrientes, que possam manter a eficiência técnica e sejam mais baratas comparadas ao CHU.

Além do que, é necessário verificar a viabilidade da biomassa microalgal produzida ou para produção de biodiesel ou para qualquer outra destinação a ser empregada conforme o quadro 1.

Estes são os pontos principais e críticos em relação ao projeto, principalmente em relação ao seu custo.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em relação à mitigação do CO<sub>2</sub> as culturas de microalgas mostraram-se com uma capacidade de crescimento maior, em cerca de 10%, entre as que recebiam a injeção da emissão da churrascaria e o branco. Este dado mostrou-se pequeno para um possível posterior aproveitamento da cultura na produção de biodiesel ou na indústria alimentícia, por exemplo. Ou seja, se o trabalho fosse destinado apenas à absorção de CO<sub>2</sub> para produção de microalgas e utilização destas em escala industrial, só valeria a pena investir se fosse uma produção em larga escala para que estes 10% a mais de crescimento se tornassem números expressivos em termos lucrativos para a indústria.

Já em termos ambientais, se considerarmos a vazão de saída da churrascaria e o tempo de residência do CO<sub>2</sub> na atmosfera, o projeto apresenta-se como uma solução benéfica e sustentável para o meio ambiente, pois, estas microalgas não precisam ser descartadas gerando mais resíduos, e sim podem ser utilizadas como já descrito anteriormente, além de conseguir atenuar o efeito estufa que essa emissão possa maximizar. Portanto, torna-se uma solução sustentável melhorando o ambiental, o social, e podendo colaborar com o econômico.

O trabalho apresentou-se segundo os resultados obtidos eficiente em relação à depuração do odor chegando, em termos quantitativos (porcentagem), à 72% dos cultivos sem a presença de cheiro após a injeção de fumaça. Esse número torna-se expressivo partindo do princípio que é a primeira pesquisa relacionada que cultiva microalgas e bactérias em um reator biológico. Ou seja, esse número tende a melhorar.

O ponto crítico, realmente, para levar o trabalho adiante foi o custo deste, porém esses valores também tendem a melhorar conforme novas pesquisas que dêem continuidade ao trabalho sejam realizadas.

Portanto, o trabalho apresentou-se viável tanto tecnicamente como ambientalmente. Para obedecer ao tripé do desenvolvimento sustentável, ainda precisam ser estudadas alternativas para melhorar o fator econômico do projeto.

## REFERÊNCIAS

AGRAWAL, S. C. **Limnology**. S. B. Nangia e A. P. H. Publishing Corporation. New Delhi. 1999. 132p.

ALVES, M.M, **Concepção e estudo de um biofiltro para tratamento de compostos orgânicos voláteis – COVs**. 2005. Tese de doutorado do curso de Pós-Graduação em Engenharia Química – da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal – RN, 2005.

APHA, American Public Health Association. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 20<sup>th</sup> edition. 102001 – Determination of biomass (standing crop). 2005.

\_\_\_\_\_. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 20<sup>th</sup> edition. 2150B –Threshold odor test. 2005.

ARBEX, A.M., **Avaliação dos Efeitos do Material Particulado Proveniente da Queima da Plantação de Cana-de-Açúcar Sobre a Morbidade Respiratória na População de Araraquara – SP**. Tese de Doutorado com Ênfase em Patologia. Universidade de São Paulo, 2001.

BAKONYI, S.M.C.; OLIVEIRA, I.M.D.; MARTINS, L.C.; BRAGA, A.L.F. **Poluição atmosférica e doenças respiratórias em crianças na cidade de Curitiba, PR**. Revista Saúde Pública, volume 35. 2004.p 695-700.

BARSANTI, L.; GUALTIERI, P.. **Algae: anatomy, biochemistry and biotechnology**. CRC Taylor & Francis. 2005.

BECKER, E.W.. **Microalgae: biotechnology and microbiology**. Cambridge: Cambridge studies in biotechnology. 1994. 293 p.

BERNARDO, D.L, **Algas e suas influências na Qualidade das Águas e nas Tecnologias de Tratamento**, Rio de Janeiro. ABES. 1995. 127p.

BURGESS, E.J.; PARSONS, S.A.; STUETZ, R.M. **Developments in odour control and waste gas treatment biotechnology: a review**. Biotechnology Advances. Volume 19. 2001. p 35-63.

CARDOSO F. **Efeito estufa: Porque a Terra morre de calor**, São Paulo: Mostarda/Terceiro nome. 2006. P 10-17.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Determinação de pigmentos fotossintetizantes - Clorofila a, b e c e Feofitina-a**. São Paulo – SP. 1990. (Norma Técnica L5.306).

\_\_\_\_\_. **Coleta de fitoplâncton marinho e de água doce.** São Paulo – SP. 1991. (Norma Técnica L5.313)

\_\_\_\_\_. **Qualidade do ar - Informações - Histórico,** Disponível em: < [www.cetesb.sp.gov.br/Ar/ar\\_historico.asp](http://www.cetesb.sp.gov.br/Ar/ar_historico.asp) > Acesso em: 30 out. 2010

CONVERTI, A.; ZILLI, M. **A biofiltração: uma tecnologia já afirmada no tratamento de emissões gasosas.** In: Proceeding of the VI SHEB. 1999.

ESTEVES, F. A.. **Fundamentos da Limnologia.** Rio de Janeiro, 2 ed. Interciência. 1998. 602p.

GONCALVES, J.A.S.. **Aspectos da Modelagem Matemática de Lavadores Venturi.** Tese de Doutorado, UFSCar, Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Programa de Pós Graduação em Engenharia Química, 2000.

GUIRY, M. **Michael Guiry's Seaweed Site.** Disponível em < <http://seaweed.ucg.ie/Algae/algae.html>>. Acesso em 23 ago. 2010.

HUNTER, P., OYAMA, S. T., **Control of Volatile Organic Compound Emissions.** Conventional and Emerging Technologies. 10 Ed. 2000, 177p

IKEMOTO, S.; JENNINGS, A. A.; SKUBAL, K. L. Modeling hydrophobic VOC biofilter treatment in the presence of nutrient stimulation and hydrophilic VOC inhibition. **Environmental Modelling & Software**, v. 21, p. 1387-1401, 2006 apud SOARES, M. **Aplicação da biofiltração no tratamento de vapores de gasolina.** 2006. Tese de doutorado do curso de Pós-Graduação em Processos Biotecnológicos – área de concentração Saúde Humana e Animal, da Universidade Federal do Paraná. Curitiba, PR. 2006.

INSTITUTO DE TECNOLOGIA DO PARANÁ – TECPAR. **Instrução de ensaio – IE LAMT 013: Contagem padrão de microrganismos mesófilos aeróbios estritos e facultativos viáveis.** Laboratório de Microbiologia e Toxicologia (LAMT). 2008.

KAYE R., JIANG K., **Development of odour impact criteria for sewage treatment plants using odour complaint history.** Water Science Technology, volume 17. 2000. p 211-217, apud SCHIRMER N.W., LISBOA M.H., MUNIZ S.C.A, **Determinação de Gases Inorgânicos Odorantes a Partir de Superfície Líquida: aplicação de câmara de fluxo em lagoas de tratamento de efluentes de refinarias de petróleo,** Revista de Ciência e Tecnologia, Volume 13. 2005. p 55-63.

KENNES C., VEIGA M.C., **Bioreactors for Waste Gas Treatment,** Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 2001. 312p.

KETCHUM, P.A. **Microbiology: concepts and applications.** Oakland University: John Wiley & Sons.1988.

KNIE, J.L.W.; LOPES, E.W.B. **Testes ecotoxicológicos: métodos, técnicas e aplicações.** Florianópolis : FATMA/GTZ. 2004. 289p

MACÊDO, J.A.B., **Introdução à Química Ambiental (Química & Meio Ambiente & Sociedade)**. Belo Horizonte. CRQ-MG. 2002. 487p.

MARTINS, O. D., **Estudo do controle de emissões de compostos orgânicos voláteis em tanques de armazenamento de produtos químicos**. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Ambiental, UFBA, Salvador, 2004.

MEILI, L.. **Estudo do Desempenho de Lavadores de Gases do Tipo Venturi com Seção Circular**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós Graduação em Engenharia Química, 2006.

MIAO, J-Y.; ZHENG, L-Y, GUO, X-F. Restaurant emissions removal by a biofilter with immobilized bacteria. **Journal of Zhejiang University SCIENCE**, v.6B, n.5, p.433-437, 2005. Disponível em <<http://www.zju.edu.cn/jzus>>

MIRLEAN, N., VANZ, A., BAISCH, P., **Níveis de Origem da Acidificação das Chuvas na Região do Rio Grande do Sul**. Revista Química Nova, Rio Grande do Sul, 2000.

MORAIS, M. C.; COSTA, J. A. V. **Bioprocessos para remoção de CO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub> por microalgas visando a utilização de gases gerados durante a combustão do carvão**. Revista Química Nova, 2008. p 1038-1042.

MORETTI, E.C. E MUKHOPADHYAY, N., **VOC Control: Current practices and future trends**, Chem. Eng. Progress, Julho, p 20-25, 1993. Apud, ALVES, M.M, **Concepção e estudo de um biofiltro para tratamento de compostos orgânicos voláteis – COVs**. 2005. Tese de doutorado do curso de Pós-Graduação em Engenharia Química – da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal – RN, 2005.

**Odor Control Technology Summary Technology: Bioscrubbers**, Disponível em: <<http://odor.net/images/Biofilters.pdf>>

PARK, O-H.; JUNG, I-G. A model study based on experiments on toluene removal under high load condition in biofilters. **Biochemical Engineering Journal**, v. 28, 269–274, 2006.

PILAT, M., NOLL, K. E., **Wet Scrubbers**. In: DAVIES, W. T., **Air Pollution Engineering Manual**. 2 Ed. John Wiley & Sons, Inc., New York, 2000, p 73-85.

ROCHA, C.J, ROSA, H.A, CARDOSO, A.A, **Introdução à Química Ambiental**. Porto Alegre, 2 ed. Bookman. 2009. 256p.

ROMA, W. N. L. **Fenômenos de transporte para engenharia**. Editora Rima, 288 p. 2003.

SCHIRMER N.W., LISBOA M.H., MUNIZ S.C.A, **Determinação de Gases Inorgânicos Odorantes a Partir de Superfície Líquida: aplicação de câmara de fluxo em lagoas de tratamento de efluentes de refinarias de petróleo**, Revista de Ciência e Tecnologia, Volume 13. 2005. p 55-63.

SHAREEFDEEN Z., SINGH A., **Biotechnology for Odor and Air Pollution Control**, Berlin: Springer. 2005. 408p.

SOARES, M. **Aplicação da biofiltração no tratamento de vapores de gasolina**. 2006. Tese de doutorado do curso de Pós-Graduação em Processos Biotecnológicos – área de concentração Saúde Humana e Animal, da Universidade Federal do Paraná. Curitiba, PR. 2006.

SOCOL, C.R., WOICIECHOWSKI, A.L., VANDENBERGHE, L.P.S., SOARES, M., KASKANTZIS NETO, G., THOMAZ-SOCOL,V. **Biofiltration: and emerging technology**. Indian Journal of Biotechnology. Volume 2. 2003. p 396-410, apud SOARES, M. **Aplicação da biofiltração no tratamento de vapores de gasolina**. 2006. Tese de doutorado do curso de Pós-Graduação em Processos Biotecnológicos – área de concentração Saúde Humana e Animal, da Universidade Federal do Paraná. Curitiba, PR. 2006.

SOUZA, A. M. de. **Estudo de emissões de vapores orgânicos no carregamento de gasolina em caminhões tanque**. 2004. 169 p. - Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós – Graduação em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo. . Salvador-Ba, 2004.

SOUZA, F. A., ALMEIDA, P. M., **Fotossíntese: Transporte de Protões e Fotofosforilação em Cloroplastos isolados**. Biologia Celular II, 2005. Disponível em <[HTTP://biodigital.com.sapo.pt/trabalhos.htm](http://biodigital.com.sapo.pt/trabalhos.htm)>

TORTORA, G.J, FUNKE, B.R, CASE, C.L, **Microbiologia**. Porto Alegre. Artmed. 2005. 894p.

UEHARA, M.Y., VIDAL, L.W., **Operação e Manutenção de Lagoas Anaeróbicas e Facultativas**. CETESB – Companhia Tecnologia de Saneamento Ambiental. 91p. 1989 (série de manuais)

VAN GROENESTIJN, J. W.; HESSELINK, P. G. M. **Biotechniques for air pollution control**. Biodegradation, v. 4, p. 283 – 301, 1993.

VIDOTI, E.C., ROLLEMBERG, M.C.E., **Algas: da Economia nos Ambientes Aquáticos à Biorremediação e à Química Analítica**. Revista Química Nova, São Paulo, 2004.

WU, D.; QUAN, X.; ZHAO, Y.; CHEN, S. **Removal of p-xylene from an airstream in a hybrid biofilter**, Journal of Hazardous Materials, B136, p. 288–295, 2006.

ANEXO A

